

# Contamination Chimique des sédiments des lagunes méditerranéennes françaises

Bilan de la campagne  
ROCCHSED 2023

O. Plantec, A. Grouhel, S. Bruzac, M. Duval  
D. Munaron, V. Ouisse  
O. Gérigny



**Titre du rapport :** Contamination chimique des sédiments des lagunes méditerranéennes françaises. Bilan de la campagne ROCCHSED 2023.

**Référence interne :**  
R.RBE/CCEM/ROCCH 24-001

Diffusion

☒ libre (internet)

Rapport de contrat Ifremer-AERMC  
n°: 22.1003290

Date de publication :  
2025/01/10

Version : 1

Référence de l'illustration de couverture :

© Ifremer LER OC / prélèvement de sédiment  
par carottier Ekman dans l'étang de Thau / 24  
avril 2023

**Langue(s) :** français

### Résumé / Abstract :

La campagne ROCCHSED s'est déroulée du 18 avril au 3 mai 2023. 140 substances chimiques historiques (métaux, HAP...) et émergentes (PBDE, PFAS...), ainsi que l'azote et le phosphore ont été analysés et des micro-plastiques dénombrés dans les sédiments de surface prélevés sur une soixantaine de points répartis dans 21 lagunes d'Occitanie, des Bouches-du-Rhône et de Corse.

Concernant les métaux, hormis une particularité des étangs du nord de la Corse, liée au contexte géologique (chrome et nickel), il apparaît une contamination marquée des sédiments des étangs de Bolmon, Méjean-Pérols, La Peyrade et Thau, avec au niveau de ces derniers, des gradients de contamination est-ouest mettant en évidence deux zones de forte poly-contamination métallique, au niveau du « petit étang » sur l'étang de Thau et au niveau des apports de l'agglomération montpelliéraine et Palavas sur les étangs palavasiens. A l'opposé, les étangs de l'Ayrolle et Leucate, Canet et Palu présentent en 2023 une bonne qualité chimique de leurs sédiments.

Concernant les contaminants organiques, les sédiments à l'est de l'étang de Thau (notamment ceux du « petit étang ») sont fortement contaminés par des PCBs, HAPs, DDT et du TBT, et un gradient décroissant de contamination vers l'ouest est observé. Sur les étangs palavasiens, l'arrivée du Lez semble impacter les lagunes proches comme les étangs du Prévost, de l'Arnel et du Méjean (DDT et PCBs). Le point central de l'étang de Berre et l'étang du Bolmon sont encore très marqués par des contaminations d'origine industrielle et urbaine (PCB, métabolites du lindane, retardateurs de flamme bromés, phtalate) et l'étang de Canet par la présence de DDT. Concernant les PFAS, nouvellement dosés, la campagne 2023 met en évidence une contamination singulière de l'étang du Vaccarès (en PFNA), du sud de l'étang de Biguglia ainsi que du nord de l'étang de Bages (en PFOS).

Depuis 1996, on observe une décroissance générale des niveaux de contamination sédimentaire, signe d'une amélioration globale des lagunes vis-à-vis des contaminants historiques, sauf dans quelques cas particuliers : le nickel et le cuivre restent globalement forts depuis 2006 sans signe d'amélioration, c'est aussi le cas du mercure et du plomb sur certains points du complexe Thau-Palavasiens, du DDT dans les étangs de Canet et du Prévost, ou des HAPs et PCBs sur quelques étangs (Canet, Leucate, Bages, Palu...) mais sans dépassements de seuils écotoxicologiques.

Concernant les teneurs en azote (NT) et phosphore (PT) sédimentaires, 42% des stations sont en bon ou très bon état pour le PT et 28% pour l'NT. Les lagunes d'Ayrolle, Gruissan, Bolmon et la majorité des points de l'étang de Bages sont en bon ou très bon état pour les deux paramètres. A l'opposé, les étangs de l'Or, La Peyrade, Arnel, Prévost, Méjean, Thau (stations est) et Biguglia sont en état médiocre ou mauvais pour NT et PT. Par rapport à 2017, la situation de 2023 s'est détériorée pour les étangs de Palu (PT, NT et MO) et Urbino (PT et MO), améliorée au Bolmon (PT, NT et MO) et à Gruissan (NT). Les résultats ne peuvent être extrapolés à

---

l'ensemble de chaque lagune du fait de l'hétérogénéité spatiale incomplètement prise en compte par la stratégie d'échantillonnage.

Pour la première fois la recherche de micro-plastiques a été intégrée à la campagne ROCCHSED dans un sous-échantillon des lagunes. Celles de Corse (Diana et Biguglia) semblent les plus touchées par cette problématique.

Les résultats de la campagne ROCCHSED 2023, obtenus sur un nombre plus important de stations que les suivis précédents, permettent de proposer des adaptations de la stratégie d'échantillonnage en fonction des problématiques ou absences de problématiques rencontrées et des questions posées.

---

**Mots-clés / Key words :**

éléments-traces métalliques, polluants organiques persistants, azote, phosphore, micro-plastiques, sédiments, ROCCH, lagunes, France

---

**Comment citer ce document :**

Plantec Oriane, Grouhel Anne, Bruzac Sandrine, Duval Mathilde, Gérigny Olivia, Ouisse Vincent, Munaron Dominique (2024). Contamination chimique des sédiments des lagunes méditerranéennes françaises - Bilan ROCCHSED 2023. RST-RBE-CCEM-2024-01.

---

**Disponibilité des données de la recherche :**

Les données sont disponibles dans la base de données QUADRIGE.

Les données sont également disponibles en libre accès dans SEANOE : tous contaminants chimiques, nutriments et micro-plastiques pour la campagne 2023.

---

**DOI :**

Grouhel Anne, Munaron Dominique, Ouisse Vincent, Gerigny Olivia, Bruzac Sandrine, Duval Mathilde (2025). **ROCCHSED23 sediment dataset : contaminants (chemical contaminants, nutrients and microplastics) levels measured in mediterranean lagoon sediments.** SEANOE. <https://doi.org/10.17882/103015>

---

---

**Commanditaire du rapport :**

Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse

---

**Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) :**

Campagnes ROCCHSED

---

| <b>Auteur(s) / adresse mail</b>                  | <b>Affiliation / Direction / Service, laboratoire</b>         |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Oriane PLANTEC / oriane.plantec@gmail.com        | RBE/CCEM & ODE/COAST/LER-OC (stage ingénieur fev – août 2024) |
| Anne GROUHEL / anne.grouhel@ifremer.fr           | RBE/CCEM                                                      |
| Dominique MUNARON / dominique.munaron@ifremer.fr | ODE/COAST/LER-OC                                              |
| Vincent OUISSE / vincent.ouisse@ifremer.fr       | ODE/COAST/LER-OC                                              |
| Olivia GERIGNY / olivia.gerigny@ifremer.fr       | ODE/COAST/LER-PAC                                             |
| Sandrine BRUZAC / sandrine.bruzac@ifremer.fr     | RBE/CCEM                                                      |
| Mathilde DUVAL                                   | RBE/CCEM (alternance sept 2022 – août 2023)                   |
| Destinataires : Anaïs GIRAUD, Pierre BOISSERY    | Agence de l'Eau RM&C                                          |

---

Validé par : s/o

---

|                                                                                                       |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Remerciements :</b>                                                                                | <b>9</b>  |
| <b>1 Introduction</b>                                                                                 | <b>11</b> |
| <b>2 Matériels &amp; méthodes : ROCCHSED 2023</b>                                                     | <b>13</b> |
| <b>2.1 Stratégie spatiale et sites échantillonnés</b>                                                 | <b>13</b> |
| <b>2.2 Stratégie analytique</b>                                                                       | <b>15</b> |
| 2.2.1 Programme d'analyse commun à tous les échantillons                                              | 15        |
| 2.2.2 Programme d'analyse spécifique à chaque échantillon                                             | 15        |
| <b>2.3 Protocole d'échantillonnage</b>                                                                | <b>19</b> |
| 2.3.1 Matériel de prélèvement                                                                         | 19        |
| 2.3.2 Echantillonnage                                                                                 | 20        |
| <b>2.4 Protocoles analytiques</b>                                                                     | <b>21</b> |
| 2.4.1 Caractéristiques des sédiments                                                                  | 21        |
| 2.4.2 Analyse des contaminants chimiques                                                              | 22        |
| 2.4.3 Analyse de l'azote et du phosphore                                                              | 23        |
| 2.4.4 Caractérisation de la contamination par les micro-plastiques                                    | 23        |
| <b>3 Résultats 2023</b>                                                                               | <b>24</b> |
| <b>3.1 Caractéristiques granulométriques et normalisation</b>                                         | <b>24</b> |
| 3.1.1 Bilan des caractéristiques des échantillons                                                     | 24        |
| 3.1.2 Normalisation des concentrations mesurées des échantillons                                      | 24        |
| <b>3.2 Contaminants chimiques</b>                                                                     | <b>25</b> |
| 3.2.1 Valeurs de référence                                                                            | 25        |
| 3.2.2 Résultats 2023 pour les métaux                                                                  | 29        |
| 3.2.3 Résultats 2023 pour les contaminants organiques                                                 | 43        |
| <b>3.3 Azote total, phosphore total et matière organique</b>                                          | <b>62</b> |
| 3.3.1 Contexte                                                                                        | 62        |
| 3.3.2 Résultats 2023                                                                                  | 62        |
| 3.3.3 Évolution temporelle des concentrations sédimentaires en azote, phosphore et matière organique  | 65        |
| 3.3.4 Conclusions et recommandations spécifiques                                                      | 65        |
| <b>3.4 Micro-plastiques</b>                                                                           | <b>68</b> |
| 3.4.1 Densité des micro-plastiques dans les sédiments lagunaires                                      | 68        |
| 3.4.2 Typologie de la contamination en micro-plastiques dans les sédiments                            | 69        |
| 3.4.3 Classe de taille des micro-plastiques dans les sédiments                                        | 70        |
| 3.4.4 Discussion : contamination des sédiments par les micro-plastiques                               | 71        |
| <b>4 Etude de l'évolution de la contamination chimique sédimentaire depuis 30 ans</b>                 | <b>75</b> |
| <b>4.1 Protocole d'étude</b>                                                                          | <b>75</b> |
| 4.1.1 Sélection des sites étudiés                                                                     | 75        |
| 4.1.2 Paramètres retenus                                                                              | 76        |
| <b>4.2 Résultats de l'évolution temporelle des contaminants chimiques sédimentaires depuis 30 ans</b> | <b>77</b> |

|            |                                                                                                                                       |            |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.1      | Evolution temporelle des concentrations en éléments-traces métalliques.....                                                           | 78         |
| 4.2.2      | Evolution temporelle des concentrations en hydrocarbures (HAP) .....                                                                  | 81         |
| 4.2.3      | Evolution temporelle des concentrations en polychlorobiphényles (PCB) .....                                                           | 84         |
| 4.2.4      | Evolution temporelle des concentrations en pesticides organochlorés .                                                                 | 85         |
| 4.2.5      | Evolution temporelle d'autres molécules analysées dans les sédiments lagunaires .....                                                 | 86         |
| 4.2.6      | Evolution temporelle de familles de contaminants organiques par point de suivi.....                                                   | 87         |
| <b>5</b>   | <b>Conclusions &amp; Perspectives.....</b>                                                                                            | <b>89</b>  |
| <b>5.1</b> | <b>Bilan de la campagne 2023 .....</b>                                                                                                | <b>89</b>  |
| <b>5.2</b> | <b>Perspectives : proposition de révision de la stratégie d'échantillonnage..</b>                                                     | <b>90</b>  |
| 5.2.1      | Quelles lagunes suivies et à suivre ? .....                                                                                           | 90         |
| 5.2.2      | Quels points et paramètres à suivre au sein des lagunes retenues ? ...                                                                | 91         |
| <b>6</b>   | <b>Tables des illustrations et des tableaux.....</b>                                                                                  | <b>97</b>  |
| <b>7</b>   | <b>Bibliographie.....</b>                                                                                                             | <b>103</b> |
| <b>8</b>   | <b>Annexes : .....</b>                                                                                                                | <b>106</b> |
| <b>8.1</b> | <b>Annexe 1 : Compléments concernant les teneurs en pentachlorobenzène, HAP et PBDE par point pour la campagne ROCCHSED 2023.....</b> | <b>106</b> |
|            | Pentachlorobenzène.....                                                                                                               | 106        |
|            | HAP                                                                                                                                   | 107        |
|            | PBDE                                                                                                                                  | 109        |
| <b>8.2</b> | <b>Annexe 2 : Origine et usages des principaux métaux recherchés.....</b>                                                             | <b>111</b> |
| <b>8.3</b> | <b>Annexe 3 : Origine et usages des principaux contaminants organiques recherchés .....</b>                                           | <b>113</b> |
|            | Fluoranthène - représentatif des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) .....                                                  | 113        |
|            | CB 153 et CB 118 - représentatif des Polychlorobiphényles (PCB).....                                                                  | 113        |
|            | Lindane (γ-HCH, isomère de l'hexachlorocyclohexane) .....                                                                             | 113        |
|            | DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) et ses métabolites .....                                                                        | 113        |
|            | TBT (tributylétain) .....                                                                                                             | 114        |
|            | PBDE (polybromodiphényléthers).....                                                                                                   | 114        |
|            | PFAS (Substances per et poly fluoroalkylés) .....                                                                                     | 114        |
|            | Quinoxylène .....                                                                                                                     | 115        |
|            | Pentachlorobenzène (Ineris 2024).....                                                                                                 | 115        |
|            | Hexachlorobutadiène HCBd (Ineris 2024).....                                                                                           | 115        |
|            | Hexachlorobenzène (Ineris 2024).....                                                                                                  | 116        |
| <b>8.4</b> | <b>Annexe 4 : Origine des micro-plastiques.....</b>                                                                                   | <b>117</b> |
| <b>8.5</b> | <b>Annexe 5 : Teneurs en contaminants par campagnes .....</b>                                                                         | <b>118</b> |
| 8.5.1      | métaux .....                                                                                                                          | 118        |
| 8.5.2      | HAP .....                                                                                                                             | 119        |
| 8.5.3      | PCB .....                                                                                                                             | 120        |

|            |                                                                                                                                    |            |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8.6</b> | <b>Annexe 6 : Bilan des dépassements de seuils de référence par point pour les contaminants métalliques.....</b>                   | <b>122</b> |
| <b>8.7</b> | <b>Annexe 7 : Médianes des concentrations sédimentaires issues des dernières campagnes ROCCH-SED sur le littoral français.....</b> | <b>123</b> |

## Remerciements :

Le réseau d'observation des contaminants chimiques ROCCH fait partie des réseaux d'observation français mis en œuvre par l'Ifremer à l'échelle de la façade maritime française avec le soutien financier des Agences de l'Eau et des ministères concernés. La campagne de prélèvements des sédiments lagunaires méditerranéens 2023 a bénéficié du soutien financier de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, et nous remercions en particulier Anaïs GIRAUD et Pierre BOISSERY pour ce partenariat.

La présente campagne a pu avoir lieu grâce au soutien logistique de :

- le syndicat mixte de l'étang de Berre (GIPREB), et en particulier ses deux plongeurs Fanny Argiro et Raphaël Grisel,
- la réserve naturelle nationale de Camargue (RNN), et la Société Nationale de Protection de la Nature (SNPN) et en particulier Emmanuelle Migne,
- la réserve naturelle corse de l'étang de Biguglia (RNC) et en particulier Sabrina Etourneau,
- l'entreprise ostréicole de l'étang de Diana, et en particulier Jeanne Muraccioli et Bernard Pantalacci,
- le conservatoire du littoral à Urbino, et en particulier Bénédicte Benoît-Sisco et Matthieu Zanca-Rossi.

Nos remerciements vont aux pilotes, plongeurs et représentants de ces structures qui nous ont aidés à préparer et à mener à bien cette campagne.

Nous remercions également les collègues Ifremer du laboratoire environnement et ressources d'Occitanie (LER-OC) à Sète, pilotes et plongeurs, qui ont participé aux différentes sorties : Elise Bellamy, Valérie Derolez, Grégory Messiaen et Hervé Violette.

De même, nous remercions les collègues Ifremer du laboratoire environnement et ressources de Provence – Azur-Corse (LER-PAC) à Bastia qui ont organisé la campagne dans les étangs corses et qui nous ont accompagné sur site (Nathalie Malet, Catherine Paoli, et Nicolas Brodu) ainsi que les collègues du LER-PAC à La Seyne/mer qui ont réalisé les dénombrements et analyses de micro-plastiques. Nous remercions également Corinne Tomasino pour la cartographie et Françoise Marco-Miralles pour les relectures.

Les analyses de contaminants métalliques ont été réalisées par les collègues du pôle métaux de l'unité Ifremer des contaminations chimiques des écosystèmes marins (CCEM), à Nantes, que nous remercions.

Les analyses des contaminants organiques ont été réalisées par l'équipe du Laboratoire d'Etude des Résidus et Contaminants dans les Aliments (LABERCA) de l'école vétérinaire de Nantes que nous remercions.

Les analyses d'azote et de phosphore sédimentaires ont été réalisées par le CIRAD de Montpellier et les analyses granulométriques ont été réalisées par le laboratoire des Pyrénées et des Landes à Tarbes, que nous remercions également.



# 1 Introduction

Les étangs côtiers sont d'une importance écologique et socio-économique majeure en tant que fournisseurs de précieux services écosystémiques (Newton et al., 2018). Cependant, ces environnements fragiles positionnés à l'interface, dans le continuum terre/mer, sont soumis à plusieurs pressions humaines, dont par exemple la contamination chimique (Grouhel et al., 2018 ; Herlory et al., 2022, 2024 ; Munaron et al., 2022, 2023 ; Munsch et al., 2022), l'eutrophisation (Derolez et al., 2019) et la pollution par les micro-plastiques (Garcés-Ordóñez et al., 2022), chacune étant susceptible d'impacter les processus écologiques et la biodiversité, isolément ou de manière combinée.

Depuis les années 1970, la préservation des océans et des milieux littoraux est au cœur d'enjeux internationaux et locaux. La qualité de l'environnement marin littoral est mesurée par des suivis réguliers qui permettent, sur la base de protocoles stables, d'évaluer l'état de santé des écosystèmes et son évolution. La convention de Barcelone adoptée en 1976 par les états riverains de la Méditerranée et la Communauté Européenne a posé les bases de la protection du milieu marin et du littoral méditerranéen. Son programme de surveillance intègre le sédiment comme support du suivi de l'évolution des polluants (UNEP 2005). Plus tard, les réglementations internationales, comme celles dont s'est dotée l'Union Européenne en 2000 (Directive Cadre européenne sur l'Eau) puis 2013 (Directive Cadre européenne Stratégie pour le Milieu Marin) ont fixé un pas de temps de 6 ans pour les exercices d'évaluation de la qualité de l'environnement marin. Ces suivis concernent principalement le biote et la colonne d'eau.

Le sédiment constitue une composante essentielle de la qualité des milieux aquatiques, particulièrement des écosystèmes lagunaires. Les lagunes sont en effet des milieux peu profonds où la colonne d'eau et la biologie sont en interaction constante avec les premières couches de sédiments superficiels. Ces derniers contribuent ainsi au bon fonctionnement écologique et au maintien de la biodiversité des lagunes (rôle d'habitat et de site de ponte pour de nombreuses espèces benthiques). Le compartiment sédimentaire joue également un rôle clé dans de nombreuses fonctions écologiques, telles que la minéralisation de la matière organique, la dégradation des polluants ou la production de biomasse (OFB, portail technique).

Les sédiments constituent une matrice intégratrice qui concentre les contaminants chimiques, les nutriments (azote et phosphore totaux) ou les particules plastiques et fournissent ainsi une image synthétique de la qualité de l'environnement en s'affranchissant de difficultés techniques liées à la forte variabilité et parfois aux niveaux faibles des concentrations dans l'eau (présence à l'état de trace). Les contaminants chimiques préoccupants sont pour une bonne part piégés à la surface des particules argileuses en suspension dans l'eau, lesquelles sédimentent et forment ensuite des dépôts sédimentaires stabilisés. Ces dépôts sont également plus ou moins riches en matière organique selon le niveau d'eutrophisation du milieu, et ils accumulent également les micro-particules plastiques apportées par les activités anthropiques. L'analyse des sédiments de surface « fraîchement » déposés permet alors d'apprécier ces différentes problématiques, « enregistrées » sur plusieurs années.

L'évaluation de la qualité des sédiments lagunaires « naturels » (hors sédiments portuaires ou dragués) et son évolution temporelle constituent ainsi des priorités pour la compréhension des processus écologiques, de l'évolution de la qualité générale des masses d'eau de transition et de la dynamique de la biodiversité en leur sein. C'est pourquoi l'Ifremer et l'AERMC ont souhaité poursuivre la mise en œuvre du ROCCHSED (le réseau d'observation de la contamination chimique des sédiments marins) sur les milieux lagunaires.

Pour cela, une sélection de lagunes d'Occitanie, de PACA et de Corse, représentatives de la diversité des écosystèmes saumâtres de transition, a ainsi fait l'objet d'une nouvelle campagne d'échantillonnage qui s'est déroulée du 18 avril au 3 mai 2023.

Les équipes Ifremer de l'unité des contaminants chimiques à Nantes (CCEM), du laboratoire environnement et ressources d'Occitanie à Sète (LER-OC) et du laboratoire environnement et ressources de Bastia (LER-PAC) ont échantillonné une soixantaine de points dans 21 lagunes (représentant 17 ME de transition) avec l'objectif :

- d'y mesurer les concentrations de différentes familles de contaminants chimiques d'intérêt, ainsi que les teneurs en azote et phosphore totaux, pour qualifier la qualité sédimentaire générale de ces écosystèmes et son évolution depuis 1996. Les résultats obtenus sont confrontés à ceux des campagnes antérieures afin d'en connaître les évolutions sur 30 ans.
- d'y mesurer une sélection de contaminants chimiques pour le suivi d'impact sur des « hot spots » de contamination comme par exemple les lagunes de La Peyrade ou Bolmon... permettant de fournir des éléments décisionnels aux gestionnaires (en matière de recherche des sources, ou en lien avec des réglementations spécifiques...)
- d'y mesurer pour la première fois la présence de micro-plastiques sédimentaires sur un sous-échantillon de 16 points positionnés sur des lagunes d'intérêt.
- de consolider la stratégie de suivi des contaminants chimiques sédimentaires en lagunes en faisant une analyse critique des stratégies spatio-temporelles utilisées.

## 2 Matériels & méthodes : ROCCHSED 2023

### 2.1 Stratégie spatiale et sites échantillonnés

Parmi l'ensemble des lagunes méditerranéennes françaises, 21 lagunes représentatives des différents écosystèmes lagunaires et des différentes situations vis-à-vis de la pression anthropique ont été retenues pour la campagne ROCCHSED 2023. Un total de 60 stations a été utilisé pour décrire l'état de cet ensemble (56 points initialement prévus au programme ROCCHSED et 4 points -hors programme- rajoutés pour répondre à des enjeux complémentaires).

La liste des points échantillonnés lors de cette campagne et leurs coordonnées est donnée dans le Tableau 1 et en Figure 1. Les objectifs de suivi associés à chaque station sont précisés dans le Tableau 2. La campagne ROCCHSED 2023 a été enrichie en points par rapport aux campagnes précédentes (42 points en 1996, 41 en 2006, 39 en 2012, 41 en 2017, 56 en 2023) afin de vérifier en premier lieu que les points suivis sont représentatifs de la qualité globale de la lagune ou au contraire qu'ils permettent de suivre l'évolution de « hotspot » contaminés.

La variabilité entre points d'une même lagune vient pour une part de la nature sédimentaire (variabilité naturelle liée à la géologie et l'histoire de la sédimentation en lien avec l'origine des sédiments qui se déposent) qui n'est pas l'objet de cette étude. On s'affranchira de cette influence en normalisant les résultats d'analyse (cf § 3.1.2).

La variabilité qu'on cherche à détecter ici est celle qui vient des activités humaines, de la position des sources potentielles sur le bassin versant ou internes à la lagune et de leur enregistrement dans le compartiment sédimentaire en lien avec la dynamique hydro-sédimentaire propre à chaque lagune. Aussi, la réflexion pour bâtir le plan d'échantillonnage de la campagne ROCCHSED 2023 s'est appuyée sur :

- la surface des lagunes à suivre et nos connaissances de leur hydrodynamisme ;
- l'inventaire des stations (et leurs résultats granulométriques) déjà échantillonnées au cours des différentes campagnes antérieures du ROCCHSED et du réseau de suivi lagunaire (RSL) ; et leur position (centrale ou plutôt en bordure et/ou à proximité de rejets particuliers).
- les traits particuliers de l'état chimique, soit issus de résultats précédents, soit issus d'informations ou de questions soulevées en particulier par les structures de gestion de certaines lagunes (GIP pour l'étang de Berre, Réserve du Vaccarès ...).
- la présence d'actions de gestion identifiées sur le bassin versant en faveur de la restauration ou de la reconquête de la qualité des eaux de la lagune.

| Code ME | Mnémonique Quadrigé | Libellé                                   | longitude (dd) | latitude (dd) | N° point |
|---------|---------------------|-------------------------------------------|----------------|---------------|----------|
| FRDT01  | 096-P-019           | Etang de Canet - centre                   | 42,6720        | 3,0228        | 1        |
| FRDT02  | 097-P-105           | Leucate 9 - Anse de la Roquette           | 42,8422        | 2,9637        | 2        |
| FRDT02  | 097-P-099           | Leucate 3 - Sud parcs                     | 42,8724        | 3,0203        | 3        |
| FRDT02  | 097-P-019           | LEN 4 - Anse du Paurel (étang de Leucate) | 42,9073        | 3,0072        | 4        |
| FRDT03  | 098-P-016           | Etang de La Palme Nord                    | 42,9637        | 3,0050        | 5        |
| FRDT04  | 100-P-056           | Etang de Bages - Sud                      | 43,0456        | 3,0273        | 6        |
| FRDT04  | 100-P-054           | Etang de Bages - Ile de L'Aute            | 43,0606        | 3,0047        | 7        |
| FRDT04  | 100-P-045           | BGM - Bages Milieu                        | 43,0778        | 3,0055        | 8        |
| FRDT04  | 100-P-030           | BGM 15 - anse de Peyriac (étang de Bages) | 43,0758        | 2,9677        | 9        |
| FRDT04  | 100-P-021           | BGN 11 (étang de Bages)                   | 43,1048        | 3,0173        | 10       |
| FRDT04  | 100-P-053           | Etang de Bages - Sud Bages                | 43,1111        | 2,9918        | 11       |
| FRDT04  | 100-P-052           | Etang de Bages - La Nautique              | 43,1391        | 3,0038        | 12       |
| FRDT05a | 099-P-024           | Etang de l'Ayrolle 1                      | 43,0690        | 3,0555        | 13       |
| FRDT05a | 099-P-025           | Etang de l'Ayrolle - devant Campagnol     | 43,0906        | 3,0439        | 14       |

| Code ME        | Mnémonique<br>Quadriga | Libellé                                  | longitude<br>(dd) | latitude<br>(dd) | N° point  |
|----------------|------------------------|------------------------------------------|-------------------|------------------|-----------|
| FRDT06a        | 101-P-006              | GRU - Gruissan                           | 43,1096           | 3,0825           | 15        |
| FRDT06a        | 101-P-007              | Etang de Gruissan                        | 43,1096           | 3,0805           | 16        |
| <i>FRDT06b</i> | <i>101-P-017</i>       | <i>Grazel – cardinale *</i>              | <i>43,1051</i>    | <i>3,1026</i>    | <i>17</i> |
| FRDT10         | 104-P-432              | Thau - Marseillan 2                      | 43,3452           | 3,5378           | 18        |
| FRDT10         | 104-P-433              | Thau - Face La Fadèze 2                  | 43,3688           | 3,5890           | 19        |
| FRDT10         | 104-P-116              | TW - Thau Ouest                          | 43,3759           | 3,5869           | 20        |
| FRDT10         | 104-P-428              | Marseillan est (étang de Thau)           | 43,3791           | 3,5716           | 21        |
| FRDT10         | 104-P-117              | TE - Thau Est                            | 43,4166           | 3,6384           | 22        |
| FRDT10         | 104-P-046              | TE 67 – Tables Bouzigues (étang de Thau) | 43,4333           | 3,6407           | 23        |
| FRDT10         | 104-P-079              | TE 65 – Thau petit étang                 | 43,4203           | 3,6932           | 24        |
| FRDT10         | 104-P-435              | Thau - crique de l'Angle 2               | 43,4528           | 3,6715           | 25        |
| FRDT11c        | 105-P-205              | Etang de La Peyrade - l'îlou             | 43,4306           | 3,7402           | 26        |
| FRDT11c        | 105-P-206              | Etang de La Peyrade - près de St Martin  | 43,4327           | 3,7443           | 27        |
| FRDT11c        | 105-P-190              | Pointe d'Ingril                          | 43,4501           | 3,7857           | 28        |
| FRDT11c        | 105-P-191              | Etang d'Ingril - cordon dunaire          | 43,4440           | 3,7869           | 29        |
| FRDT11c        | 105-P-060              | VIC - Vic                                | 43,4916           | 3,8261           | 30        |
| FRDT11c        | 105-P-066              | Etang de Vic 1                           | 43,4932           | 3,8480           | 31        |
| FRDT11b        | 105-P-021              | ARN 5 (étang de l'Arnel)                 | 43,5303           | 3,8886           | 32        |
| FRDT11b        | 105-P-065              | Etang de L'Arnel 1                       | 43,5240           | 3,8974           | 33        |
| FRDT11b        | 105-P-189              | Etang du Prévost - Ouest                 | 43,5157           | 3,8889           | 34        |
| FRDT11b        | 105-P-182              | PRE - Prévost Est                        | 43,5291           | 3,9158           | 35        |
| FRDT11b        | 105-P-133              | MEW - Méjean Ouest                       | 43,5443           | 3,9226           | 36        |
| FRDT11b        | 105-P-148              | Etang de Pérols Centre 2                 | 43,5408           | 3,9390           | 37        |
| FRDT11b        | 105-P-125              | MEE - Méjean Est                         | 43,5461           | 3,9482           | 38        |
| FRDT11b        | 105-P-082              | MEE 12 (étang de Méjean-Pérols)          | 43,5459           | 3,9593           | 39        |
| FRDT11a        | 105-P-091              | ORW 2 (étang de l'Or - Carnon)           | 43,5546           | 3,9789           | 40        |
| FRDT11a        | 105-P-139              | Etang de l'Or - Est piste aéroport       | 43,5756           | 3,9922           | 41        |
| FRDT11a        | 105-P-098              | ORW 9 (étang de l'Or)                    | 43,5711           | 4,0057           | 42        |
| FRDT11a        | 105-P-138              | Etang de l'Or - Pointe du Salaison       | 43,5823           | 4,0155           | 43        |
| FRDT11a        | 105-P-107              | ORE 19 (étang de l'Or)                   | 43,5835           | 4,0399           | 44        |
| FRDT11a        | 105-P-150              | Etang de l'Or - Pointe Estenove          | 43,5768           | 4,0623           | 45        |
| FRDT11a        | 105-P-074              | ORE 29 (étang de l'Or)                   | 43,5966           | 4,0779           | 46        |
| FRDT14a        | 108-P-025              | D8-Vaccarès                              | 43,5501           | 4,5332           | 47        |
| FRDT14a        | 108-P-067              | VCS-Vaccarès                             | 43,5358           | 4,6026           | 48        |
| FRDT15a        | 110-P-158              | Berre - station fixe GIPREB              | 43,4423           | 5,0972           | 49        |
| FRDT15a        | 110-P-159              | Berre - face jetée Est Beaurivage        | 43,5255           | 5,0776           | 50        |
| FRDT15c        | 110-P-160              | Et. du Bolmon - Esteou milieu de plage   | 43,4121           | 5,1943           | 51        |
| FRET01         | 116-P-001              | BIN - Biguglia nord                      | 42,6351           | 9,4527           | 52        |
| FRET01         | 116-P-037              | Biguglia embouchure Mormorana            | 42,5742           | 9,4872           | 53        |
| FRET02         | 118-P-016              | D8bis-Diana                              | 42,1458           | 9,5452           | 54        |
| <i>FRET02</i>  | <i>118-P-022</i>       | <i>D14-Diana*</i>                        | <i>42,1395</i>    | <i>9,5495</i>    | <i>55</i> |
| FRET02         | 118-P-001              | Diana centre                             | 42,1285           | 9,5247           | 56        |
| <i>FRET02</i>  | <i>118-P-025</i>       | <i>D17-Diana*</i>                        | <i>42,1274</i>    | <i>9,5170</i>    | <i>57</i> |
| FRET03         | 119-P-004              | Etang d'Urbino - Centre                  | 42,0461           | 9,4777           | 58        |
| <i>FRET03</i>  | <i>119-P-159</i>       | <i>Urbino - ruisseau d'Arato*</i>        | <i>42,0542</i>    | <i>9,4582</i>    | <i>59</i> |
| FRET04         | 120-P-002              | Palu                                     | 41,9465           | 9,4087           | 60        |

Tableau 1 : Points échantillonnés au cours de la campagne ROCCHSED 2023 – \* : points supplémentaires échantillonnés hors convention (Tableau sur 2 pages).

Le point Vaccarès – Mornès est le seul point du programme initial qui n'a finalement pas pu être échantillonné. La hauteur d'eau, trop faible en avril/mai 2023 et son éloignement entraînant des difficultés d'accès, n'ont pas permis de l'atteindre en bateau.

Quatre points non prévus initialement (n°17, 55, 57 et 59, indiqués en italique dans le Tableau 1), ont été échantillonnés en parallèle de la campagne ROCCHSED 2023 pour répondre à des enjeux spécifiques mis en évidence après le conventionnement. Ces échantillons ont été collectés et analysés (hors convention) dans les mêmes conditions que ceux de la campagne ROCCHSED 2023 ; les résultats sont donc intégrés ici pour enrichir les conclusions spécifiques à ces lagunes.

Les numéros de station ont été attribués a posteriori pour faciliter la lecture des résultats ; ils suivent une logique géographique entre lagunes (numérotation globalement d'ouest en est, Figure 1).

## 2.2 Stratégie analytique

Différents indicateurs d'une influence urbaine / agricole ou industrielle au sein des lagunes (contaminants chimiques d'intérêt, micro-plastiques, excès d'azote et de phosphore sédimentaires) sont recherchés dans les sédiments en vue de détecter des concentrations ponctuelles excédentaires (supérieures au bruit de fond géologique concernant les substances présentes naturellement dans les roches de la croûte terrestre comme les éléments trace métalliques ou les substances organiques pouvant être générées naturellement comme les hydrocarbures aromatiques via le volcanisme...), des niveaux de présence (pour les substances complètement d'origine anthropique) ou rechercher des empreintes, i-e des combinaisons particulières de substances individuelles ou de typologies de plastiques pouvant tracer l'origine d'une source particulière.

Dans une optique d'optimisation de moyens, la stratégie analytique est cependant adaptée à chaque site échantillonné. Elle permet de suivre les évolutions, réaliser des comparaisons spatiales, pour un tronc commun d'analyses réalisées sur tous les échantillons et de répondre de façon opérationnelle à des enjeux plus spécifiques (enjeux locaux / contamination spécifique) par des analyses complémentaires.

### 2.2.1 Programme d'analyse commun à tous les échantillons

Le programme commun à tous les échantillons du ROCCHSED 2023 comprend les paramètres nécessaires pour caractériser la nature de l'échantillon (cf § 2.4.1) :

- granulométrie,
- concentrations en métaux indicateurs de la nature du sédiment : aluminium, fer, lithium et manganèse,
- concentration en carbonates,
- concentration en carbone organique,
- teneurs en matière organique, azote total et phosphore total.

Il comprend également deux familles de contaminants chimiques suivis de manière historique : les éléments-traces métalliques et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

### 2.2.2 Programme d'analyse spécifique à chaque échantillon

Le suivi spécifique est détaillé dans le Tableau 2, en lien avec les objectifs identifiés sur chacun des points suivis. La liste détaillée des contaminants chimiques suivis est donnée dans le Tableau 4.

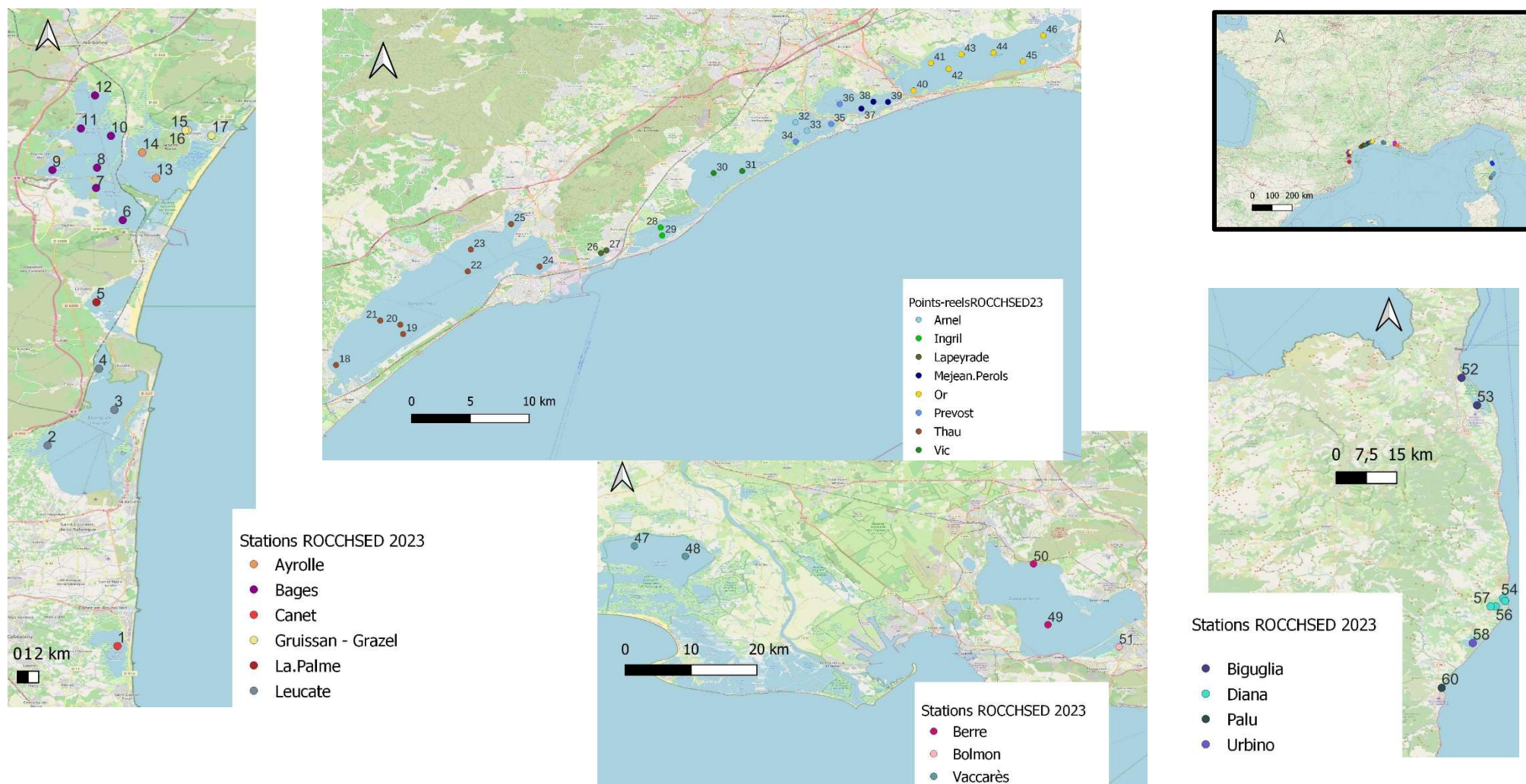


Figure 1 : Localisation des points échantillonnés par étang lors de la campagne ROCCHSED 2023 (numérotation des stations : cf Tableau 1)

| ME<br>DCE | Mnémo Q²  | Libellé                                 | Objectifs du suivi     |                                     |                         | Analyses spécifiques |      |      |     |                   |                      |
|-----------|-----------|-----------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|------|------|-----|-------------------|----------------------|
|           |           |                                         | Qualité<br>Générale ME | Rejet particulier<br>et/ou Hot Spot | Evolution<br>temporelle | PCBs-Dioxines        | DEHP | PFAS | TBT | pesticides<br>OCs | micro-<br>plastiques |
| DT01      | 096-P-019 | Etang de Canet - centre                 | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| DT02      | 097-P-019 | LEN 4 - Anse du Paurel                  |                        | X¹                                  |                         |                      |      |      |     |                   |                      |
| DT02      | 097-P-099 | Leucate 3 - Sud parcs                   | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| DT02      | 097-P-105 | Leucate 9 - Anse de la Roquette         |                        | X¹                                  |                         |                      |      |      |     |                   |                      |
| DT03      | 098-P-016 | Etang de La Palme Nord                  | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| DT04      | 100-P-052 | Etang de Bages - La Nautique            |                        | X (Cd)                              | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| DT04      | 100-P-053 | Etang de Bages - Sud Bages              | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    |     | X                 |                      |
| DT04      | 100-P-054 | Etang de Bages - Ile de L'Aute          |                        | X (Cd)                              | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| DT04      | 100-P-056 | Etang de Bages – Sud                    | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| DT04      | 100-P-030 | BGM15 - Anse de Peyriac                 |                        | X (Cd)                              |                         |                      |      |      |     |                   |                      |
| DT04      | 100-P-045 | BGM - Bages Milieu                      | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| DT04      | 100-P-021 | BGN11 - Etang de Bages - proche canelou |                        | X (Cd)                              |                         |                      |      |      |     |                   |                      |
| DT05a     | 099-P-024 | Etang de l'Ayrolle 1                    | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| DT05a     | 099-P-025 | Etang de l'Ayrolle - devant Campagnol   |                        | X (Campagnol)                       |                         |                      | X    |      |     | X                 |                      |
| DT06a     | 101-P-007 | Etang de Gruissan                       | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| DT06a     | 101-P-006 | GRU - Gruissan                          | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    |     | X                 |                      |
| DT10      | 104-P-432 | Thau - Marseillan 2                     | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| DT10      | 104-P-433 | Thau - Face La Fadèze 2                 |                        |                                     | X                       |                      |      |      | X   |                   |                      |
| DT10      | 104-P-435 | Thau - crique de l'Angle 2              |                        | X (Vene)                            | X                       |                      |      |      | X   |                   |                      |
| DT10      | 104-P-079 | TE65 – Thau Petit étang                 | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| DT10      | 104-P-117 | TE - Thau Est                           | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| DT10      | 104-P-116 | TW - Thau Ouest                         | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| DT10      | 104-P-046 | TE67 - Tables Bouzigues                 | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| DT10      | 104-P-428 | Marseillan est                          | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| DT11a     | 105-P-138 | Etang de l'Or - Pointe du Salaison      | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    |     | X                 |                      |
| DT11a     | 105-P-139 | Etang de l'Or - Est piste aéroport      | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| DT11a     | 105-P-150 | Etang de l'Or - Pointe Estenove         |                        | X                                   | X                       |                      |      |      |     |                   |                      |
| DT11a     | 105-P-107 | ORE19 - Etang de l'Or est               | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| DT11a     | 105-P-098 | ORW9 - Etang de l'Or ouest              | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    |     | X                 |                      |
| DT11a     | 105-P-074 | ORE29 -Etang de l'Or Canalette          |                        | X (Canalette)                       |                         |                      |      |      |     |                   |                      |

¹ Présence d'une résurgence de qualité non connue

| ME<br>DCE | Mnémo Q²  | Libellé                                      | Objectifs du suivi     |                                     |                         | Analyses spécifiques |      |      |     |                   |                      |
|-----------|-----------|----------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|------|------|-----|-------------------|----------------------|
|           |           |                                              | Qualité<br>Générale ME | Rejet particulier<br>et/ou Hot Spot | Evolution<br>temporelle | PCBs-Dioxines        | DEHP | PFAS | TBT | pesticides<br>OCs | micro-<br>plastiques |
| DT11a     | 105-P-091 | ORW2 - Etang de l'Or Carnon                  | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    |     | X                 |                      |
| DT11b     | 105-P-182 | Etang du Prévost Est sortie canal de Palavas | X                      | X (Palavas-Lez)                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| DT11b     | 105-P-189 | Etang du Prévost - Ouest                     | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    |     | X                 | X                    |
| DT11b     | 105-P-065 | Etang de L'Arnel 1                           |                        | X                                   | X                       |                      |      |      |     |                   |                      |
| DT11b     | 105-P-021 | ARN5 - Etang de l'Arnel                      | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    |     | X                 |                      |
| DT11b     | 105-P-148 | Etang de Pérols Centre 2                     |                        | X                                   | X                       |                      |      |      |     |                   |                      |
| DT11b     | 105-P-082 | MEE 12                                       |                        | X                                   | X                       |                      |      |      |     |                   |                      |
| DT11b     | 105-P-133 | MEW - Etang du Méjean Ouest                  | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| DT11b     | 105-P-125 | MEE - Etang du Méjean est                    | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    |     | X                 |                      |
| DT11c     | 105-P-205 | Etang de La Peyrade - l'îlou                 |                        |                                     | X                       |                      |      |      |     |                   |                      |
| DT11c     | 105-P-206 | Etang de La Peyrade - marais près St Martin  | X                      | X (industrie)                       |                         | X                    | X    | X    |     | X                 | X                    |
| DT11c     | 105-P-191 | Etang d'Ingril - cordon dunaire              |                        |                                     | X                       |                      |      |      |     |                   |                      |
| DT11c     | 105-P-190 | Pointe d'Ingril                              | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    |     | X                 |                      |
| DT11c     | 105-P-066 | Etang de Vic 1                               |                        | X²                                  | X                       |                      |      |      |     |                   |                      |
| DT11c     | 105-P-060 | VIC - Etang de Vic                           | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| DT14a     | 108-P-004 | Vaccarès – Mornes (Non prélevé)              | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| DT14a     | 108-P-067 | VCS -Etang du Vaccarès est                   | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    |     | X                 | X                    |
| DT14a     | 108-P-025 | VACD8 - Etang du Vaccarès ouest              | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    |     | X                 |                      |
| DT15a     | 110-P-159 | Berre - face jetée Est Beaurivage            |                        | X                                   | X                       | X                    | X    | X    |     | X                 |                      |
| DT15a     | 110-P-158 | Berre - station fixe GIPREB                  | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| DT15c     | 110-P-160 | Etang du Bolmon - Esteou milieu de plage     |                        | X                                   |                         | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| FRET01    | 116-P-037 | Biguglia emb. Mormorana (proche BIS)         | X                      |                                     |                         | X                    | X    | X    |     |                   |                      |
| FRET01    | 116-P-001 | BIN - Biguglia nord                          | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| FRET02    | 118-P-001 | Diana centre                                 | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 | X                    |
| FRET02    | 118-P-016 | D8bis - Diana                                | X                      |                                     |                         |                      |      |      |     |                   |                      |
| FRET03    | 119-P-004 | Etang d'Urbino - Centre                      | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |
| FRET04    | 120-P-002 | Palu                                         | X                      |                                     | X                       | X                    | X    | X    | X   | X                 |                      |

Tableau 2 : Programme prévisionnel d'analyses par point en fonction des objectifs de suivi pour la campagne ROCCHSED 2023. Tous les points font a minima l'objet d'analyse des éléments-traces métalliques , des HAP, de l'azote total et du phosphore total. (Tableau sur 2 pages).

<sup>2</sup> Présence d'une résurgence de qualité non connue

## 2.3 Protocole d'échantillonnage

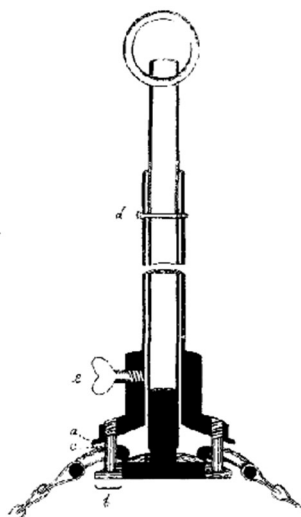
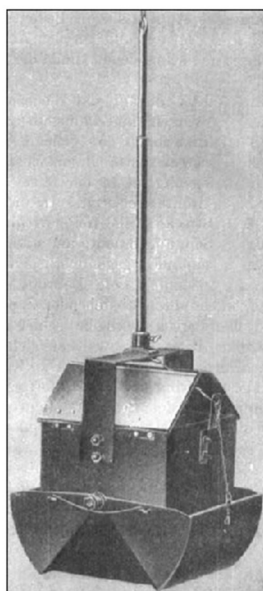
Dans la suite de ce document, on retiendra le vocabulaire suivant :

- **prélèvement** : opération permettant l'extraction in situ d'une carotte à l'intérieur du sédiment à l'aide d'un carottier ;
- **échantillonnage** : opération de constitution de l'échantillon qui sera soumis à analyse, à partir d'une ou plusieurs carottes prélevées sur le même point de prélèvement. Un échantillon est constitué d'un ensemble de sous-échantillons répartis dans les flacons ad hoc pour l'analyse prévue.

### 2.3.1 Matériel de prélèvement

L'extraction des carottes se fait sous une couche d'eau plus ou moins importante ; le système de prélèvement permet d'extraire le sédiment et l'amener en surface en préservant ses qualités et sa structure. Selon les sites de prélèvement, 2 protocoles ont été utilisés :

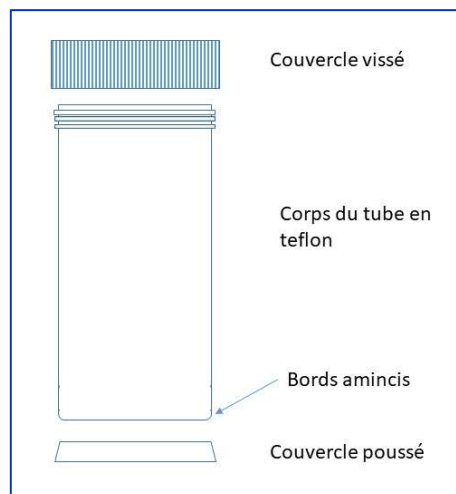
- prélèvement au carottier à main de type Ekman muni d'un manche (Figure 2) manipulé soit directement à pied dans les lagunes de très faible profondeur, soit depuis une embarcation légère ;
- prélèvement en plongée à l'aide d'un tube en Téflon directement enfoncé dans le sédiment par le plongeur (Figure 3).



a

b

Figure 2 : Carottier – boîte de type Ekman : a-description du matériel (extrait de Ekman, 1911) b- manipulation (après déclenchement) d'un carottier équipé d'un manche (campagne ROCCHSED 2023)



a  
Figure 3 : Utilisation d'un tube en plongée : a- retour du tube fermé à la surface (campagne ROCCHSED 2023) b- schéma du tube ouvert aux deux extrémités

Pour l'étang de Thau et l'étang de Diana, un modèle de carottier Ekman à câble a été utilisé depuis la surface à partir d'une embarcation. Pour l'étang de Thau une assistance au fond a pu être apportée par un plongeur pour faciliter la pénétration du carottier dans le sédiment.

## 2.3.2 Echantillonnage

Les prélèvements ont été immédiatement échantillonnés après leur arrivée en surface.

### 2.3.2.1 En vue d'analyses chimiques et granulométriques :

L'échantillonnage est effectué dans le premier centimètre superficiel du sédiment ; le sédiment destiné à la mesure de la granulométrie peut être prélevé dans la partie la plus périphérique de la carotte, qui a été en contact avec les parois de la boîte ou du tube. Le matériel destiné à l'analyse des métaux doit être prélevé dans la partie centrale, la plus éloignée des parois métalliques potentiellement contaminantes. Enfin, la partie intermédiaire doit être prélevée pour l'analyse des contaminants organiques (Figure 4).

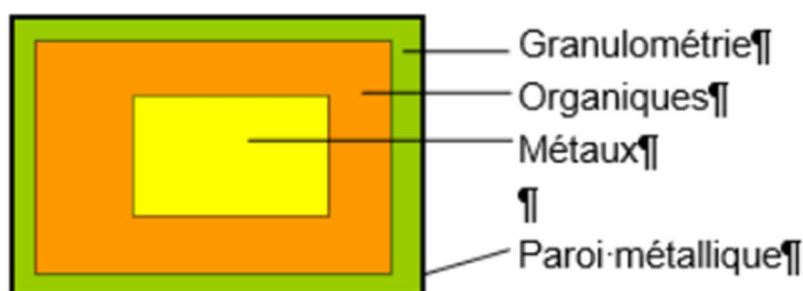


Figure 4 : Schéma d'une carotte vue de dessus. Détail des zones à prélever dans la carotte en fonction des analyses de contaminants chimiques prévues.

Pour les contaminants organiques, le centimètre superficiel est prélevé à l'aide de la spatule ou cuillère en acier inoxydable. L'échantillon est placé dans un ou plusieurs bocaux en verre calcinés. Une feuille d'aluminium calcinée est intercalée entre le bocal et le couvercle.

Pour les métaux, le centimètre superficiel est prélevé à l'aide de la spatule en polyéthylène ou polypropylène. L'échantillon destiné à la mesure des métaux est placé dans un pilulier de 125 mL en polyéthylène.

Les échantillons "métaux" et "organiques" sont congelés.

L'échantillon destiné à la mesure de la granulométrie est placé dans un pilulier de 55 mL conservé au réfrigérateur jusqu'à l'analyse.

L'échantillon destiné à l'analyse des nutriments est placé dans un flacon en polyéthylène de 500 mL ou 1L conservé au congélateur jusqu'à l'analyse.

#### 2.3.2.2 Prélèvement des micro-plastiques :

Un prélèvement spécifique est réalisé en prévision de la recherche des micro-plastiques. La couche de surface du sédiment est prélevée sur les cinq premiers centimètres (~250g), puis conditionnée dans des flacons en verre d'un litre avec de l'éthanol absolu (25 mL) et mis à l'abri de la lumière et à température ambiante en attendant leur traitement au laboratoire. Afin d'éviter la contamination, tous les prélèvements sont effectués avec du matériel en inox, préalablement désinfecté. L'opérateur est équipé de gants en nitrile et d'une blouse en coton de manière à limiter la contamination.

## 2.4 Protocoles analytiques

### 2.4.1 Caractéristiques des sédiments

Chiffolleau (2003) rappelle que la composition minéralogique, chimique et granulométrique du sédiment détermine sa capacité à retenir les contaminants chimiques. Ainsi les métaux ont une affinité particulière pour les sédiments fins qui, à masse égale, offrent une surface disponible pour adsorber des métaux plus importante que des sédiments plus grossiers. Par ailleurs la minéralogie du sédiment intervient également sur les concentrations en métaux, d'une part parce que certains minéraux sont intrinsèquement plus riches en métaux que d'autres, et d'autre part parce que leur composition chimique leur confère des capacités fixatrices particulières (présence de sites échangeurs de cations). Il est donc nécessaire de prendre en compte l'effet de ces différents facteurs si l'on veut comparer les niveaux de contamination de sédiments différents. De la même façon, les teneurs en contaminants organiques dans le sédiment seront principalement influencées par la présence de la matière organique pour laquelle ils ont une forte affinité. La part de matière organique du sédiment sera utilement représentée par sa teneur en carbone organique.

Les caractéristiques utiles à l'interprétation des concentrations en contaminants mesurées sont listées dans le Tableau 3.

| Caractéristiques                                                                   | Indicateur mesuré                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Granulométrie dont part de la fraction de particules de diamètre inférieur à 63 µm | Pourcentage (en poids) de chaque classe granulométrique. |
| Nature calcaire du sédiment                                                        | Teneur en carbonates                                     |
| Part de la fraction organique                                                      | Teneur en carbone organique total                        |
| Part de la fraction argileuse                                                      | Concentrations en aluminium, manganèse, lithium et fer   |

Tableau 3: Paramètres généraux mesurés sur les échantillons du ROCCHSED 2023.

Les analyses *granulométriques* ont été réalisées rapidement après la campagne de prélèvement afin de sélectionner, le cas échéant, les échantillons les plus adaptés aux analyses chimiques. Les analyses ont été réalisées sur échantillon brut<sup>3</sup> gardé réfrigéré jusqu'à l'analyse, par le laboratoire des Pyrénées et des Landes à Tarbes. La méthode retenue, par granulométrie laser, est identique à celle utilisée lors des précédentes campagnes afin de faciliter la comparaison des résultats. Le laboratoire est accrédité COFRAC pour ces analyses<sup>4</sup>. Les résultats sont exprimés en proportions des classes de taille granulométrique et on s'intéressera en particulier à la classe de taille « particules de diamètre inférieur à 63µm » qui traduit la fraction fine du sédiment.

Les analyses de *carbonates et de carbone organique* et l'évaluation de la teneur en matière sèche ont été réalisées par le laboratoire Inovalys de Nantes.

Les dosages sont faits sur échantillon brut selon les principes suivants :

- concentration en carbonates, exprimée en % CaCO<sub>3</sub> mesurée par calcimètre de Bernard ;

<sup>3</sup> Echantillon brut ou tamisé à 2 mm en cas de présence de débris de grandes tailles.

<sup>4</sup> Néanmoins les résultats sont rendus hors accréditation COFRAC du fait du délai écoulé entre le prélèvement et l'envoi des échantillons au laboratoire.

- concentration en carbone organique total, exprimée en g/kg de carbone, mesurée par combustion sèche (analyseur CHN) selon le principe de la norme abrogée NF EN 13137 (X30-404). Le laboratoire est accrédité COFRAC pour ces analyses.
- teneur en matières sèches, exprimée en %, mesurée par pesée après séchage à 105°C. Le laboratoire est accrédité COFRAC pour ces analyses.

L'aluminium, le manganèse, le lithium et le fer sont des éléments métalliques caractéristiques de l'échantillon, naturellement présents dans les argiles. Ils sont analysés avec les éléments-traces métalliques dosés comme contaminants, par le laboratoire Ifremer de l'unité CCEM à Nantes, par spectrométrie de masse à plasma, à couplage inductif (ICP-MS triple quadripôle). Le laboratoire participe régulièrement aux essais inter-laboratoires organisés par WEPAL-Quasimeme<sup>5</sup>, organisme adossé à l'université de Wageningen opérateur d'essais inter-laboratoires internationaux spécialisés pour le domaine marin.

## 2.4.2 Analyse des contaminants chimiques

Les contaminants chimiques ciblés pour la campagne ROCCHSED 2023 sont ceux qui permettent d'évaluer la qualité de l'écosystème. La liste (Tableau 4) intègre en particulier les contaminants identifiés dans les textes internationaux (conventions de mer régionale, directives européennes) ainsi que certaines familles encore émergentes (retardateurs de flamme bromés, composés perfluoroalkylés – PFAS).

| Familles                                     | Substances chimiques                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eléments traces métalliques                  | Hg, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd, Pb                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Organo étains                                | TBT, DBT, MBT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| HAP                                          | Phénanthrène, Anthracène, Fluoranthène, Pyrène, Benzo[c]fluorène, Benz[a]anthracène, Cyclopenta[c;d]pyrène, Chrysène, 5-Méthylchrysène, Benzo[b]fluoranthène, Benzo[j]fluoranthène, Benzo[k]fluoranthène, Benzo[a]pyrène, Indéno[1,2,3,c-d]pyrène, Dibenz[a,h]anthracène, Benzo[g,h,i]pérylène, Dibenzo[a,i]pyrène, Dibenzo[a,e]pyrène, Dibenzo[a,j]pyrène, Dibenzo[a,h]pyrène |
| HAP légers                                   | Acénaphthylène, Acénaphthène, Fluorène, Naphtalène                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| PCB                                          | PCB non dioxines : n° 28, 52, 101, 138, 153, 180,<br>PCB de type dioxines : n°77, 81, 105, 114, 118, 126, 123, 156, 157, 167, 169, 189                                                                                                                                                                                                                                         |
| Dioxines & furanes                           | 17 composés                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| PBDE + HBCDD (retardateurs de flamme bromés) | BDE n°28, 47, 49, 66, 85, 99, 100, 153, 154, 183, 209<br>3 HBCDD (alpha, beta, gamma)                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Pesticides organo-chlorés (OC)               | HCH (alpha, beta, gamma, delta)<br>op' DDT, pp' DDT ; op' DDD, pp' DDD, op' DDE, pp'DDE                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Chlorobenzènes                               | Hexachlorobenzène, Hexachlorobutadiène, Pentachlorobenzène                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Phtalates                                    | DEHP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Perfluoroalkylés (PFAS)                      | 26 PFAS dont PFOS, PFOA, PFNA et PFHxS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Autres pesticides                            | Quinoxifène, Dicofol, heptachlore et époxydes (cis trans)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Tableau 4 : Contaminants chimiques dosés dans les échantillons de sédiment de la campagne ROCCHSED 2023.

Les analyses d'éléments-traces métalliques sont réalisées par le laboratoire Ifremer de l'unité contamination chimique des écosystèmes marins à Nantes, par spectrométrie de masse à plasma, à couplage inductif (ICP-MS triple quadripôle) pour tous les éléments métalliques sauf le mercure, analysé par spectrométrie d'absorption atomique.

Les différentes familles de contaminants organiques sont analysées par le laboratoire d'Etude des Résidus et Contaminants dans les Aliments de l'école vétérinaire de Nantes (LABERCA). Le dosage des HAP, des pesticides organochlorés (DDT, lindane, quinoxifène, dicofol, heptachlore), des

<sup>5</sup> <https://www.wepal.nl/en/wepal.htm>

composés organostanniques, du DEHP et des chlorobenzènes et chlorobutadiène est fait par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en tandem (GC MS/MS). Le dosage des PCB, dioxines et furanes est fait par chromatographie gazeuse haute résolution et le dosage des hexabromocyclododécane (HBCDD) et des composés perfluoroalkylés est fait par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem. Le LABERCA est accrédité COFRAC pour l'analyse des HAP (sauf les légers : acénaphthylène, acénaphène, fluorène et naphthalène), des PCB et dioxines, des retardateurs de flamme bromés.

### **2.4.3 Analyse de l'azote et du phosphore**

Les analyses de l'azote et du phosphore total sédimentaire, ainsi que la teneur en matière organique, ont été réalisées par le CIRAD – unité analyse des eaux, sols et végétaux, de Montpellier. Chaque échantillon a été tamisé (2mm) avant analyse. La teneur en matière organique du sédiment a été estimée par perte au feu (480°C) et est exprimée en pourcentage de matière sèche (%). Préalablement aux dosages de l'azote total (NT) et du phosphore total (PT), les échantillons ont été séchés à l'air puis broyés (100 µm) selon la norme NF ISO 11464. La concentration en phosphore total (exprimée en mg de phosphore par kg de sédiment sec) a ensuite été mesurée par dosage colorimétrique à l'aide d'un spectromètre en flux continu selon la norme NF ISO 11263 / X31-403. La concentration en azote total (exprimée en g d'azote par kg de sédiment sec), a enfin été mesurée par combustion sèche à l'aide d'un analyseur élémentaire selon la norme NF ISO 13878.

### **2.4.4 Caractérisation de la contamination par les micro-plastiques**

L'extraction, la caractérisation et le dénombrement des particules de micro-plastiques (MP) sont réalisés par l'équipe du laboratoire environnement et ressources de Provence Alpes Corse à La Seyne sur mer. Les micro-plastiques sont extraits des sédiments grâce à une séparation par densité avec une solution de chlorure de zinc ( $ZnCl_2(aq)$ ). Ils sont ensuite récupérés sur des filtres en fibre de verre et traités avec un fluorochrome (Nile Red) afin d'être caractérisés sous stéréo-microscope à épi fluorescence. Deux paramètres de caractérisation sont pris en compte : la classe de taille (micro-plastiques dont la taille est inférieure à 5 mm [0.3-1mm ; 1-2mm ; 2-5mm] et méso-plastiques avec une taille supérieure à 5mm) et la typologie (fragment, fibre, pellet, film et mousse). Trois réplicas sont effectués par station de prélèvement, et la densité de micro-plastiques par station correspond à la valeur moyenne des trois réplicas. Les dénombrements des typologies des micro-plastiques sont exprimées par le nombre d'item (moyenne des trois réplicas) par échantillon (environ 50 g de poids sec). Les densités de micro-plastiques correspondent au comptage des particules par échantillon et exprimées pour un kilogramme de sédiment sec afin de pouvoir être comparés entre eux et aux valeurs de la littérature. Les données correspondent aux données brutes sans correction par les blancs (moyenne = 3.66 particules par kilogramme de sédiment sec ; écart-type = 1.52).

## 3 Résultats 2023

### 3.1 Caractéristiques granulométriques et normalisation

#### 3.1.1 Bilan des caractéristiques des échantillons

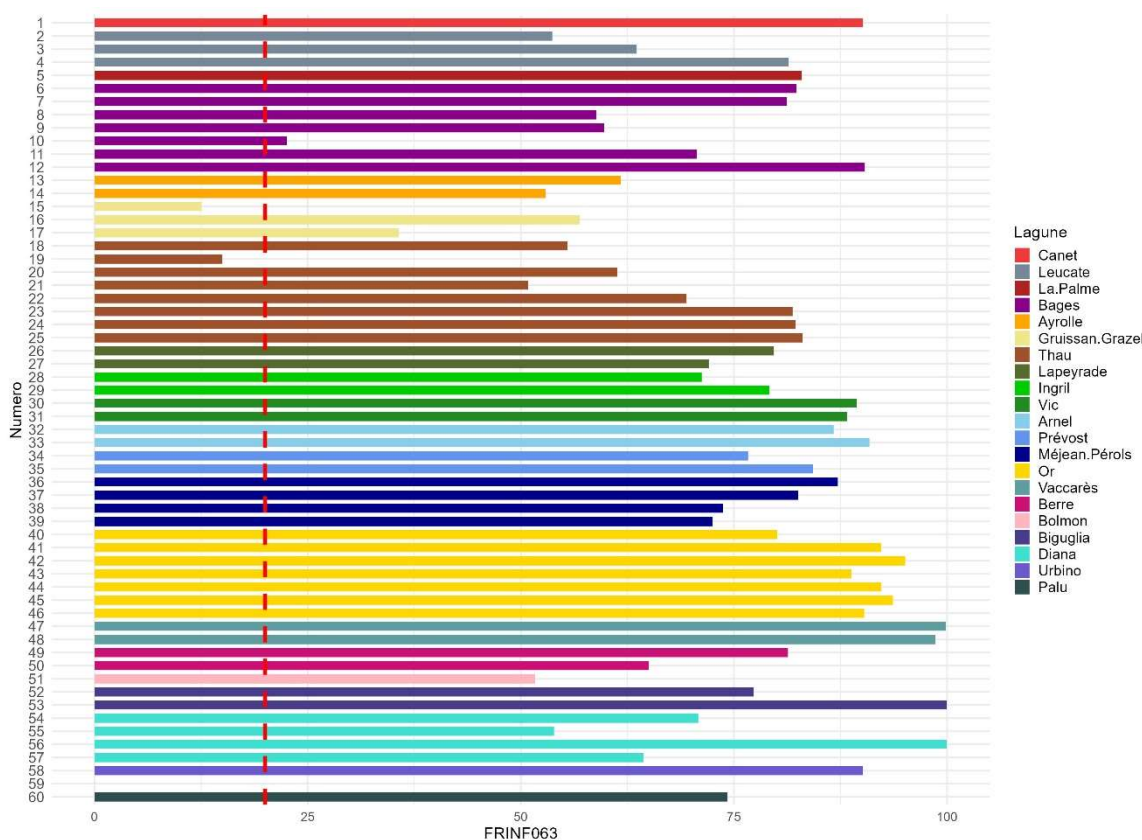


Figure 5 : Teneurs en fraction fine (particules sédimentaires de diamètre inférieur à 63  $\mu\text{m}$ ) des échantillons de sédiment de la campagne ROCCHSED 2023. La limite en tirets rouges à 20 % matérialise la concentration minimum recommandée pour un échantillon exploitable. Numéros des points de prélèvement : cf tableau 1.

La Figure 5 montre que 2 échantillons issus de la campagne ROCCHSED 2023 présentent des teneurs en particules de diamètre inférieur à 63  $\mu\text{m}$  en dessous de 20 % (limite proposée dans le cadre des conventions de mer régionale pour utiliser le sédiment comme indicateur de l'état chimique). Ils sont donc écartés du reste des analyses. Ce sont les points n°15 (GRU – Gruissan) et n°19 (Thau - Face La Fadèze 2) avec une fraction fine de 12.6 % et 15.0 % respectivement. Cette sélection est sans conséquences vis-à-vis de nos objectifs puisque ces deux lagunes comportent plusieurs points de suivi (deux sur Gruissan et huit sur Thau).

#### 3.1.2 Normalisation des concentrations mesurées des échantillons

Afin de rendre les résultats comparables pour les discuter, une étape préalable de « normalisation » est indispensable pour corriger les valeurs de l'effet de la nature intrinsèque du sédiment. Chiffoleau (2003) propose deux approches :

- faire le rapport entre le contaminant étudié et l'élément normalisateur (quand il est unique). Cette technique est simple et rapide mais présente des inconvénients aux basses concentrations en élément normalisateur ;
- procéder par régression de la concentration du contaminant étudié sur celle d'un ou plusieurs éléments normalisateurs (aluminium, carbone organique, carbonates) susceptibles chacun d'expliquer une part de la capacité du sédiment à fixer ou non le contaminant étudié. Si la relation avec les paramètres normalisateurs est significative, on peut mettre en évidence les échantillons dont les teneurs en contaminants s'écartent significativement de ceux dont les concentrations sont expliquées par ces paramètres.

Nous avons adopté ici la normalisation par la teneur en aluminium pour les métaux et par la teneur en carbone organique pour les contaminants organiques.

## 3.2 Contaminants chimiques

### 3.2.1 Valeurs de référence

#### 3.2.1.1 Valeurs seuils écotoxicologiques

Pour évaluer la situation de chaque station/lagune en termes de qualité du compartiment sédimentaire vis-à-vis de chacun des contaminants recherchés de manière individuelle, les concentrations normalisées ont été comparées à des valeurs de référence (ou valeurs seuils) faisant l'objet d'un consensus international. Les références existantes sont de quatre type et sont complémentaires. Elles sont synthétisées dans le Tableau 5 :

- **ERL**: Effect Range Low (ou valeur minimale d'effet écotoxicologique), établi par l'US-EPA (United States Environmental Protection Agency) (Long *et al.*, 1995)<sup>6</sup>, correspond à la valeur seuil au-dessus de laquelle des effets toxiques peuvent survenir sur les espèces et stades de vie benthiques les plus sensibles. C'est une concentration en-dessous de laquelle des effets adverses apparaissent rarement.
- **ERM** : Effect Range Median (ou valeur médiane d'effet), établi par l'US-EPA (Long *et al.*, 1995), valeur seuil au-dessus de laquelle des effets toxiques sont fréquemment observés pour la plupart des espèces benthiques.
- **EAC** : Environmental Assessment Criteria, seuil d'effet toxique au-dessus duquel un effet chronique lié à une exposition prolongée est attendu pour les espèces marines benthiques, notamment les plus sensibles (OSPAR, 2021).
- **FEQG** : Federal Environmental Quality Guidelines, développées par le Canadian Environmental Protection Act, 1999 et repris par OSPAR pour l'évaluation des esters bromés (PBDE) dans le sédiment (OSPAR 2020). Les concentrations inférieures à la valeur de FEQG ne devraient pas causer d'effets chroniques sur les organismes.
- **EQS** : Environmental Quality Standard, développées par la Swedish Agency for Marine and Water Management (SwAM) (OSPAR 2020).

Certaines de ces valeurs seuils (ERL, ERM...) seront représentées dans la suite de ce rapport sous la forme d'une ligne en pointillé rouge ou mauve sur les graphiques.

A partir de ces valeurs seuils applicables à des contaminants individuellement, des indices combinant ces valeurs seuils sont proposés comme le M-ERM-Q (mean-ERM-quotient ou indice moyen des rapports de chaque métal à sa valeur d'effet individuelle -ERM- pour les éléments-traces métalliques). Il correspond à la moyenne, pour plusieurs éléments métalliques, des concentrations rapportées à l'ERM (= quotients de risque). Il a été calculé pour certains métaux lourds (argent, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc) selon l'équation ci-dessous :

$$M - ERM - Q = \left( \sum_i^n C_i / ERM_i \right) / n$$

où  $C_i$  correspond à la concentration du métal  $i$  normalisée à 5% d'aluminium,

$ERM_i$  est la valeur ERM du métal  $i$

et  $n$  le nombre de métaux pris en compte.

Long et al (2000) ont ainsi précisé des classes de qualité liées à cet indicateur, à savoir qu'un M-ERM-Q < 0.1 a peu de chance d'entraîner de la toxicité (moins de 9% de probabilité d'une toxicité pour le compartiment benthique), entre 0.1 et 0.5, les chances sont de 21%, entre 0.5 et 1.5, elles sont de 49% et enfin au-delà de 1.5, les chances de toxicité pour le compartiment benthique sont de 76%.

<sup>6</sup> Long et al, 1995, ont réalisé une revue à partir de 350 publications scientifiques, des niveaux individuels de contaminants associés rarement / occasionnellement / fréquemment à des effets biologiques. De cette revue ils en ont tiré l'ERL (percentile 10 des valeurs associées à un effet) et l'ERM (médiane des valeurs associées à un effet biologique = percentile 50).

| Contaminant<br>(a) Normalisé à 2.5% de carbone organique<br>(b) Normalisé à 5% AI                                                                        | Valeur seuil                                         | Nature<br>du seuil |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|
| BDE28 (a)                                                                                                                                                | 110 µg.kg <sup>-1</sup>                              | FEQG               |
| BDE47 (a)                                                                                                                                                | 97.5 µg.kg <sup>-1</sup>                             | FEQG               |
| BDE66 (a)                                                                                                                                                | 97.5 µg.kg <sup>-1</sup>                             | FEQG               |
| BDE85 (a)                                                                                                                                                | 1 µg.kg <sup>-1</sup>                                | FEQG               |
| BDE99 (a)                                                                                                                                                | 1 µg.kg <sup>-1</sup>                                | FEQG               |
| BDE100 (a)                                                                                                                                               | 1 µg.kg <sup>-1</sup>                                | FEQG               |
| BDE153 (a)                                                                                                                                               | 1100 µg.kg <sup>-1</sup>                             | FEQG               |
| BDE154 (a)                                                                                                                                               | 1100 µg.kg <sup>-1</sup>                             | FEQG               |
| BDE183 (a)                                                                                                                                               | 14000 µg.kg <sup>-1</sup>                            | FEQG               |
| BDE209 (a)                                                                                                                                               | 47.5 µg.kg <sup>-1</sup>                             | FEQG               |
| Cd (b)                                                                                                                                                   | 1.2 / 9.6 mg.kg <sup>-1</sup>                        | ERL / ERM          |
| Cr (b)                                                                                                                                                   | 81 / 370 mg.kg <sup>-1</sup>                         | ERL / ERM          |
| Cu (b)                                                                                                                                                   | 34 / 270 mg.kg <sup>-1</sup>                         | ERL / ERM          |
| Pb (b)                                                                                                                                                   | 46.7 / 218 mg.kg <sup>-1</sup>                       | ERL / ERM          |
| Hg (b)                                                                                                                                                   | 0.15 / 0.71 mg.kg <sup>-1</sup>                      | ERL / ERM          |
| Ni (b)                                                                                                                                                   | 20.9 / 51.6 mg.kg <sup>-1</sup>                      | ERL / ERM          |
| Ag (b)                                                                                                                                                   | 1 / 3.7 mg.kg <sup>-1</sup>                          | ERL / ERM          |
| Zn (b)                                                                                                                                                   | 150 / 410 mg.kg <sup>-1</sup>                        | ERL / ERM          |
| Acenaphtène                                                                                                                                              | 16 / 500 µg.kg <sup>-1</sup>                         | ERL / ERM          |
| Acenaphtylène                                                                                                                                            | 44 / 640 µg.kg <sup>-1</sup>                         | ERL / ERM          |
| Anthracène                                                                                                                                               | 85.3 / 1100 µg.kg <sup>-1</sup>                      | ERL / ERM          |
| Benzo(a)anthracène                                                                                                                                       | 261 / 1600 µg.kg <sup>-1</sup>                       | ERL / ERM          |
| Benzo(a) pyrène                                                                                                                                          | 430 / 1600 µg.kg <sup>-1</sup>                       | ERL / ERM          |
| Fluoranthène (a)                                                                                                                                         | 600 / 5100 µg.kg <sup>-1</sup>                       | ERL / ERM          |
| HAP somme (fluoranthène, phénanthrène, indénopyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(a)anthracène, benzo(a)pyrène, benzo(ghi)pérylène, chrysène, anthracène) | 4022 µg.kg <sup>-1</sup>                             | ERL                |
| CB28 (a)                                                                                                                                                 | 1.7 µg.kg <sup>-1</sup>                              | EAC                |
| CB52 (a)                                                                                                                                                 | 2.7 µg.kg <sup>-1</sup>                              | EAC                |
| CB118 (a)                                                                                                                                                | 0.6 µg.kg <sup>-1</sup>                              | EAC                |
| CB153 (a)                                                                                                                                                | 40 µg.kg <sup>-1</sup>                               | EAC                |
| PCB somme (congénères 28-52-101-118-138-153-180) (a)                                                                                                     | 22.7 µg.kg <sup>-1</sup>                             | ERL                |
| DDT somme (DDTpp', DDEpp', DDDpp') (a)                                                                                                                   | 1.58 µg.kg <sup>-1</sup>                             | ERL                |
| TBT (a)                                                                                                                                                  | 0.8 µg.kg <sup>-1</sup> =1.95 µg Sn.kg <sup>-1</sup> | EQS <sup>7</sup>   |
| HCH gamma                                                                                                                                                | 3 µg.kg <sup>-1</sup>                                | ERL                |
| HCB                                                                                                                                                      | 20 µg.kg <sup>-1</sup>                               | ERL                |

Tableau 5 : Valeurs de référence pour évaluer la qualité chimique du sédiment : valeurs d'effets écotoxicologiques médianes (ERM) ou minimale (ERL) établies par US-EPA, critère d'évaluation d'effets écotoxicologiques chroniques (EAC) de la convention OSPAR, valeurs guide d'effet du Canadian Environmental Protection act (FEQG), norme de qualité environnementale suédoise (EQS).

<sup>7</sup> EQS : Swedish Environmental Quality Standard utilisé dans le cadre des évaluations OSPAR ([https://dome.ices.dk/ohat/trDocuments/2022/help\\_ac\\_sediment\\_contaminants.html#Organotins](https://dome.ices.dk/ohat/trDocuments/2022/help_ac_sediment_contaminants.html#Organotins))

### 3.2.1.2 Indice de risque écologique (pour les éléments-traces métalliques)

Établi par Hakanson (1980), l'indice de risque écologique (RI) a été largement utilisé pour synthétiser et prioriser les risques liés à la contamination métallique des sols, souvent d'origine minière. Utilisé à notre connaissance pour la première fois sur des sédiments lagunaires, il est calculé à partir de la somme des risques écologiques individuels  $Er_i$  (par contaminant) selon la formule :

$$RI = \sum_i Er_i$$

avec :

$$Er_i = Tr_i \times EF_i$$

-  $EF_i$  est le facteur d'enrichissement (ou Enrichment Factor) pour le contaminant  $i$   
-  $Tr_i$  est le facteur de réponse toxique (ou Toxicity response factor) pour le contaminant  $i$ .

Les facteurs de réponse toxiques sont établis pour un élément chimique en se basant sur le principe de l'abondance : l'effet toxicologique potentiel d'un élément est proportionnel à son abondance ou de sa rareté dans la nature. Les valeurs de facteur de réponse toxique ( $Tr$ ) ont été établies pour 7 contaminants métalliques : Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, et Zn ; elles sont précisées dans le tableau ci-dessous (Tableau 6).

| Élément | Tr (mg.kg <sup>-1</sup> ) | Cb (mg.kg <sup>-1</sup> ) |
|---------|---------------------------|---------------------------|
| Cd      | 30                        | 0.09                      |
| Cr      | 2                         | 92                        |
| Cu      | 5                         | 28                        |
| Hg      | 40                        | 0.05                      |
| Ni      | 5                         | 47                        |
| Pb      | 5                         | 17                        |
| Zn      | 1                         | 67                        |

Tableau 6 : Valeurs des facteurs de réponses toxiques ( $Tr$ ) (d'après Hakanson 1980) et de fond géochimique ( $C_b$  : background Concentration) pour différents métaux.

Le facteur d'enrichissement pour le contaminant métallique  $i$  ( $EF_i$ ) est défini comme sa concentration normalisée par rapport à l'aluminium  $C_i$  rapportée à la concentration dite de fond géochimique  $C_{b_i}$ .

$$EF_i = \frac{C_i}{C_{b_i}}$$

Les concentrations de fond géochimique utilisées dans le cadre de ce rapport sont celles de la croûte continentale superficielle proposées par Rudnick et Gao (Tableau 6) à défaut d'avoir des valeurs établies spécifiquement pour les zones étudiées.

L'interprétation des valeurs de RI est présentée dans le Tableau 7.

| Valeur de RI        | Risque écologique |
|---------------------|-------------------|
| $RI \leq 150$       | Faible            |
| $150 < RI \leq 300$ | Modéré            |
| $300 < RI \leq 600$ | Considérable      |
| $RI > 600$          | Très élevé        |

Tableau 7 : Interprétation de l'indice de risque écologique RI selon la classification de Hakanson (1980).

### 3.2.1.3 Médianes nationales et des lagunes méditerranéennes

Des médianes de concentrations dans le compartiment sédimentaire ont été calculées pour certains contaminants à différentes échelles spatiales : nationale, méditerranéenne et lagunaire.

Ces médianes ont été construites respectivement à partir des données normalisées issues de la série des campagnes ROCCHSED les plus récentes (2016 et 2019-2023) réalisées :

- sur le tracé littoral métropolitain pour la médiane nationale (ensemble des stations de la Figure 6),
- sur les stations de la Méditerranée (lagunes en turquoise et stations côtières en jaune) pour la médiane méditerranéenne
- et sur les stations des lagunes méditerranéennes (en turquoise) pour la médiane lagunaire.

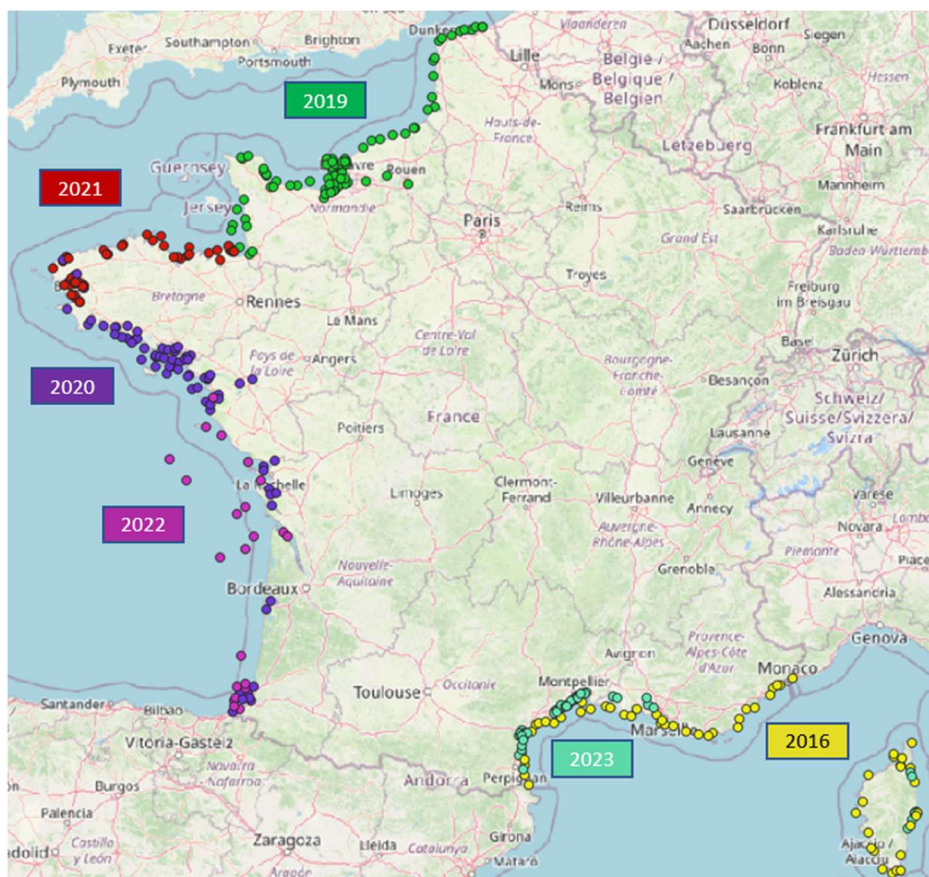


Figure 6 : Carte de localisation des échantillons qui ont servi pour le calcul des différentes médianes ; les années des campagnes de prélèvement sont indiquées dans les encadrés.

Ces médianes (nationales / régionales / lagunaires) permettent de replacer les résultats de la campagne ROCCHSED 2023 dans le contexte de la contamination des sédiments observée à l'échelle française, ou régionale méditerranéenne ou des lagunes méditerranéennes françaises, en particulier pour certains contaminants qui ne disposent pas encore de seuils écotoxicologiques avec consensus international. Ces valeurs médianes fournissent un repère informatif dans la contamination observée sans intégrer de notions d'effets ou de risques pour la biodiversité benthique. Chacune a ses avantages et ses inconvénients : centrage de la problématique sur les lagunes, dans le contexte méditerranéen ou dans le contexte national, robustesse par rapport à un nombre plus ou moins important de points utilisés, intégration de contextes côtiers/estuariens variés.... Pour des questions de lisibilité, une seule médiane sera présentée graphiquement dans la suite de ce rapport, sous la forme d'une ligne en pointillés noirs. Notre choix s'est porté sur la médiane nationale, la plus robuste pour le nombre de points utilisés et qui donne un repère du littoral national métropolitain. Les autres valeurs médianes sont toutefois disponibles en annexe 07.

### 3.2.2 Résultats 2023 pour les métaux

#### 3.2.2.1 Approche descriptive globale de la contamination métallique

Une première analyse en composantes principales (ACP) est réalisée (Figure 7) sur l'ensemble des données de concentrations en métaux (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Hg, V, Zn) normalisées (à 5% d'aluminium) pour les points de la campagne 2023, sans les 2 points où la fraction fine représente moins de 20% du total. La part des particules fines (FRINF063) et les teneurs en métaux indicateurs de la nature de l'échantillon (fer, lithium, manganèse) sont traitées en variables supplémentaires : elles n'ont pas d'impact dans la construction des axes mais peuvent néanmoins être replacées sur le graphique.

Cette première ACP (Figure 7) dont les 2 premiers axes expliquent 71.9% de la variance du jeu de données, permet de mettre en évidence la particularité de certains étangs corses, notamment celui de Biguglia, qui présentent des teneurs élevées en chrome, cobalt et nickel associées à des concentrations élevées en fer. Cette particularité ayant tendance à « tasser » la variabilité des autres lagunes, nous avons donc écarté les données des étangs de Biguglia, Urbino et Diana dans une 2<sup>e</sup> ACP dont le jeu de données reste par ailleurs le même (Figure 8).

Les deux premiers axes de cette 2<sup>e</sup> ACP expliquent la majorité de la variance du jeu de données (68.5%). Ils font apparaître un gradient horizontal croissant de contamination polymétallique allant des lagunes les plus contaminées en métaux -à savoir Bolmon, La Peyrade et Thau- (à gauche de la figure) vers les moins contaminées (Ayrolle, Palu, Gruissan; Canet), situées à droite de la figure. Les lagunes de La Peyrade, du Bolmon et certains points de l'étang de Thau apparaissent plus contaminés en Hg, Pb, Cr, Cu, Ni et Zn, et également à un degré moindre en Cd et Ag. On note que les points de l'étang de Thau montrent une grande variabilité dans les niveaux de contamination (ellipse la plus vaste), le point n°21 présentant par exemple des teneurs nettement plus fortes en cobalt et nickel que les autres points de l'étang. Par ailleurs, cette ACP montre une absence totale de lien sur ces lagunes entre les concentrations en cobalt et vanadium d'une part et les concentrations en mercure, argent et plomb d'autre part, qui proviennent probablement d'origines différentes. On note en revanche la proximité des vecteurs Co et V avec les vecteurs Li et Mn qui pourrait s'interpréter comme une origine commune naturelle de ces quatre éléments, peut-être en provenance du fond géologique.

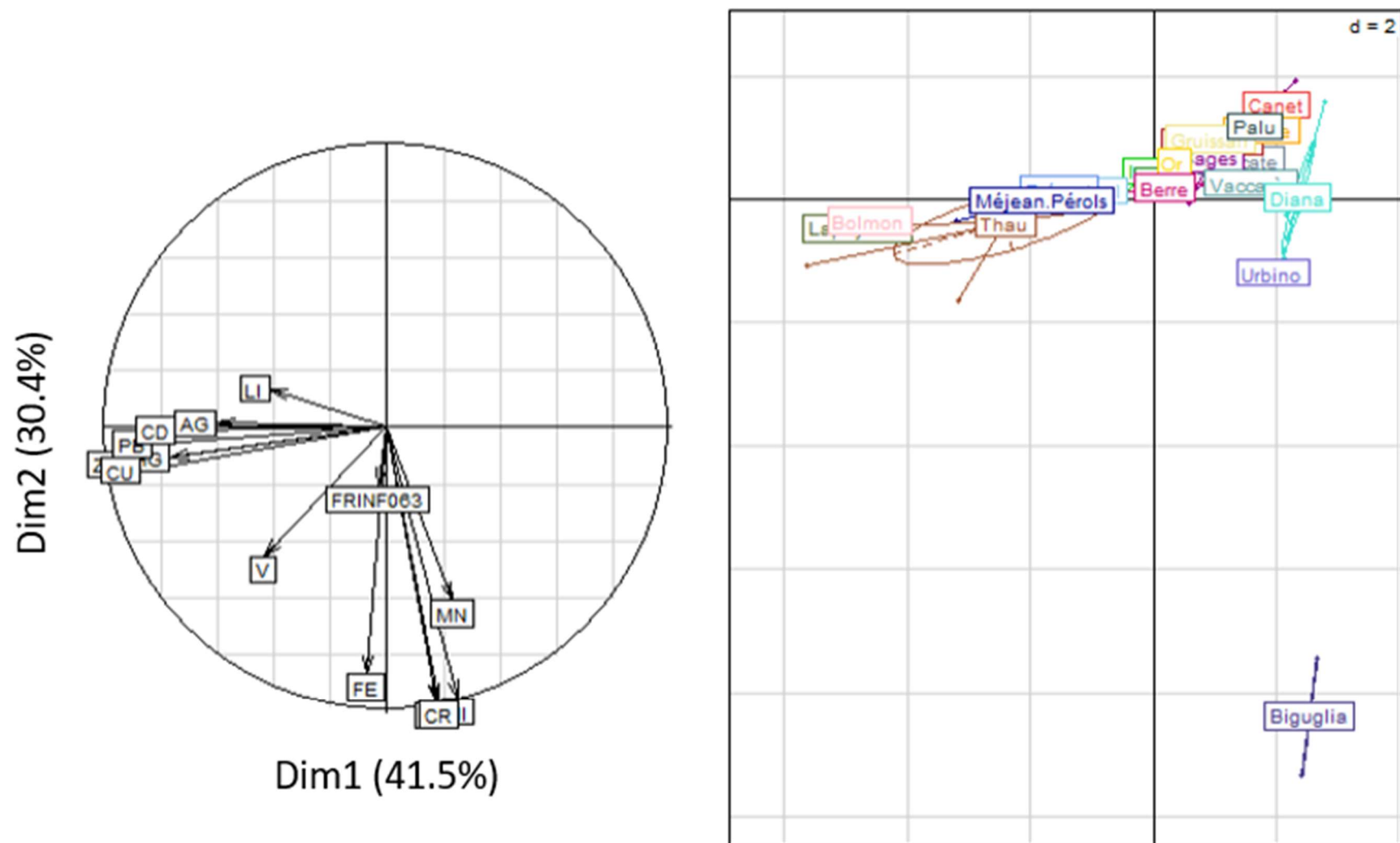


Figure 7 : Cercle des corrélations et graphe des individus de l'ACP réalisée sur les concentrations en métaux normalisées à 5% d'aluminium de la campagne ROCCHSED 2023 (variables supplémentaires : teneur en particules de taille inférieure à  $63\mu\text{m}$  = FRINF063, concentrations en Li, Mn, Fe)

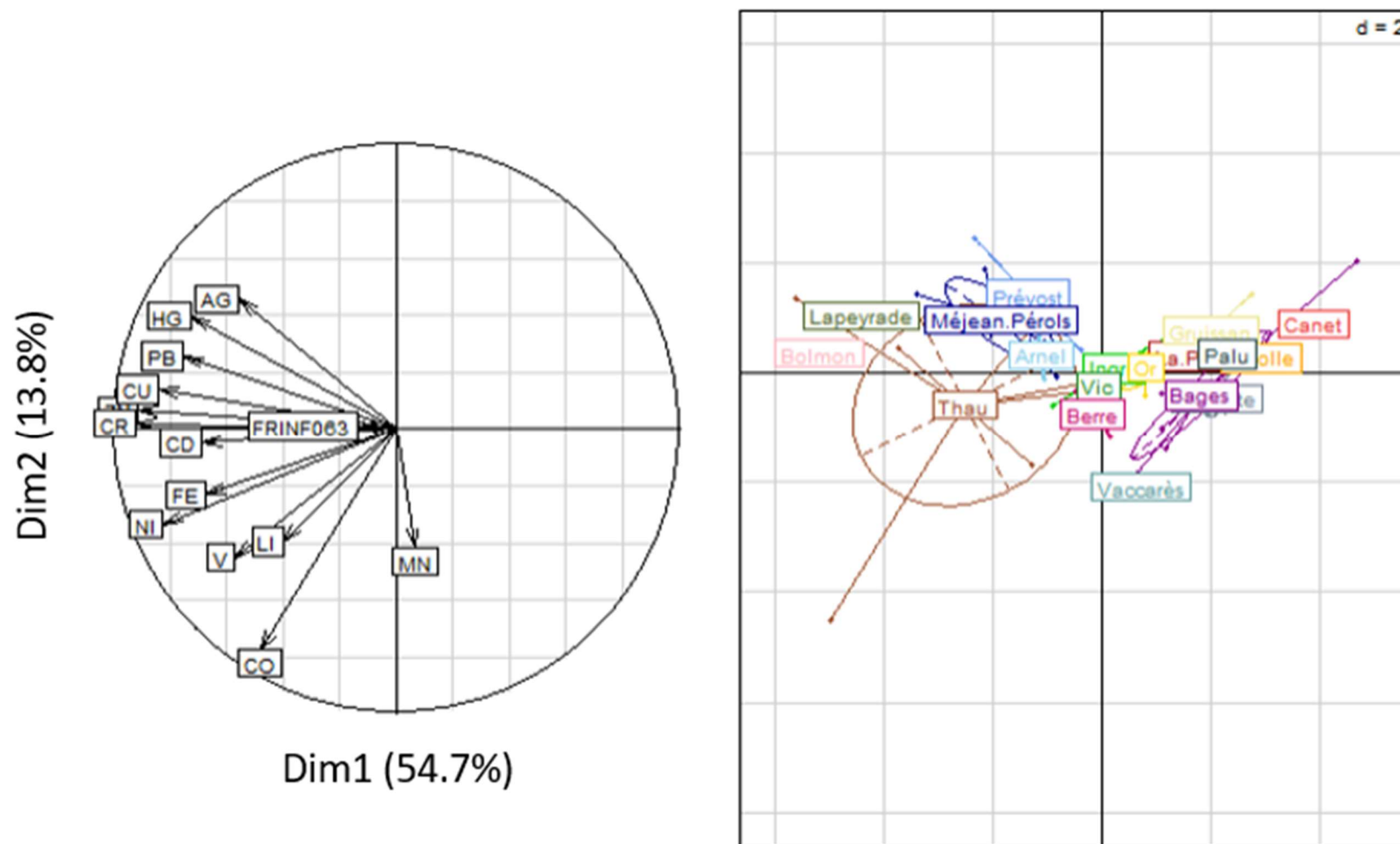


Figure 8 : Cercle des corrélations et graphe des individus de l'ACP les concentrations en métaux normalisées à 5% d'aluminium de la campagne ROCCHSED 2023 sans les étangs de Biguglia, Diana et Urbino (Variables supplémentaires : teneur en particules de taille inférieure à  $63\mu\text{m}$  =FRINF063, concentrations en Li, Mn, Fe)

### 3.2.2.2 Bilan par paramètre

Une présentation synthétique des origines potentielles et des usages anthropiques des métaux recherchés comme éléments-traces métalliques est donnée en annexe 8.2.

Les concentrations en éléments-traces métalliques ont été confrontées aux valeurs seuil présentées au 3.2.1 pour évaluer le risque toxique pour l'environnement associé à ces résultats.

#### 3.2.2.2.1 Argent

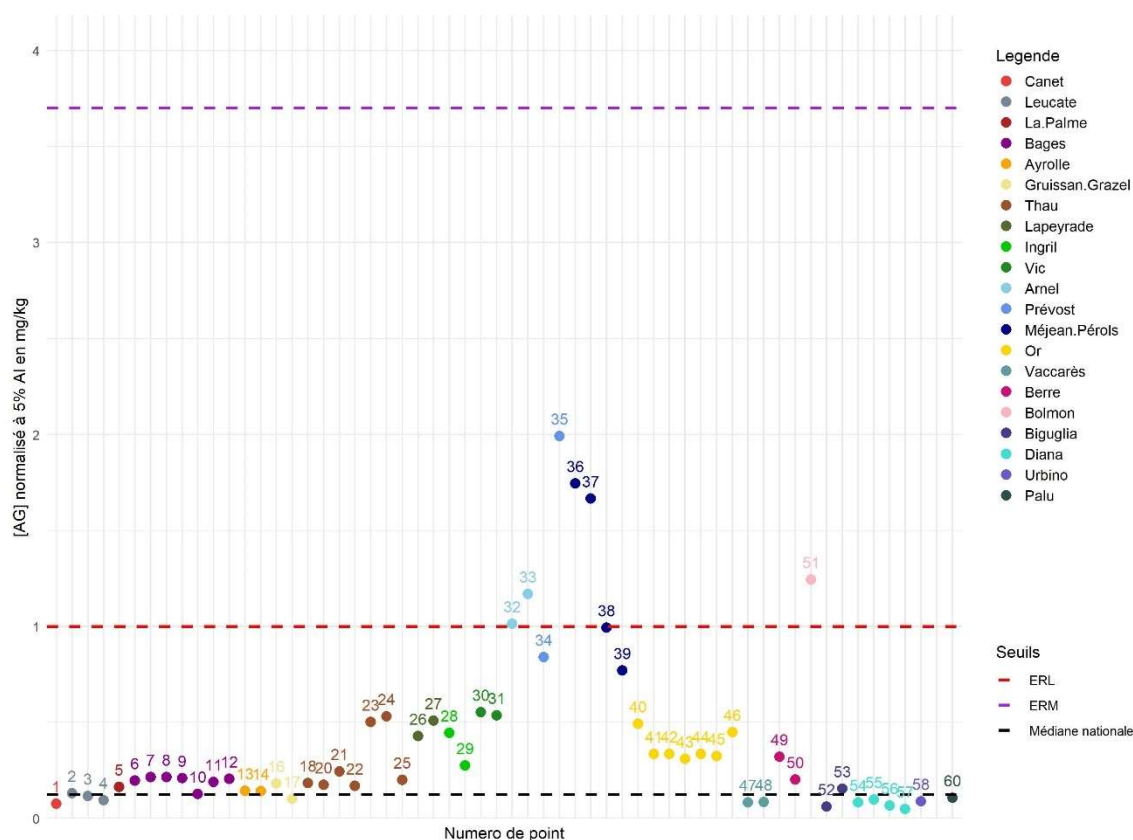


Figure 9 : Teneurs en argent (Ag) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines.

La majorité des lagunes possèdent des teneurs en argent qui ne présentent pas de risque pour les organismes benthiques (valeurs inférieures à la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL) (Figure 9). Les lagunes corses, le Vaccarès, Leucate et Canet ont même des teneurs inférieures à la médiane nationale.

En revanche, les points de l'Arnel (32 et 33), le point situé à l'est du Prévost (35) et les points situés à l'ouest du Méjean-Pérois (36, 37 et 38) ont des teneurs en argent qui dépassent l'ERL, tout en restant sous l'ERM. La distribution spatiale de ces teneurs laisse supposer l'existence d'une source commune à cette contamination en argent avec un gradient à partir du point 35 (apports du Lez et de la Mosson i-e de l'agglomération de Montpellier et/ou de la ville de Palavas).

De manière plus « isolée », le point du Bolmon (51) dépasse également la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL).

### 3.2.2.2.2 Cadmium



Figure 10 : Teneurs en cadmium (Cd) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines.

Les teneurs en cadmium sont supérieures à la médiane nationale pour la grande majorité des points des lagunes (Figure 10).

Seul le point du Bolmon (51) dépasse la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL) avec une concentration en cadmium (normalisée à 5% d'aluminium) qui atteint 1.93 mg/kg. Cette teneur est en recul par rapport à celle enregistrée en 2017 sur ce point (~3 mg/kg). Avec 7 points de suivi sur la lagune de Bages, dont les concentrations en cadmium sont toutes inférieures à l'ERL, on peut considérer que cette lagune n'est plus un hot spot de contamination sédimentaire pour ce contaminant (Claisse & al, 1990, 1991). Les teneurs en cadmium retrouvées dans ses sédiments superficiels sont désormais dans les gammes de celles rencontrées dans les autres lagunes méditerranéennes françaises.

### 3.2.2.2.3 Chrome et vanadium

Comme montré précédemment (§ 3.2.2.1 et Figure 7), et à l'exception de Palu, les lagunes corses se caractérisent par des teneurs en chrome particulièrement élevées, dépassant l'ERL et même la valeur médiane d'effet écotoxicologique (ERM) pour les deux points de Biguglia (Figure 11). Cependant, la géochimie locale connue (présence d'un massif de roches serpentinites riches en chrome, nickel et cobalt identifiée dans des communes proches de Bastia – Lahondère et al. 2013) conduit à ne pas retenir l'hypothèse d'une contamination anthropique et à modérer nos conclusions concernant les dépassements des valeurs minimale et médiane d'effet écotoxicologique (ERL & ERM) de ces lagunes de Corse du nord. Ces valeurs, établies par Long et al. en 1995, ne sont en effet pas adaptées à ce contexte local particulier où résistances et adaptations ont certainement dû se produire au sein des communautés benthiques actuellement en place. Les teneurs en chrome de la plupart des autres lagunes (dont Palu) se situent entre la médiane nationale

et la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL) à l'exception d'un point sur Thau, La Peyrade, Méjean et Bolmon qui dépassent la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL).

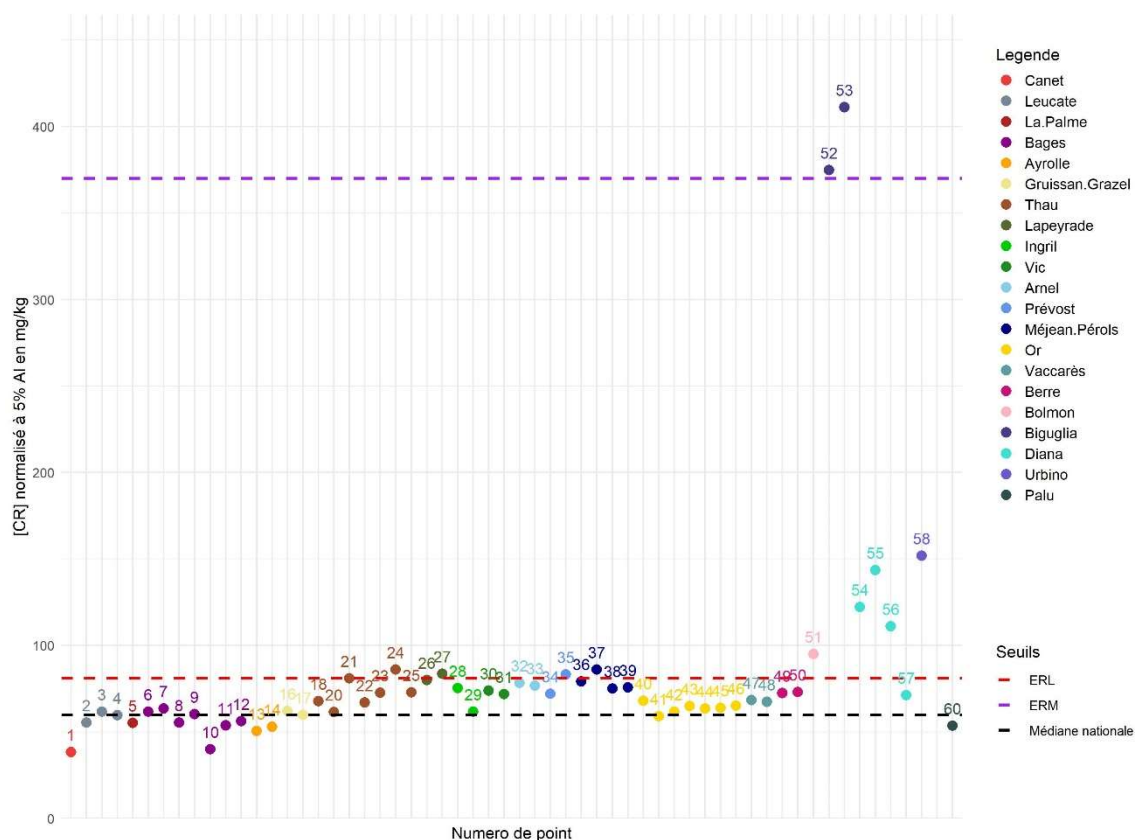


Figure 11 : Teneurs en chrome (Cr) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines.

Pour la grande majorité des points échantillonnés, les teneurs en vanadium sédimentaire sont supérieures à la médiane nationale (Figure 12). Il n'existe pas d'ERM ni d'ERL pour cet élément.

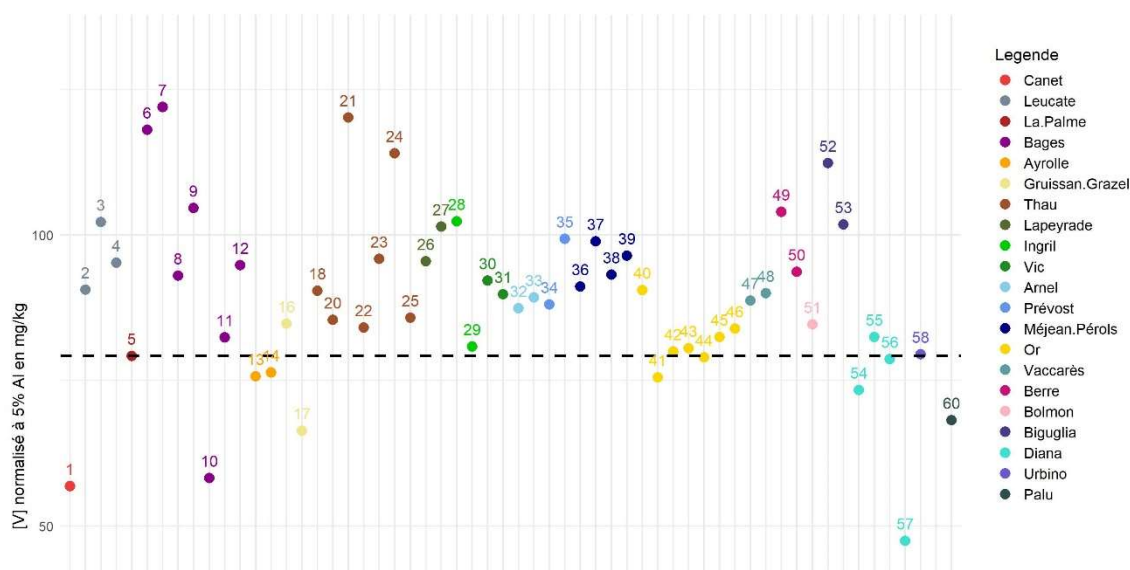


Figure 12 : Teneurs en vanadium (V) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines.

### 3.2.2.2.4 Cuivre

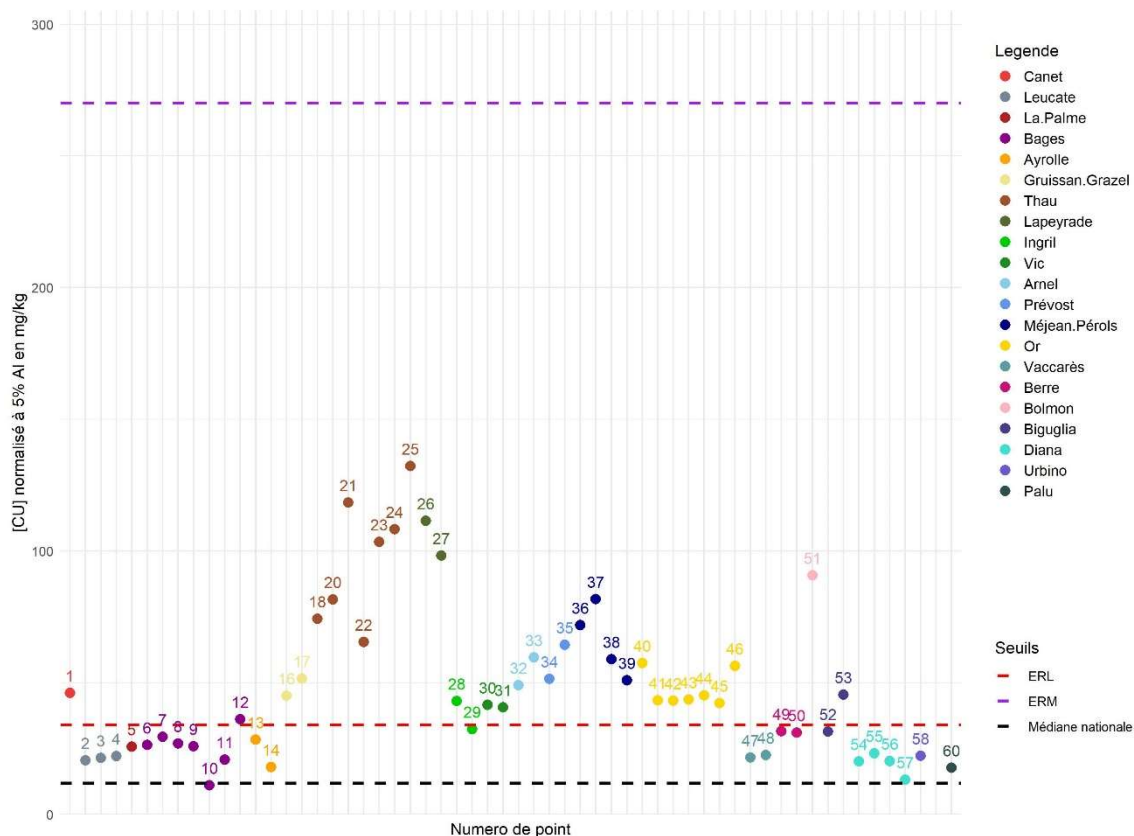


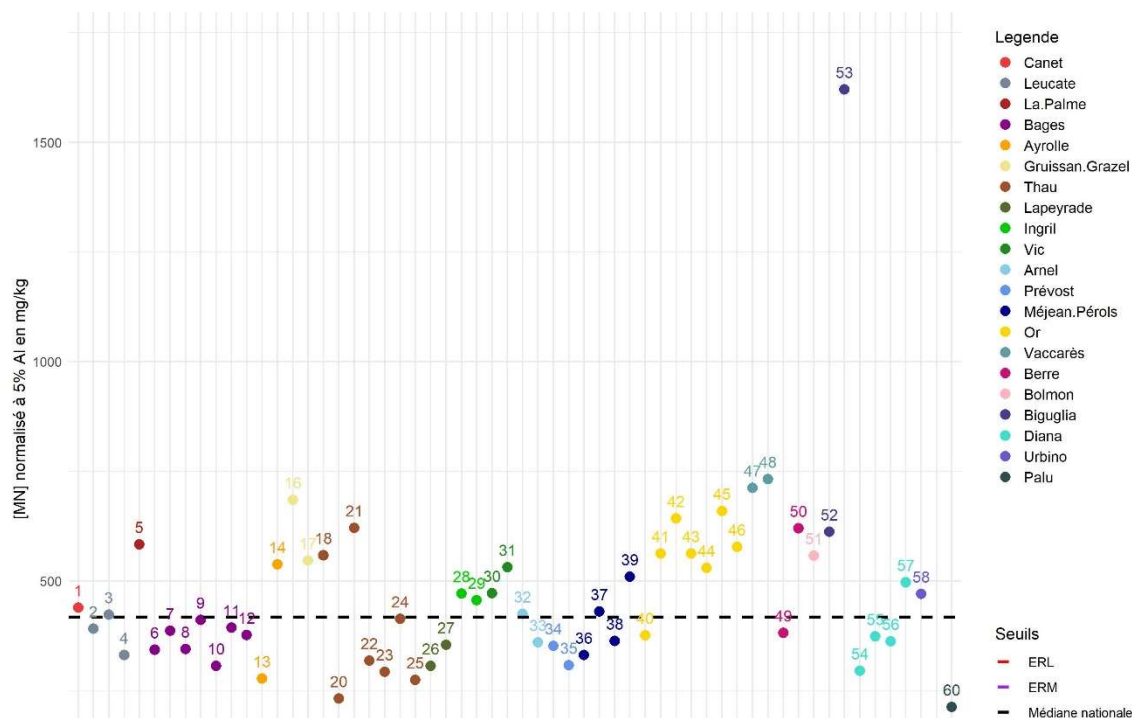
Figure 13 : Teneurs en cuivre (Cu) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines.

Les teneurs en cuivre au sein des lagunes sont globalement supérieures à la médiane nationale (Figure 13). Un seul point, situé sur Bages (10), possède des teneurs inférieures à cette médiane.

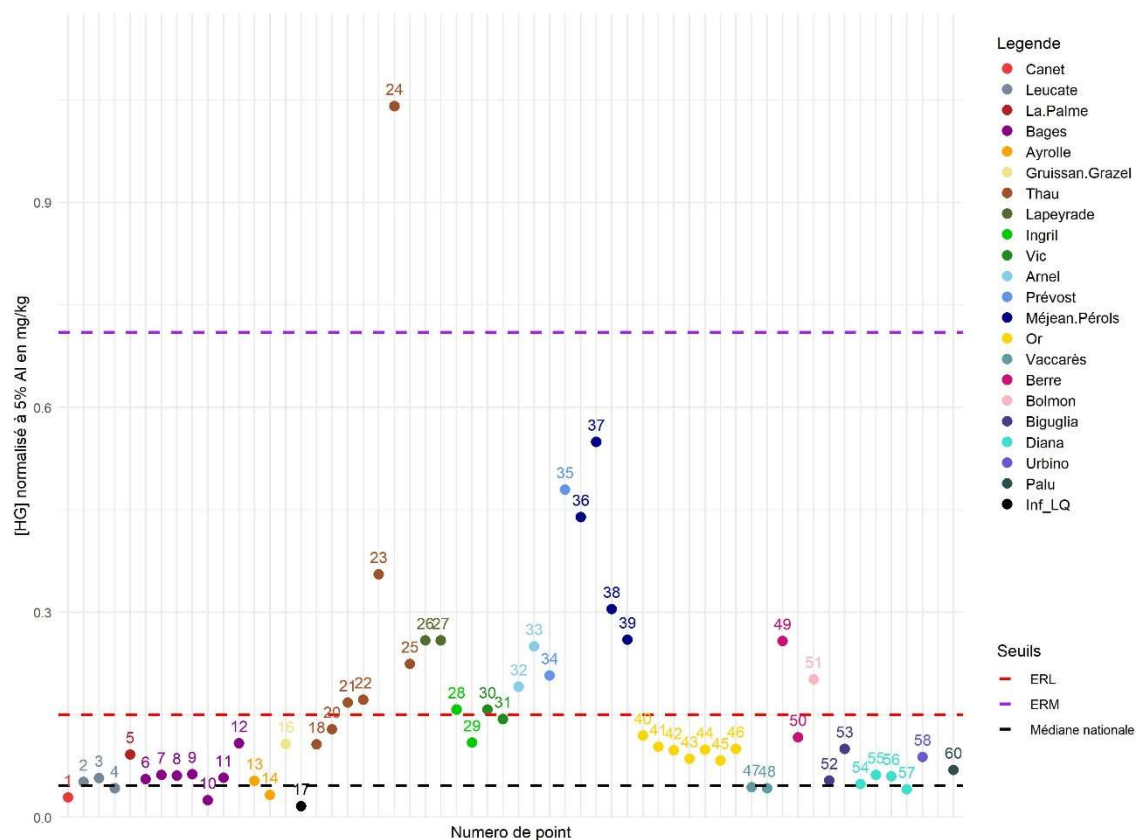
De nombreuses stations enregistrent des dépassements de la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL) pour le cuivre, traduisant un contexte toxique pour l'écosystème. C'est le cas pour les lagunes de Canet, Gruissan, l'ensemble des lagunes du complexe Thau-Palavasiens-Or, Bolmon et pour le point sud de Biguglia (53). Comme en 2017, l'étang de Thau enregistre les teneurs sédimentaires maximales au niveau du point situé dans la crique de l'Angle (25). Le point n°17 (Grazel – cardinale) qui a été rajouté au suivi cette année (hors convention) en raison de teneurs en cuivre détectées récemment dans des moules du site dans le cadre du ROCCH, à des niveaux jamais observés en France, ne présente pas de contamination remarquable du compartiment sédimentaire. L'origine de cette contamination est donc sans doute à rechercher ailleurs que dans le compartiment sédimentaire.

### 3.2.2.2.5 Manganèse

Les teneurs en manganèse dans les lagunes se répartissent de manière assez homogène autour de la médiane nationale (Figure 14). On note cependant une teneur plus forte que les autres, pour le point sud de Biguglia (53), sans qu'il soit clairement possible de le relier au contexte géologique particulier de cet étang (cf 3.2.2.1) du fait que l'autre point (n°52) de cet étang ne présente pas les mêmes niveaux en manganèse et que les dosages réalisés précédemment en 2017 ne faisait pas ressortir de tels niveaux de manganèse (Grouhel & al. 2018). On peut donc se poser la question d'une contamination d'origine anthropique venant du sud de l'étang. Cet élément ne dispose pas de seuils d'effets écotoxicologiques.



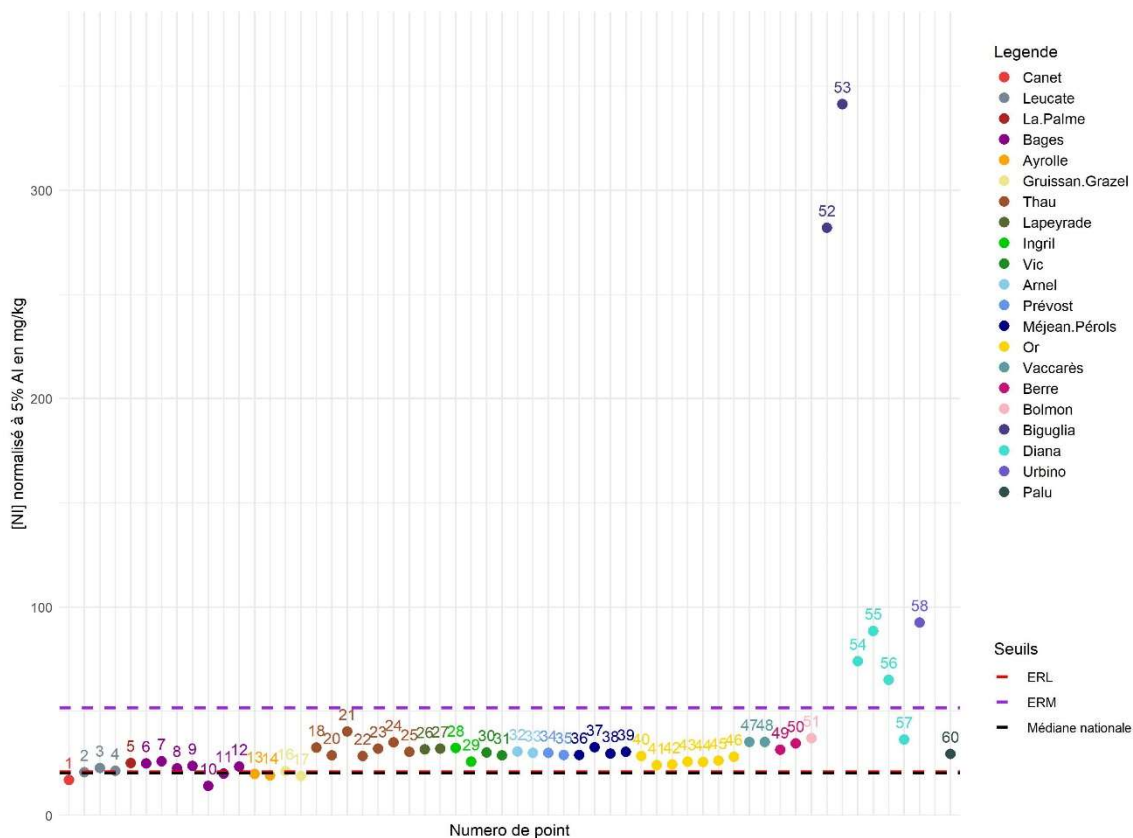
### 3.2.2.2.6 Mercure



La teneur en mercure sur le point Grazel – cardinale (n°17), est inférieure à la limite de détection. Pour la majorité des points dont les teneurs en mercure sont détectées, celles-ci sont supérieures à la médiane nationale. De nombreux points au sein du complexe des étangs palavasiens, comme sur Thau, La Peyrade, Ingril, Vic, Arnel, Prévost, Méjean-Pérois dépassent la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL). Un point de Berre et le point du Bolmon la dépassent également ; la teneur maximale est toutefois enregistrée sur le point TE 65 (n°24), elle dépasse la valeur médiane d'effet écotoxicologique (ERM). Les teneurs en mercure sont préoccupantes sur de nombreuses lagunes du continuum du canal du Rhône à Sète avec un gradient décroissant des concentrations depuis les étangs autour de Palavas et Montpellier (Prévost est et Méjean) vers Thau à l'ouest et vers l'étang de l'Or à l'est, suggérant une source d'apport anthropique via le Lez et la Mosson. Au milieu de ce complexe d'étangs, Ingril et Vic semblent en meilleure qualité vis-à-vis de ce métal. Deux points fortement contaminés sur Thau suggèrent toutefois une autre source de mercure sur cette lagune, indépendante de la première, située à l'est de la lagune, autour du « petit étang ». L'augmentation du nombre de points suivis cette année par rapport à 2017, permet de préciser la localisation des « hot spots » de contamination en mercure au sein de ce complexe, leurs sources restant encore à identifier.

### 3.2.2.2.7 Nickel

La valeur de la médiane nationale de nickel est très proche de la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL), elles sont presque superposées sur la figure (Figure 16). Ainsi, de nombreux points de lagunes dépassent la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL) pour ce métal. On observe que les lagunes du nord de la Corse présentent des teneurs plus élevées avec des valeurs maximales pour l'étang de Biguglia. On peut supposer que ces teneurs sont liées au contexte géochimique particulier du nord-est de la Corse et à la présence de serpentines dans cette région (roche avec de très fortes teneurs en nickel).



### 3.2.2.2.8 Plomb

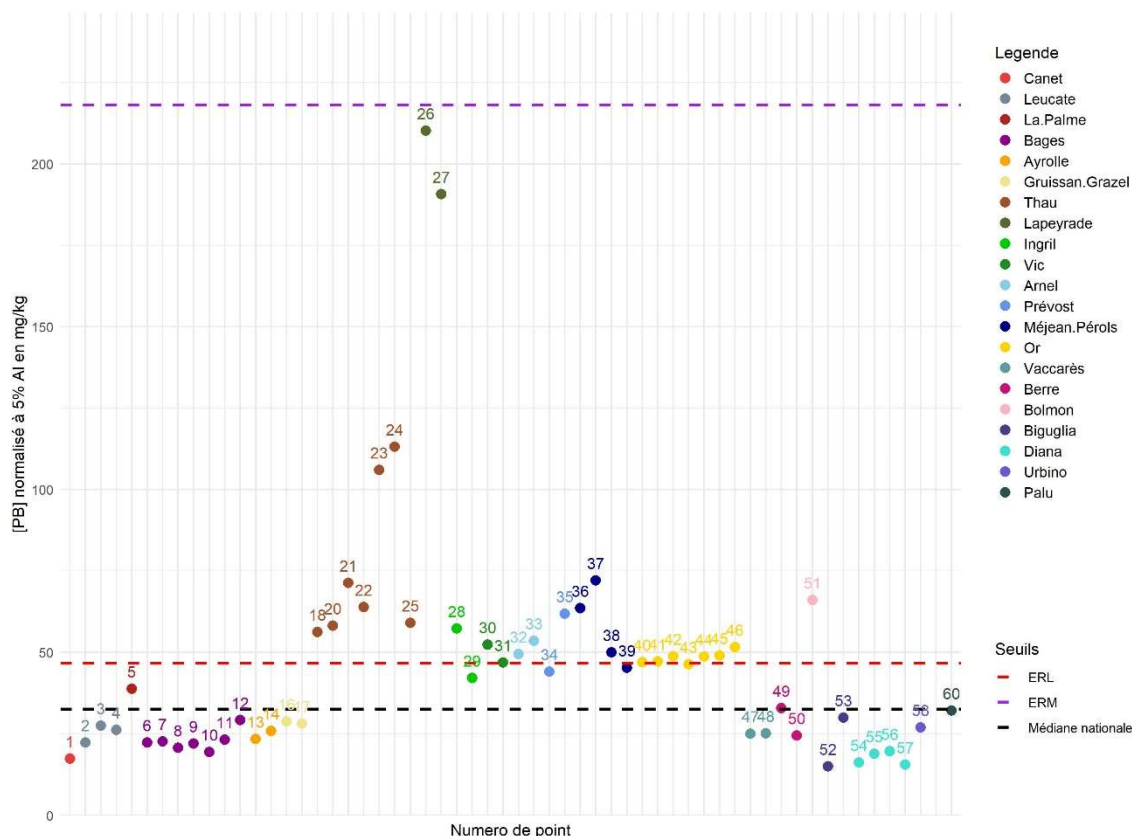


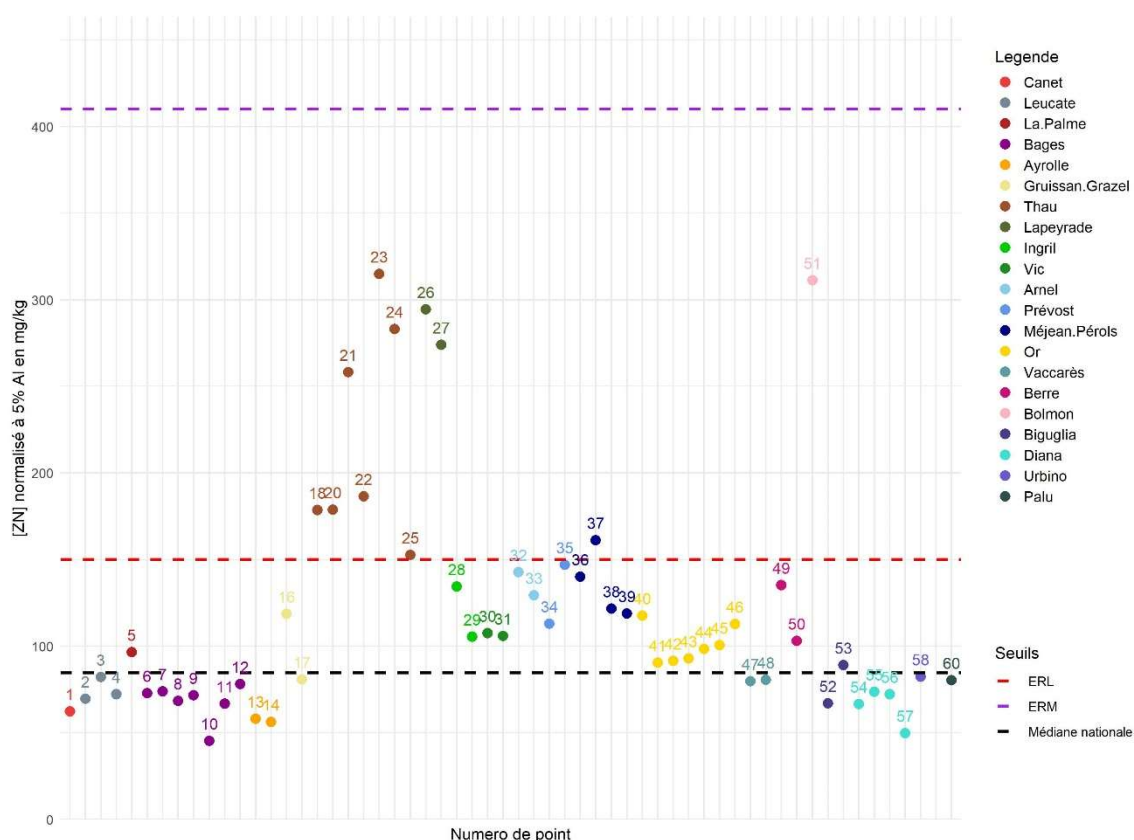
Figure 17 : Teneurs en plomb (Pb) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines.

On distingue deux groupes de lagunes pour les teneurs en plomb (Figure 17). Un premier groupe a des teneurs inférieures à la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL) et souvent inférieures à la médiane nationale. Le deuxième groupe, composé du Bolmon et des lagunes reliées par le canal du Rhône à Sète (Thau, La Peyrade, Ingril, Vic, Arnel, Prévost, Méjean-Pérois, Or) présente des teneurs plus élevées avec de nombreux points au-dessus de l'ERL. L'est de l'étang de Thau (points n°23 et 24) et la lagune de La Peyrade (n°26 et 27) ont des teneurs plus élevées encore et qui se rapprochent de la valeur médiane d'effet écotoxicologique (ERM), dans le cas de cette dernière. Cette contamination préoccupante, mise en évidence pour la première fois en 2006 dans des moules (Andral & al 2007), avait été confirmée par des analyses sédimentaires lors de la campagne ROCCHSED 2017 (Grouhel & al 2018). La teneur sédimentaire en 2023 au niveau du point La Peyrade - l'Îlou (n°26), qui est le point suivi en 2017 est en augmentation par rapport à 2017 (+ 50 mg/kg ps en concentration normalisée, soit +26%). La teneur au niveau du point « Marais des Prés de St Martin », suivi pour la première fois cette année, est du même ordre de grandeur. Cette contamination pourrait provenir des lixiviats de l'ancienne décharge d'ordures ménagères de La Peyrade (aujourd'hui réhabilitée et recouverte d'un couvert végétal), et/ou d'une casse automobile en activité, située sur une de ses berges, et/ou de l'ex-activité de raffinage et aujourd'hui de stockage de pétrole de la raffinerie Exxon-Mobil de Frontignan, proche du site. Cette raffinerie avait par ailleurs été bombardée par l'aviation américaine à la fin de la seconde guerre mondiale, ce qui a pu entraîner une pollution ponctuelle importante à cette époque des sédiments lagunaires proches. Les sols du site de la raffinerie sont en cours de dépollution depuis 2020 et jusqu'en 2025. Des investigations complémentaires seront nécessaires pour mieux discriminer les sources potentielles, actuelles et/ou passées et suivre

l'efficacité de la dépollution des sols du site industriel<sup>8</sup> sur la contamination des sédiments de la lagune.

### 3.2.2.2.9 Zinc

Comme en 2017, les points les plus contaminés en zinc sont ceux des lagunes de Thau (avec des valeurs maximales pour le point n°23, 09B - Etang de Thau nord), de La Peyrade et du Bolmon (Figure 18). Ces points ont des teneurs supérieures à la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL). Thau et La Peyrade enregistrent une augmentation des teneurs en zinc entre 2017 et 2023, alors que c'est l'inverse pour Bolmon.



<sup>8</sup> <https://france3-regions.francetvinfo.fr/occitanie/herault/sete/ancienne-raffinerie-exxon-mobil-de-frontignan-un-gigantesque-chantier-de-depollution-demarre-enfin-2655664.html>

### 3.2.2.3 Synthèse des résultats pour les contaminants métalliques

#### 3.2.2.3.1 Synthèse par point échantillonné

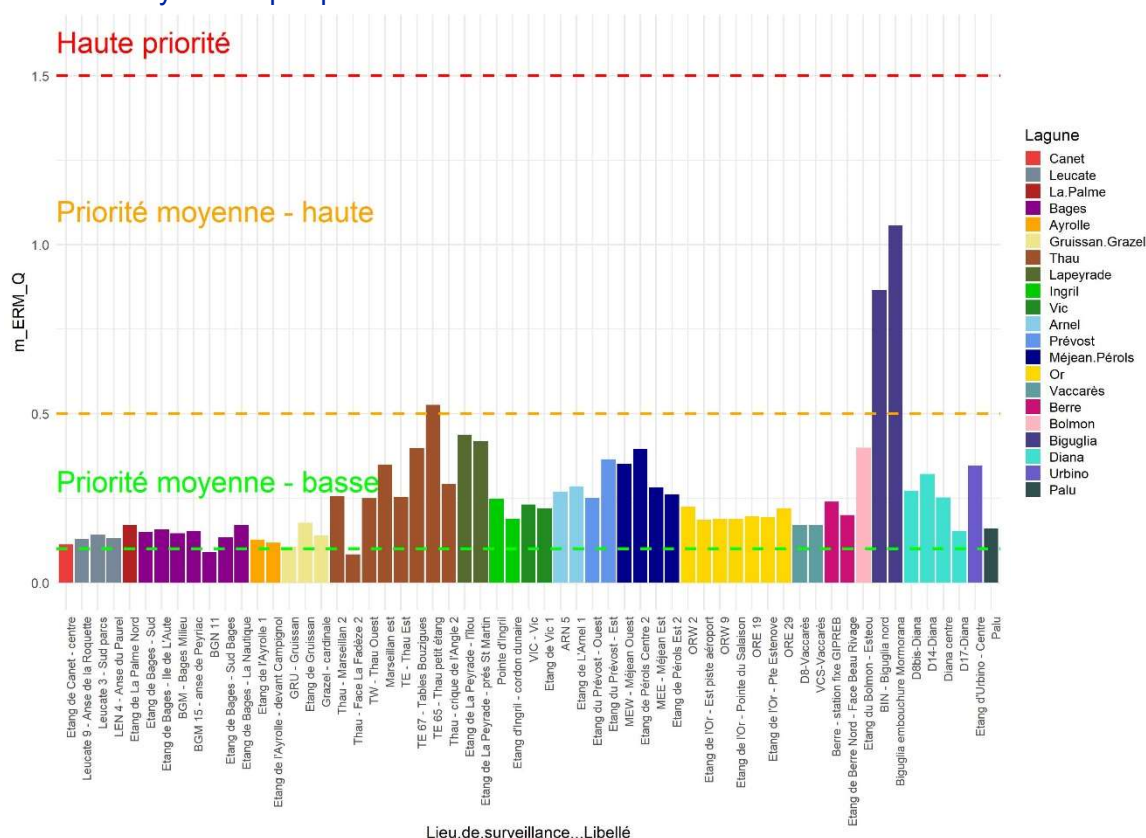


Figure 19 : Valeurs de l'indice moyen des quotients de risque pour les éléments trace métalliques (M-ERM-Q) calculé pour chaque échantillon des lagunes méditerranéennes à partir des concentrations en éléments-traces métalliques mesurées au cours de la campagne ROCCHSED 2023. Identification de 3 niveaux de priorités pour l'environnement : basse à moyenne (indice compris entre 0,1 et 0,5), moyenne à haute (indice compris entre 0,5 et 1,5), haute (indice supérieur à 1,5).

A partir du calcul des rapports entre les concentrations mesurées de chaque élément-trace métallique et leur valeur médiane d'effet (ERM) (i.e des quotients de risque), l'indice moyen de ces rapports (M-ERM-Q – cf § 3.2.1.2) a été calculé pour chaque échantillon (Figure 19) afin de synthétiser le caractère écotoxicologique lié à la présence des métaux à chaque point de prélèvement. On constate que l'ensemble des points étudiés se classe en zone à priorité basse à moyenne pour l'environnement, à l'exception de 3 points :

- deux dans l'étang de Biguglia qui apparaît de ce fait comme une lagune de priorité moyenne à haute notamment à cause de ses teneurs en chrome qui dépassent la valeur médiane d'effet (ERM) sur ces 2 points ;
- un dans l'étang de Thau, TE 65, qui atteint également la zone de priorité moyenne à haute.

Dans le cas de Biguglia, on retiendra, comme expliqué précédemment (cf 3.2.2.2), que la comparaison au seuil d'effet (ERM) n'est sans doute pas adaptée compte-tenu d'un contexte géologique particulier naturellement riche en chrome.

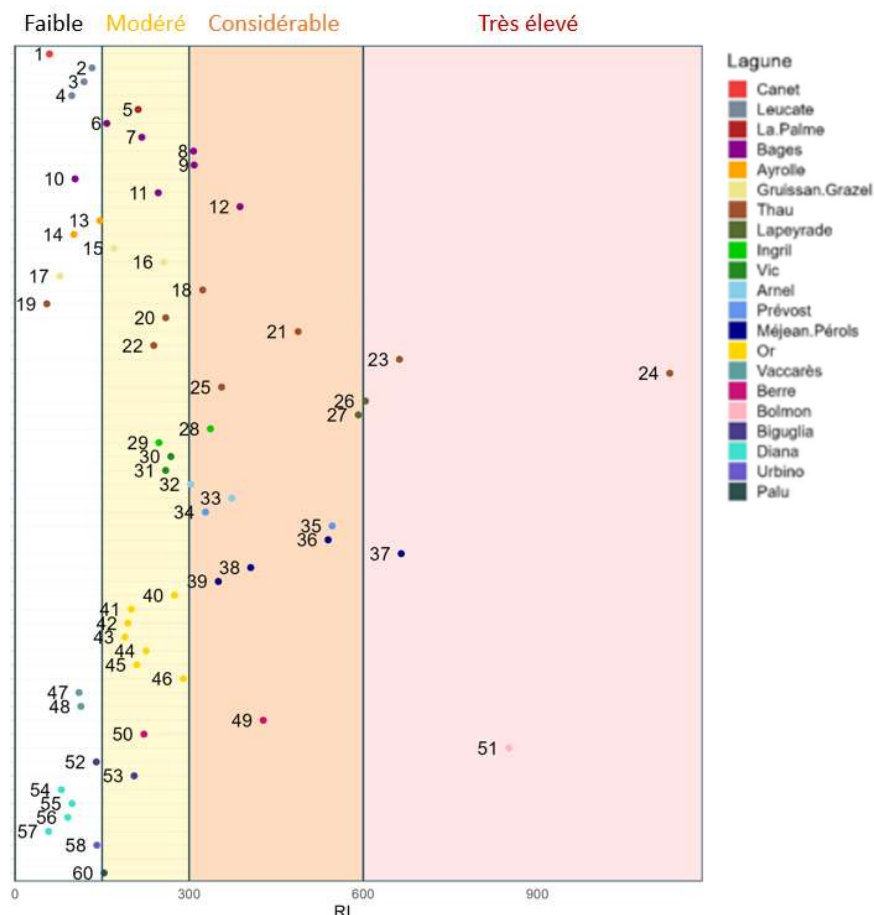


Figure 20 : Risque écologique RI (Hakanson 1980) calculé à partir des facteurs d'enrichissement et des facteurs de réponse toxique pour le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb et le zinc pour les échantillons de la campagne ROCCHSED 2023 (numéros de station : cf Tableau 1). Le niveau de risque est indiqué en haut (faible, modéré, considérable et très élevé).

Pour compléter cette approche, l'indice de risque écologique donne également une vision globale (Figure 20) de l'état des milieux pour les éléments-traces métalliques choisis (Hg, Cd, Ni, Cu, Pb, Cr, et Zn) en tenant compte de leur abondance naturelle dans les milieux. Les teneurs en Cd et Hg contribueront plus au risque que celles naturellement plus abondantes comme le Cr et Zn. Là encore, une grande partie des échantillons se classe en risque faible à modéré. Les points de l'étang de Biguglia « rentrent dans le rang » avec cet indice qui les classe avec un risque modéré et permet ainsi de relativiser les fortes teneurs en chrome mesurées.

On identifie ainsi un risque écologique très élevé pour les organismes benthiques présents dans les lagunes de Thau (points n° 23 et 24, comme pour l'indice précédent), La Peyrade (points n°26 et 27), Méjean-Pérois (n°37), et Bolmon (n°51). C'est donc très cohérent avec l'indice précédent, basé sur des résultats écotoxicologiques.

### 3.2.2.3.2 Synthèse par lagune

En application du principe de précaution, la qualité chimique d'une lagune est considérée égale à la qualité de son point le plus dégradé.

Dans le Tableau 8, lorsque les teneurs en éléments-traces métalliques pour un point d'une lagune dépassent au moins une valeur seuil d'effet écotoxicologique (valeur médiane d'effet ERM ou valeur minimale d'effet ERL cf 3.2.1.1) alors ce seuil est indiqué dans la colonne du contaminant associé. Ce même tableau est également disponible par point en annexe.

A noter que le manganèse, généralement associé à la matrice cristalline du sédiment, n'a pas été intégré à cette synthèse.

| Lagune        | CD   | CU   | HG   | PB   | ZN   | AG   | CR   | NI   |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Canet         | -    | >ERL | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Leucate       | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| La Palme      | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| Bages         | -    | >ERL | -    | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| Ayrolle       | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| Gruissan      | -    | >ERL | -    | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| Thau          | -    | >ERL | >ERM | >ERL | >ERL | -    | >ERL | >ERL |
| Lapeyrade     | -    | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL | -    | >ERL | >ERL |
| Ingril        | -    | >ERL | >ERL | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| Vic           | -    | >ERL | >ERL | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| Arnel         | -    | >ERL | >ERL | >ERL | -    | >ERL | -    | >ERL |
| Prévost       | -    | >ERL | >ERL | >ERL | -    | >ERL | >ERL | >ERL |
| Méjean-Pérois | -    | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL |
| Or            | -    | >ERL | -    | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| Vaccarès      | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| Berre         | -    | -    | >ERL | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| Bolmon        | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL |
| Biguglia      | -    | >ERL | -    | -    | -    | -    | >ERM | >ERM |
| Diana         | -    | -    | -    | -    | -    | -    | >ERL | >ERM |
| Urbino        | -    | -    | -    | -    | -    | -    | >ERL | >ERM |
| Palu          | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | >ERL |

Tableau 8 : Bilan de la contamination métallique de chaque lagune et des dépassements des seuils d'effet écotoxicologiques médian (ERM) et minimal (ERL), lors de la campagne ROCCHSED 2023.

|       |                                                                                              |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| -     | Aucun échantillon dans la lagune concernée n'a une concentration égale ou supérieure à l'ERL |
| > ERL | Au moins un échantillon dépasse l'ERL, aucun dépassement de l'ERM                            |
| > ERM | Au moins un dépassement de l'ERM                                                             |

### 3.2.3 Résultats 2023 pour les contaminants organiques

#### 3.2.3.1 Bilan par famille de contaminants

Une présentation synthétique des origines potentielles et des usages anthropiques des contaminants organiques recherchés dans cette étude est donnée en annexe 8.3.

##### 3.2.3.1.1 Hydrocarbures (HAP)

En considérant la somme des 24 HAP individuels (cf détail des HAP pris en compte Tableau 4), aucun échantillon n'atteint la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL) pourtant proposée pour la somme de 9 HAP uniquement.

Le point le plus contaminé de l'ensemble des lagunes est situé dans l'étang de Thau, dans la zone du petit étang (n°24), entre l'entrée du port de Sète et l'arrivée du canal du Rhône à Sète (Figure 21). Sur cette lagune, on relève un gradient décroissant des niveaux de contamination de ce point vers l'extrémité ouest de l'étang, plus éloignée des sources de contamination en hydrocarbures.

Pour les étangs du complexe Or-palavasiens, reliés par le canal du Rhône à Sète, les niveaux sont globalement décroissants depuis Sète vers La Grande Motte, à l'exception de plusieurs points qui montrent des niveaux de contaminations plus marqués. Les 2 principaux sont situés dans l'étang de Méjean – Pérols (points n°37 et 39). Ces deux points, ainsi que d'autres situés à proximité de passes avec le canal du Rhône à Sète (par exemple le point 40 sur l'étang de l'Or, 35 sur le Prévost ou bien 33 sur l'Arnel), sont plus contaminés par des hydrocarbures que des points plus centraux sur ces mêmes lagunes. Cela souligne l'impact de la proximité du canal, probablement en lien avec son trafic fluvial plus dense entre Montpellier, Palavas et Carnon. Le point de La Peyrade (26) qui était apparu extrêmement contaminé en 2017, le reste cette année mais il l'est de manière moins extrême, à des niveaux équivalents à d'autres points.

Dans l'étang de Bages, on observe une nette différence entre la partie sud de l'étang (du point le plus sud jusqu'au milieu, points n° 6 à 10) peu contaminée et le nord, avec les niveaux de contamination les plus élevés sur le point situé directement au sud du village de Bages.

Gruissan (n°16) apparaît aussi parmi les sites les plus contaminés. La navigation y est très réduite et n'explique sans doute pas le niveau de contamination observée. Des investigations complémentaires seraient utiles pour en préciser l'origine. Grazel n'a pas fait l'objet de ce type d'analyses.

L'analyse par composé permet de préciser d'éventuels dépassement individuels de seuils d'écotoxicité.

Les concentrations en fluoranthène normalisées à 2.5% de carbone organique ne présentent pas de dépassement du seuil minimal d'effet écotoxicologique (ERL), quelle que soit la lagune (Figure 22) et se répartissent autour de la médiane nationale. On retrouve pour ce composé les caractéristiques générales mises en évidence pour la somme des HAP :

- le point le plus contaminé situé dans le « petit étang » de l'étang de Thau ;
- le gradient décroissant de contamination depuis ce point de l'étang de Thau vers l'extrémité ouest de l'étang ;
- pour les étangs du complexe Or-palavasiens, reliés par le canal du Rhône à Sète, les niveaux sont globalement décroissants de Sète vers La Grande Motte, avec les mêmes points plus contaminés sur Méjean-Pérols, Arnel, Prévost et Or
- les différences nord/sud marquées dans l'étang de Bages ;

En revanche, on ne retrouve pas la valeur plus forte pour Gruissan.

Pour les autres HAP de hauts poids moléculaires (pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(a)pyrène et dibenzo(ah)anthracène), la distribution des niveaux de concentration suit le même schéma que pour le fluoranthène (ces résultats sont présentés en annexe 8.1).

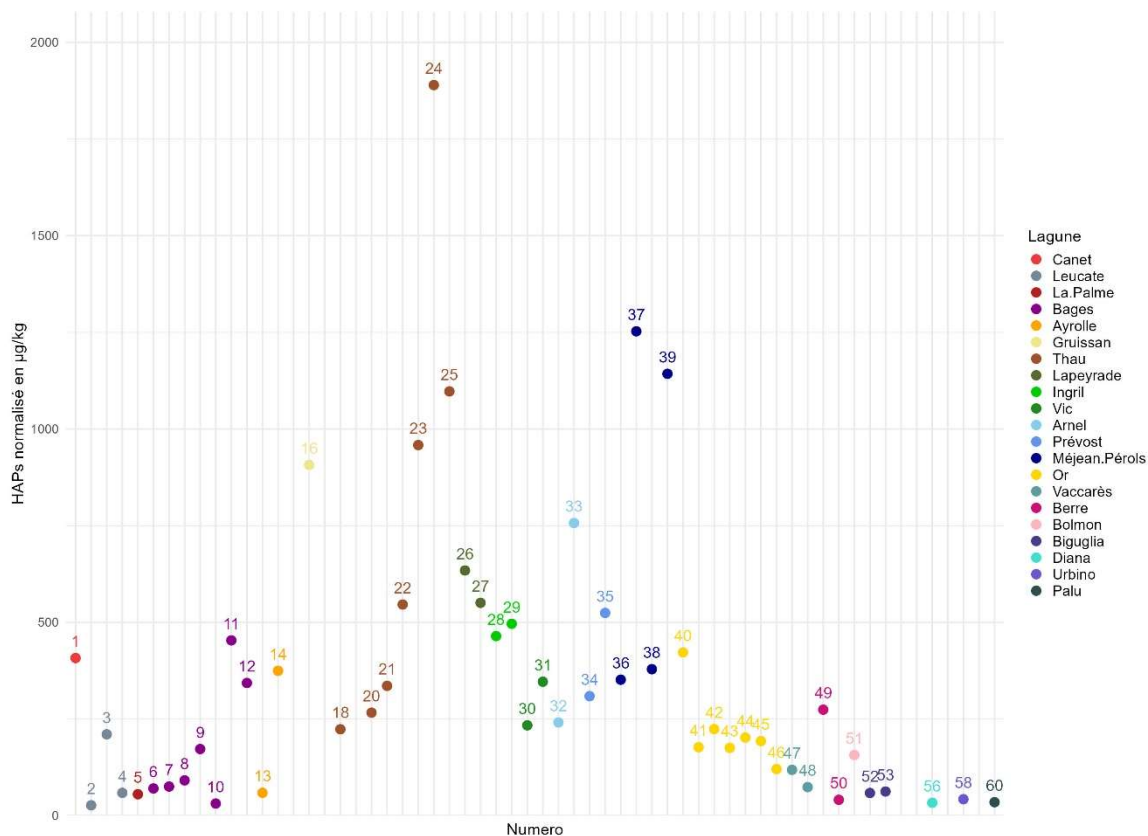


Figure 21 : Teneurs en HAPs (somme des concentrations individuelles en 24 HAPs) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en µg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique.

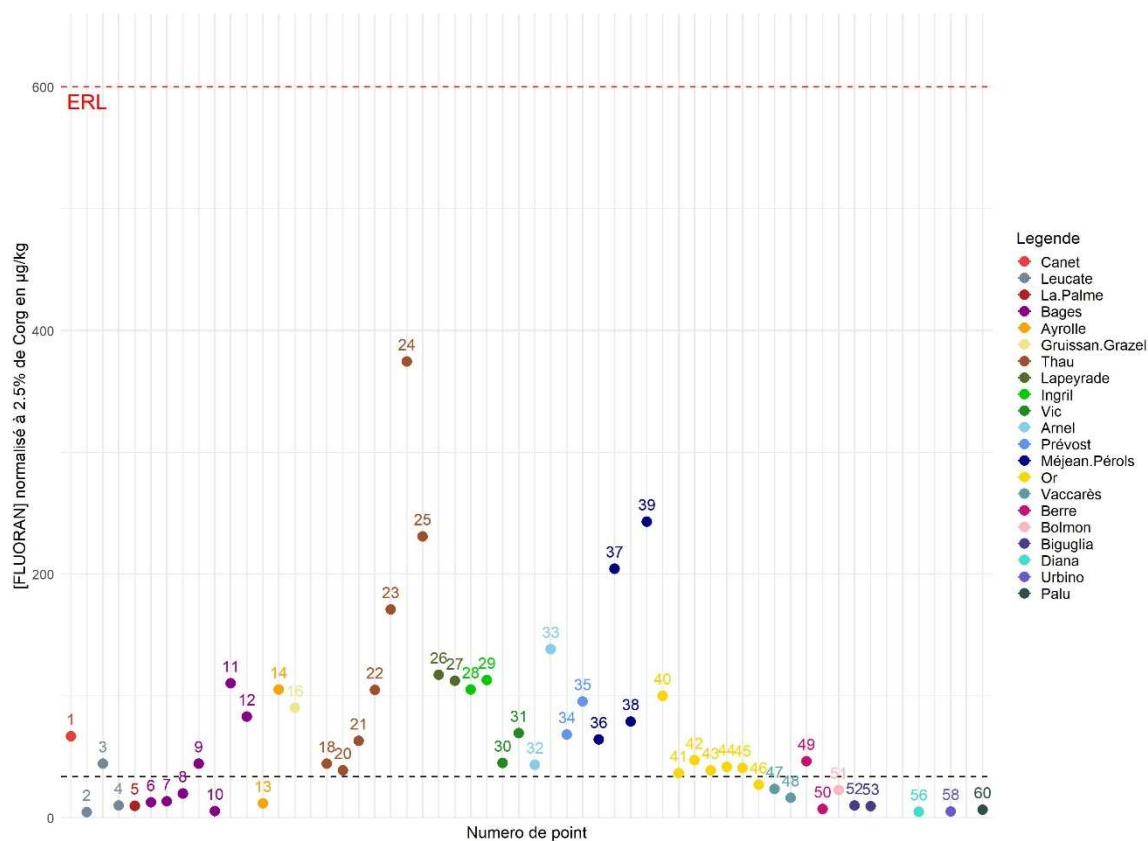


Figure 22 : Teneurs en fluoranthène des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en µg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique. La valeur écotoxicologique de référence ERL et la médiane nationale sont représentées en lignes pointillées, respectivement rouge et noire.

Concernant l'anthracène (Figure 23) et les autres HAP légers (naphtalène, acénaphthylène, acénaphthène, fluorène, phénanthrène), les niveaux de concentration sont généralement faibles. Comme pour le fluoranthène et les HAP lourds, le point le plus contaminé est celui de l'étang de Thau proche de Sète (n°24). La concentration y dépasse cette fois la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL) pour l'anthracène (c'est aussi le cas pour le phénanthrène cf annexe 8.1). Le point de Pérols centre (n°37) se distingue également par une contamination en HAP légers plus élevée que sur les autres points.

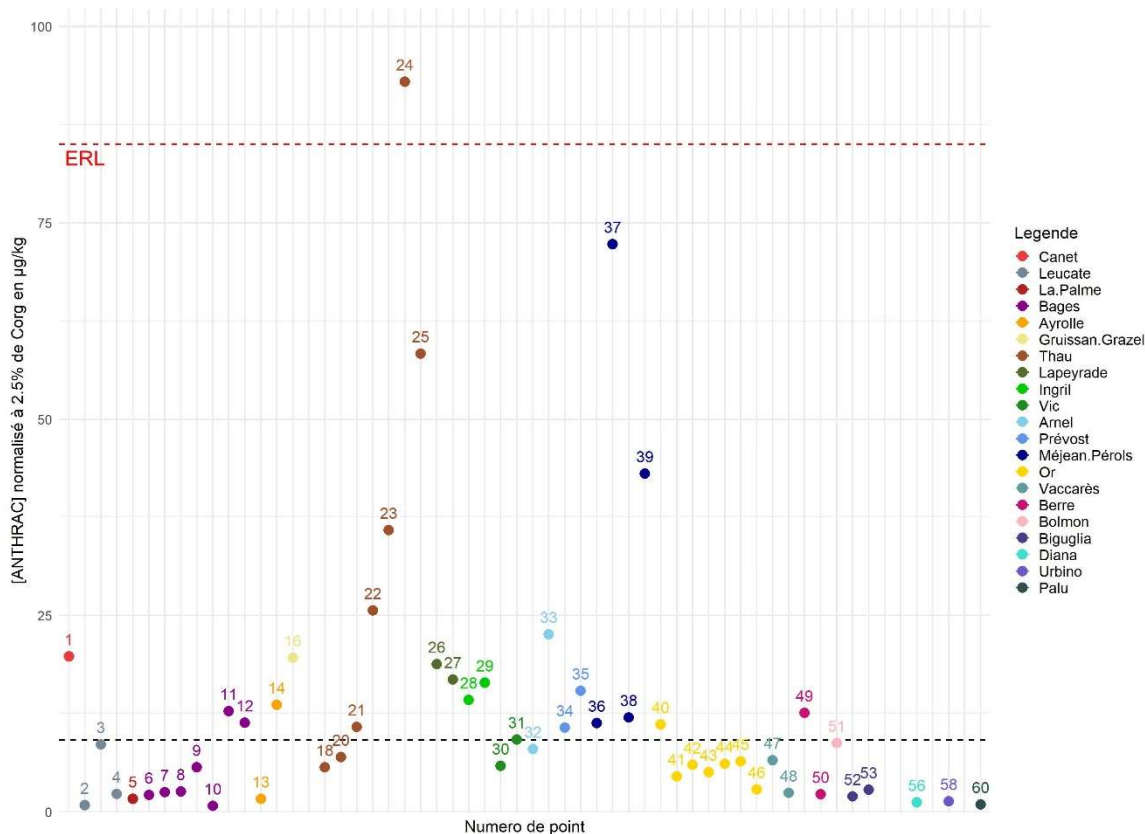


Figure 23 : Teneurs en anthracène des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en µg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique. La valeur écotoxicologique de référence ERL et la médiane nationale sont représentées en lignes pointillées, respectivement rouge et noire.

### 3.2.3.1.2 PCB et dioxines

Le profil de contamination de l'ensemble des points échantillonnés au cours de la présente campagne est similaire quel que soit le congénère de PCB ou dioxine considéré. Dans la majorité des cas, deux échantillons, le point central de l'étang de Berre et le point de l'étang du Bolmon (n° 49 et 51 respectivement) indiquent une contamination en PCB plus forte que sur les autres points (Figure 24). La hiérarchie entre ces deux points dépend du congénère considéré.

A des niveaux généralement un peu plus faibles, on trouve ensuite deux points de l'étang de Thau proches de Sète (n°23 et 24) et le point de l'est de l'étang du Prévost (n°35). Le point de La Peyrade (26) qui était apparu extrêmement contaminé en 2017, le reste cette année mais il l'est de manière moins extrême, à des niveaux équivalents à d'autres points.

Pour le PCB118 (

Figure 25), le seuil d'effet écotoxicologique chronique (EAC – cf 3.2.1.1) est dépassé pour ces six points.

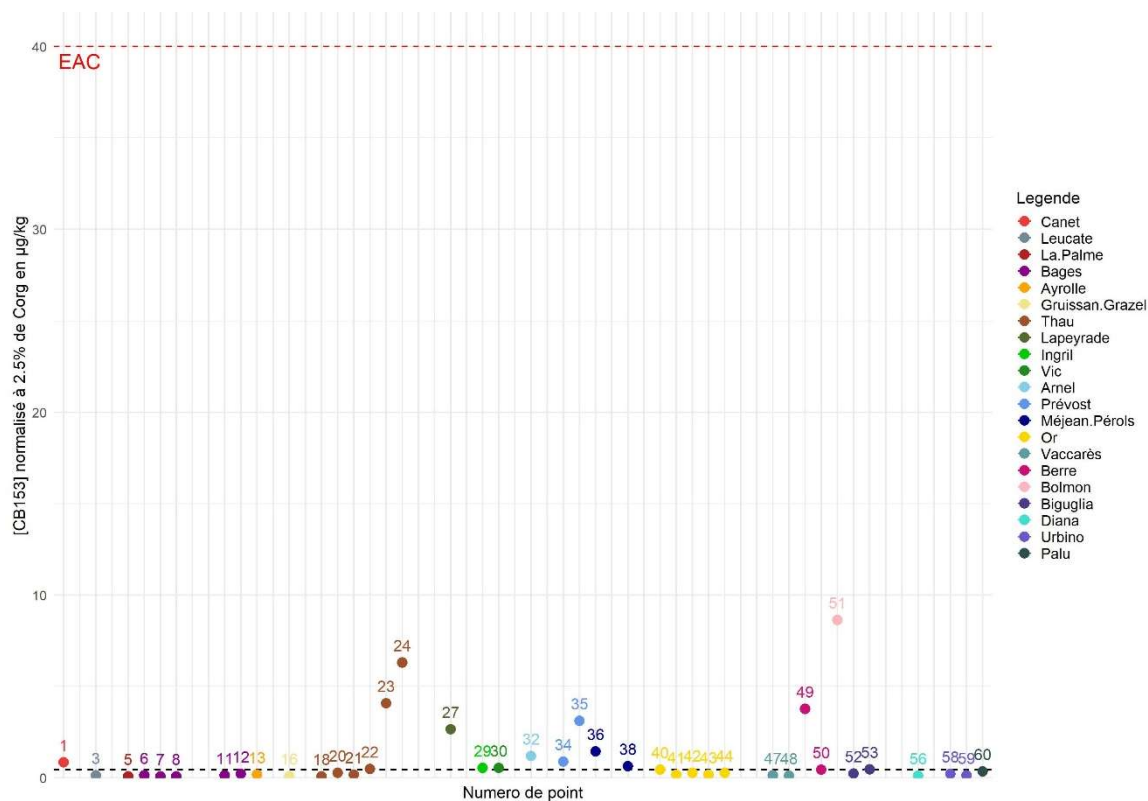


Figure 24 : Teneurs en PCB 153 des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en  $\mu\text{g/kg}$  de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique. La valeur écotoxicologique de référence EAC et la médiane nationale sont représentées en lignes pointillées, respectivement rouge et noire.

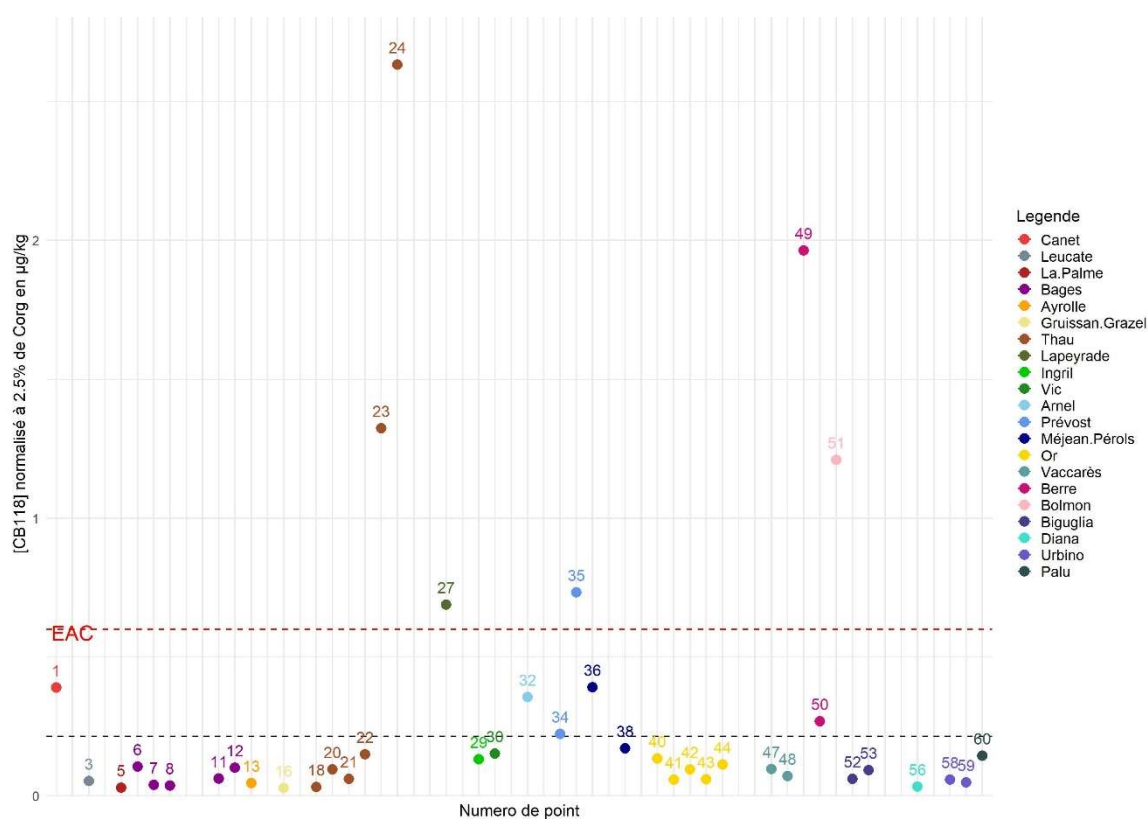


Figure 25 : Teneurs en PCB 118 des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en  $\mu\text{g/kg}$  de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique. La valeur écotoxicologique de référence EAC et la médiane nationale sont représentées en lignes pointillées, respectivement rouge et noire.

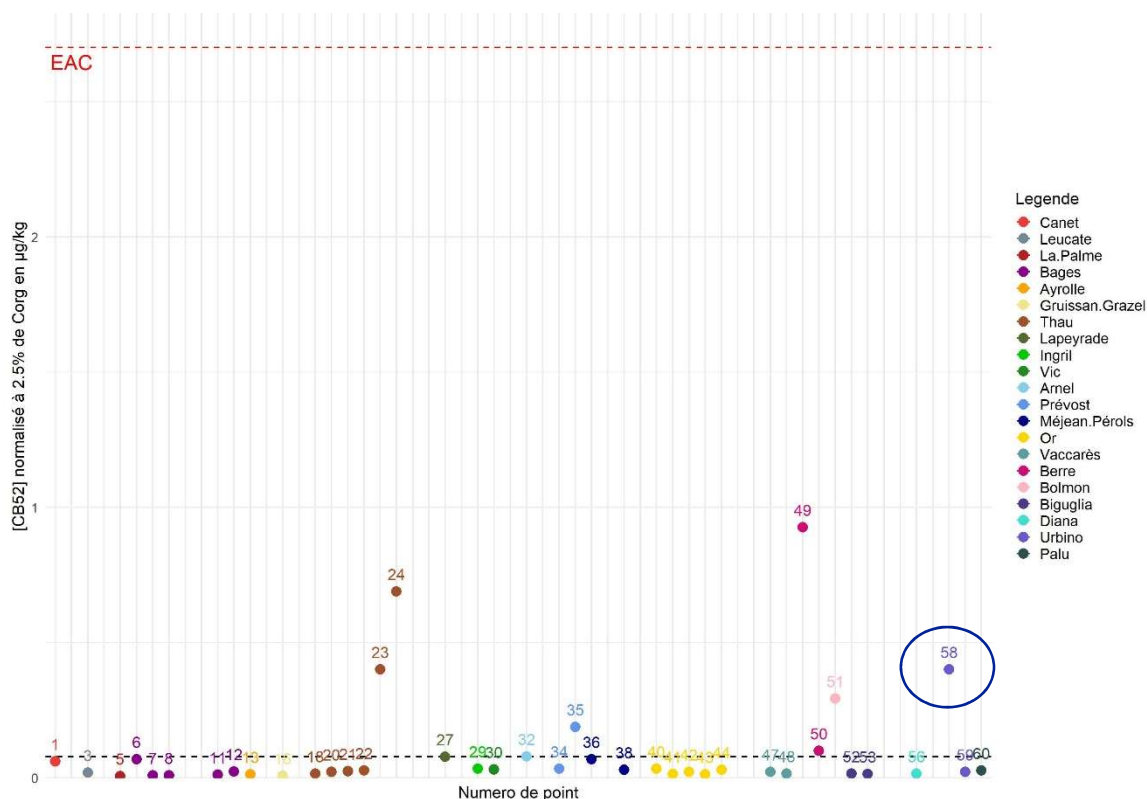


Figure 26 : Teneurs en PCB 52 des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en µg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique. La valeur écotoxicologique de référence EAC et la médiane nationale sont représentées en lignes pointillées, respectivement rouge et noire.

Le PCB52 (Figure 26) présente un cas singulier : celui du point central de l'étang d'Urbino (n°58) qui apparaît plus contaminé que le point du Bolmon pour ce composé. Ce point central n'avait pas été échantillonné en 2017 et lors de la campagne antérieure de 2012 où il l'avait été, la concentration en PCB52 y était inférieure à la limite de quantification.

Pour des raisons de vérifications analytiques, un second point a été échantillonné en 2024 dans l'étang d'Urbino à proximité de l'embouchure du ruisseau Arato (point n°59 également suivi en 2017, situé à 2 km du premier) pour l'analyse des PCB, avec un résultat de dosage du PCB52 bien inférieur à celui du point central de l'étang (Tableau 9). A ce stade, aucune hypothèse ne peut être formulée pour expliquer le résultat singulier concernant spécifiquement le PCB52 au centre d'Urbino en 2024. L'ensemble des teneurs en PCB52 dans les lagunes sont toutefois largement inférieures au seuil d'effet écotoxicologique chronique (EAC – cf 3.2.1.1).

| point                  | 2012   | 2017 | 2024 |
|------------------------|--------|------|------|
| Centre (n°58)          | < 0.08 | -    | 0.42 |
| Ruisseau Arato (n° 59) | -      | 0.05 | 0.02 |

Tableau 9 : Teneurs en PCB52 (en µg/kg sédiment sec) mesurées dans le sédiment, sur deux points de l'étang d'Urbino, au cours des trois dernières campagnes. Concentration normalisée à 2.5% de carbone organique.

### 3.2.3.1.3 Pesticides organochlorés : DDT et lindane

#### 3.2.3.1.3.1 DDT et ses métabolites

Avec des limites de quantification abaissées à 0.009 (DDT) et 0.004 µg.kg<sup>-1</sup> (DDD), le laboratoire d'analyse a pu fournir des concentrations mesurées pour la plupart des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, ce qui permet une comparaison des niveaux mesurés aux seuils de référence.

Le DDT est aujourd'hui la forme minoritaire et son métabolite pp'DDE est la forme majoritaire dans les échantillons.

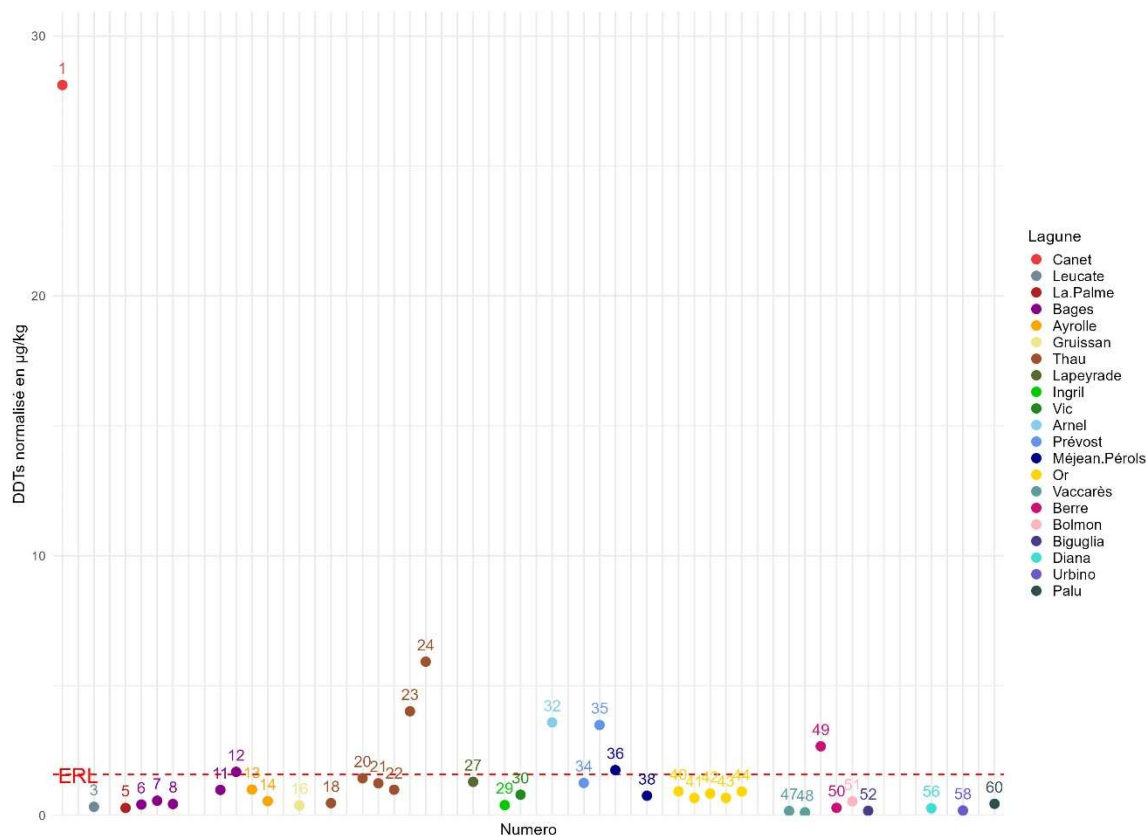


Figure 27 : Teneurs en DDTs (somme des concentrations en métabolites DDT, DDD et DDE) des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique.

La valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL) du DDT et ses métabolites est dépassée pour plusieurs lagunes (Figure 27), et plus particulièrement pour l'étang de Canet qui montre des concentrations encore très élevées (constat déjà fait précédemment suite à la campagne ROCCHSED 2017), 14 fois plus élevées que le seuil ERL et plus élevées qu'en 2017.

Dans l'étang de Thau, les deux points les plus concernés sont encore ceux proches de la ville de Sète (n°23 et 24), à des niveaux similaires à ceux de l'est de l'étang du Prévost, à proximité de Palavas les Flots (n°35) ou de l'étang de l'Arnel (n°32).

Le lien peut sans doute être fait avec les anciennes campagnes de démoustication réalisées sur le littoral lors du développement de la bande côtière dans les années 60-70. On note cependant que toutes les lagunes ne sont pas touchées de la même manière par cette problématique. Il y a donc probablement des causes complémentaires à cette contamination, non identifiées pour le moment.

### 3.2.3.1.3.2 Lindane et ses métabolites :

Les niveaux de contamination sont faibles pour tous les points et non quantifiés par le laboratoire d'analyse pour les isomères delta et gamma, et peu de points présentent une concentration en isomères alpha ou bêta supérieure au seuil de quantification (0.6 µg.kg<sup>-1</sup>) (Figure 28). Le point central de l'étang de Berre (n°49) se distingue par une teneur plus élevée en isomère bêta du lindane (β HCH) que dans les autres lagunes.

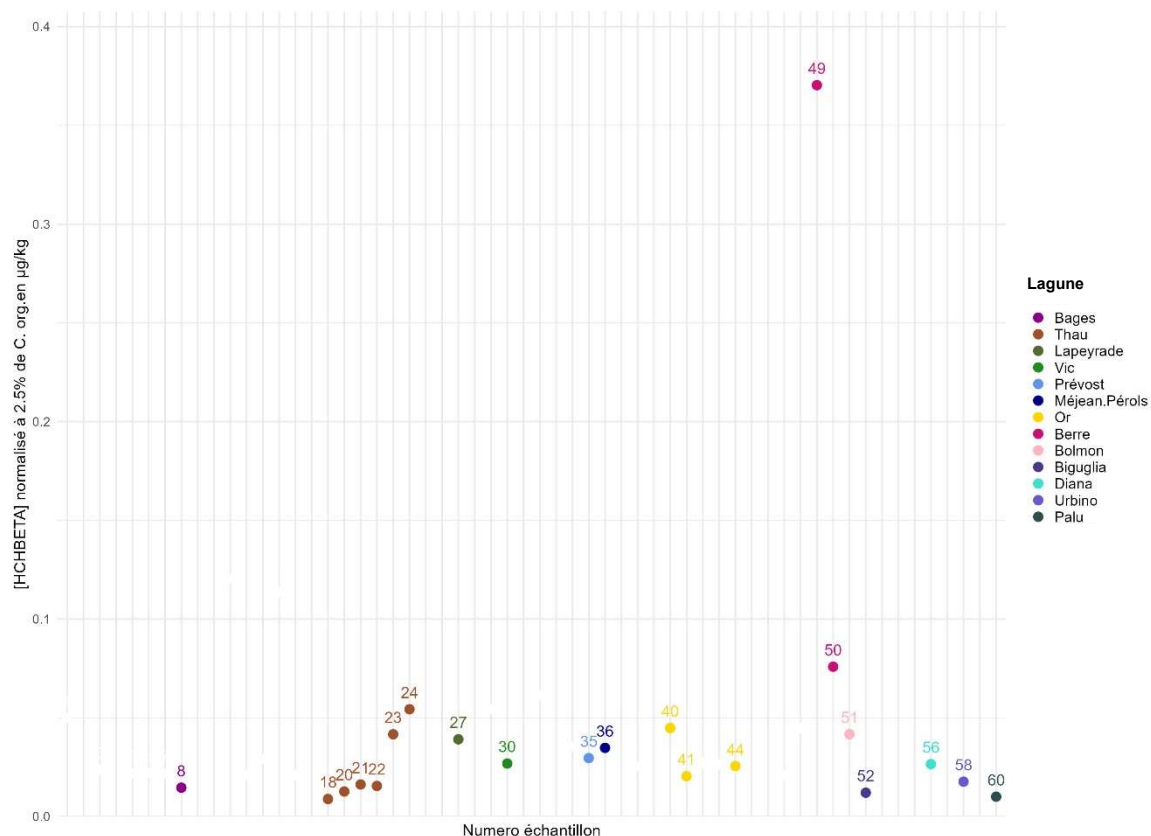


Figure 28: Teneurs en métabolite bêta du lindane (HCHBETA) des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en poids sec. Seules les teneurs supérieures à la limite de quantification ont été représentées sur le graphique.

#### 3.2.3.1.4 Autres organochlorés : hexachlorobenzène

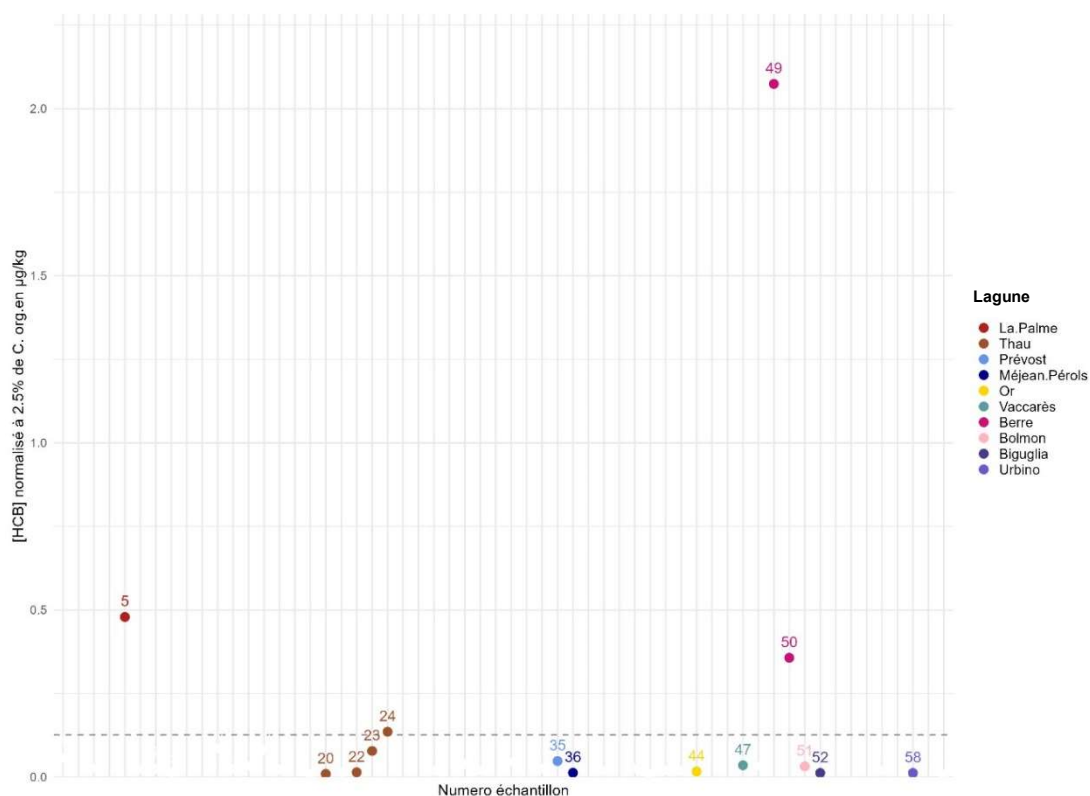


Figure 29: Teneurs en hexachlorobenzène (HCB) des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en poids sec. Seules les teneurs supérieures à la limite de quantification ont été représentées sur le graphique.

La valeur de référence (valeur minimale d'effet écotoxicologique ERL) est très supérieure à la médiane des valeurs mesurées à l'échelle nationale dans le sédiment (médiane =  $0.4 \mu\text{g.kg}^{-1}$  de sédiment pour  $\text{ERL} = 20 \mu\text{g.kg}^{-1}$ ) et toutes les concentrations mesurées dans les lagunes sont inférieures à l'ERL. On note que pour beaucoup d'échantillons dans les lagunes la concentration en hexachlorobenzène (et plus encore en pentachlorobenzène - voir annexes et en hexachlorobutadiène – non montré ici) n'a pas été quantifiée. Ceci fait d'autant plus ressortir le cas de l'étang de Berre (stations 49 et 50) et celui de La Palme (station 5) qui présentent des teneurs supérieures à la médiane nationale (Figure 29).

### 3.2.3.1.5 Composés poly-bromés PBDE et HBCDD

#### 3.2.3.1.5.1 PBDE

Les profils de contamination en retardateurs de flamme poly-bromés (PBDE) sont assez proches pour les différents composés dosés individuellement. La Figure 30 ci-dessous présente les résultats des dosages pour le composé 153, les autres composés sont présentés en annexe 8.1. Aucun des congénères dosés dans cette étude ne dépasse, et de très loin, les valeurs guides environnementales proposées par le gouvernement canadien pour évaluer la qualité sédimentaire (Tableau 5).

Deux points présentent des concentrations en PBDE supérieures à celles des autres points, pour différents composés (dont le PBDE 153) : le point central de l'étang de Berre (n°49) et le point de l'étang du Bolmon (n°51). Dans une moindre mesure le point de l'étang de Thau proche du port de Sète (n°24) présente également des teneurs en PBDE plus élevées que dans la plupart des autres lagunes, y compris que les autres points de Thau. Les concentrations enregistrées dans les lagunes, quel que soit le composé, sont très inférieures aux valeurs guide canadiennes (FEQG).

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) des teneurs en retardateurs de flamme bromés (PBDE) nous permet de comparer les empreintes en PBDE des différentes lagunes (Figure 31), à partir des deux premiers axes qui expliquent respectivement 67 et 17% de la variance.

Elle permet de distinguer un premier groupe de composés (PBDE 47, 66, 99 et 100) qui s'alignent horizontalement vers la droite, que l'on retrouve préférentiellement sur les étangs corses (Biguglia, Urbino et Diana) et l'étang d'Ingril, et un deuxième groupe de composés (PBDE 153, 154, et 28) qui s'alignent sur l'axe 2 vers le haut ; Ils caractérisent un autre groupe d'étangs, comme Gruissan, Ayrolle (petits narbonnais) ou Bolmon. Cela laisse donc supposer deux natures (empreintes) différentes de contamination pour ces deux groupes, sans forcément que l'une ou l'autre ne soient obligatoirement les plus concentrées.

Les autres lagunes, au centre de l'AFC, ne présentent pas de particularités notables en matière de composition en PBDE.

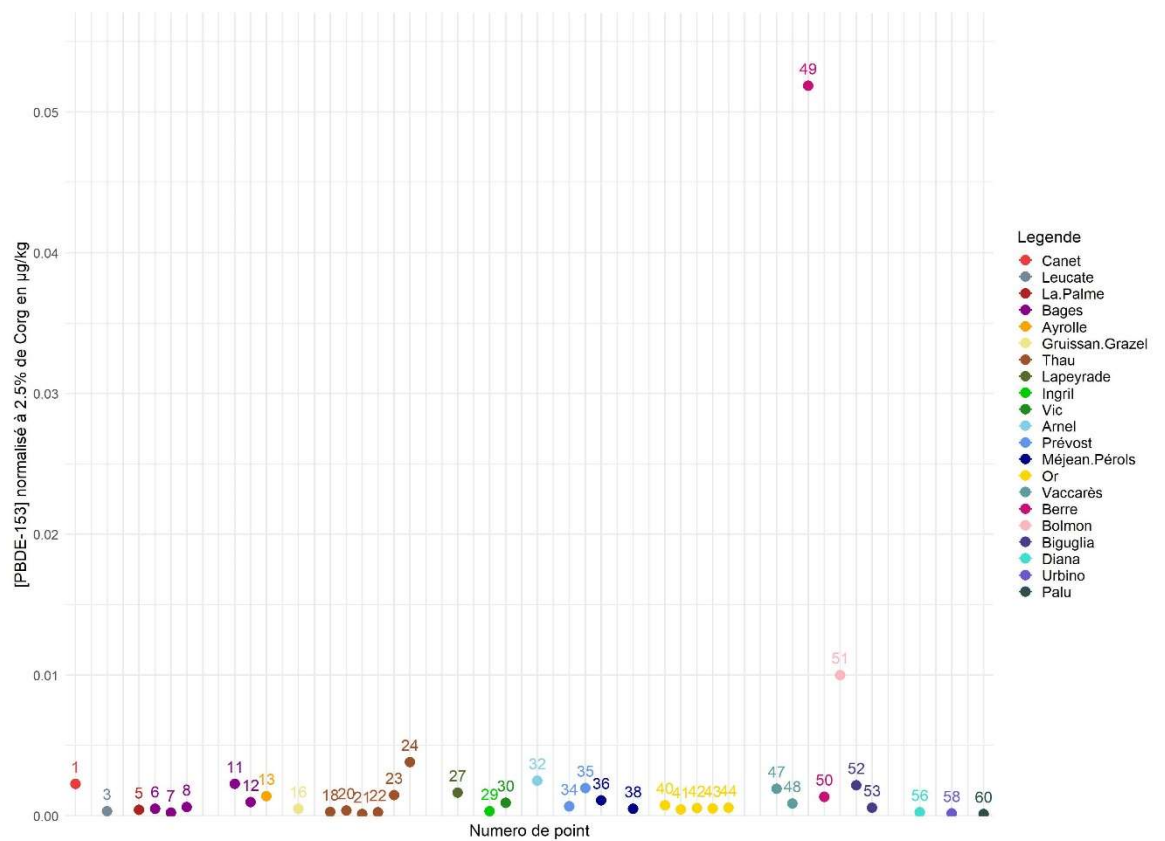


Figure 30 : Teneurs en PBDE 153 des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en poids sec.

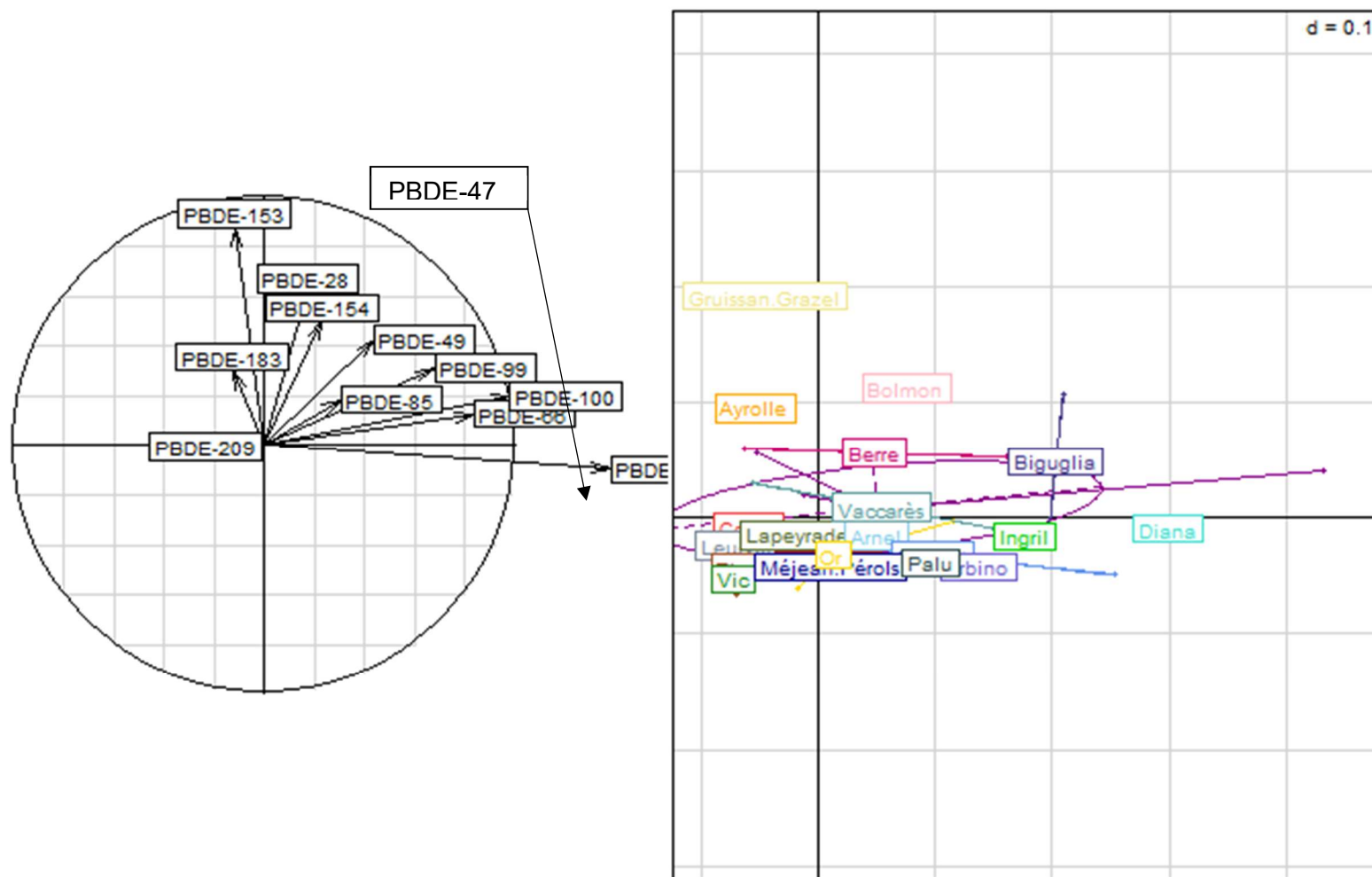


Figure 31 : Analyse factorielle des correspondances pour les teneurs en PBDE (concentrations normalisées à 2.5% de carbone organique) des différents points des lagunes échantillonnées au cours de la campagne ROCCHSED 2023. Cercle des corrélations et graphe des individus de l'AFC réalisée. Axe 1 : 67.36% et axe 2 : 17.02%.

### 3.2.3.1.5.2 HBCDD : L'Hexabromocyclododécane

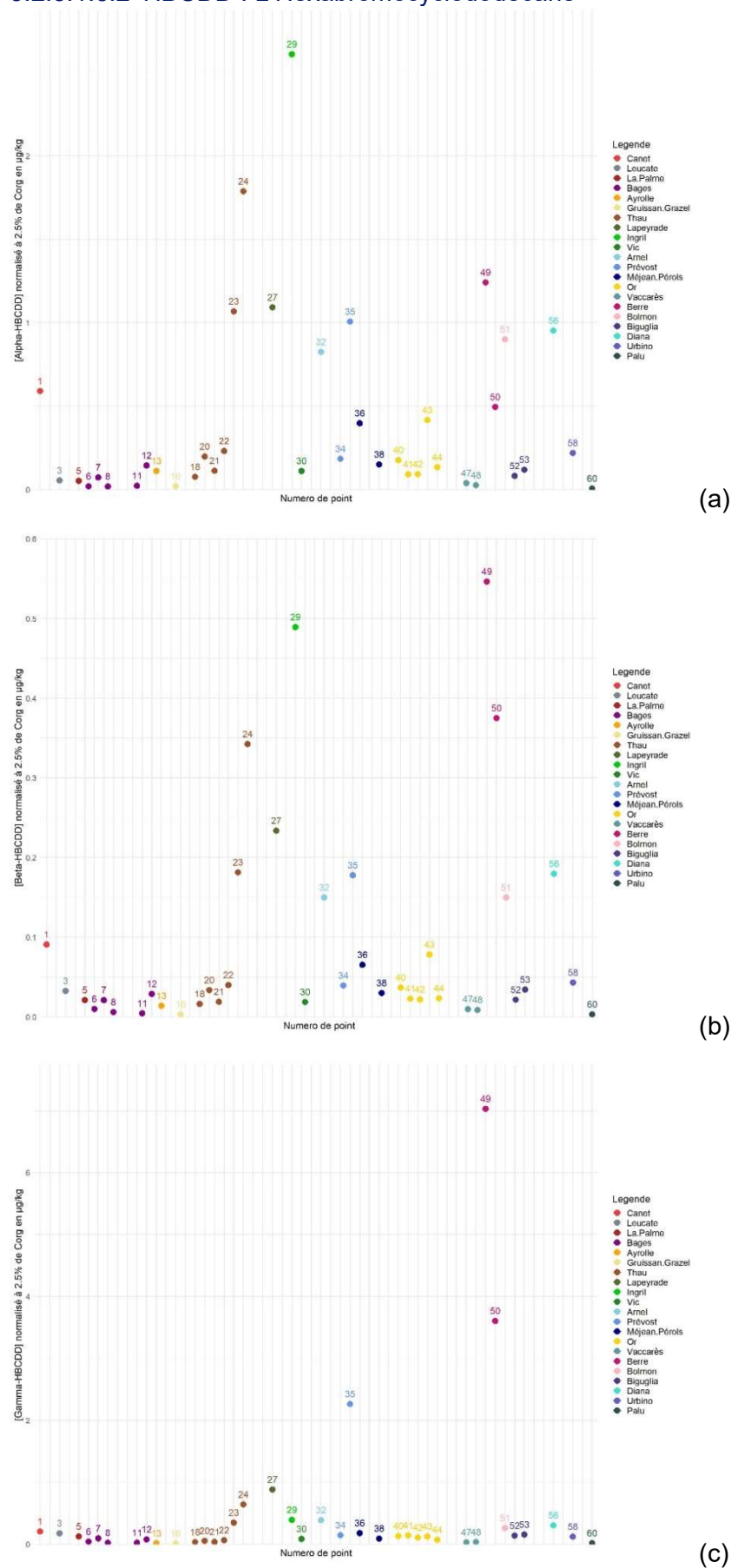


Figure 32 : Niveaux de concentration en HBCDD des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en poids sec. a) isomère alpha b) isomère beta c) isomère gamma.

L'étang de Berre, et dans une moindre mesure le point est de l'étang du Prévost, présentent des concentrations plus élevées que la plupart des autres lagunes pour les 3 isomères  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  de l'HBCDD (Figure 32). Les étangs d'Ingril, Diana, Thau, La Peyrade et Bolmon se distinguent également par des teneurs plus élevées uniquement pour les isomères  $\alpha$  et  $\beta$ . Il n'existe à ce jour pas de seuil écotoxicologique pour ce retardateur de flamme bromé et ces isomères utilisés principalement dans les mousses d'isolation thermique et dans les textiles.

### 3.2.3.1.6 PFAS : substances per et polyfluoro alkylées

Parmi la vingtaine de composés perfluorés (ou PFAS) analysés, peu sont quantifiés dans les échantillons par le laboratoire : PFOS, PFOA, PFNA, PFDA, PFDoDA, PFBS. Quatre PFAS sont retenus dans la réglementation concernant les denrées alimentaires : PFOS, PFHxS, PFOA et PFNA. Les résultats pour ces quatre composés sont synthétisés en Figure 33. Elle fait apparaître une situation particulière pour l'étang du Vaccarès avec les concentrations les plus fortes en PFNA (points n°47 et 48) et le point sud de l'étang de Biguglia (n°53) avec la concentration la plus élevée en PFOS, bien que plusieurs autres lagunes présentent aussi des niveaux relativement forts pour ce composé. Il n'existe pas, à ce jour, de seuils de qualité sédimentaire pour ces composés.

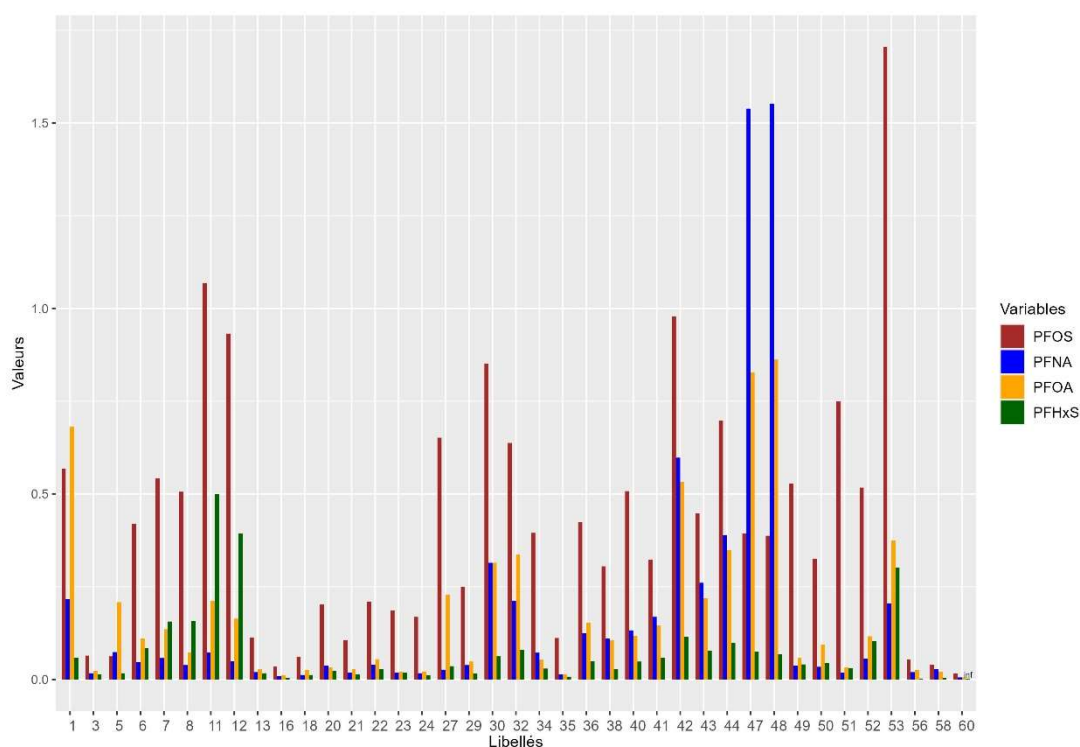


Figure 33 : Concentrations en composés perfluorés (PFOS, PFOA, PFNA et PFHxS) des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  ps.

L'examen des profils de PFAS par lagunes (Figure 35) à travers une analyse factorielle des correspondances sur la vingtaine de PFAS recherchés permet de distinguer des groupes de composés qui doivent certainement signer des origines diverses sur les lagunes concernées :

- un groupe de PFAS (au premier rang desquels on retrouve PFHxA et PFNA) dont les niveaux plus élevés caractérisent les points de l'étang du Vaccarès (points n°47 et 48),
- un groupe de deux composés, PFOS et PFHxS, auquel se rattachent les résultats des étangs de Biguglia (n°52 & 53) et Bages (points n°6 à n°12)

- un groupe PFTrA et PFDoA, auquel se rattachent les résultats pour les étangs de Diana et Urbino, ainsi qu'un point de l'étang de Thau et un point de l'étang du Prévost.

Il est intéressant de constater que dans le cadre du suivi DCE en 2021, des moules transplantées exposées de mars à juillet sur la plupart de ces mêmes lagunes ont enregistré des signatures en PFAS fortement similaires à celles observées dans le compartiment sédimentaire au cours du présent suivi (Herlory & al, 2024). Les différences inter-lagunes sont globalement conservées d'un compartiment à l'autre. Par exemple, les teneurs maximales en PFOS (linéaire+ramifié) ont été retrouvées dans les moules de la lagune de La Peyrade (0.39  $\mu\text{g/kg pf}$ ), suivies de celles de l'étang de Bages (0.31  $\mu\text{g/kg pf}$ ) et celles de Vic (0.22  $\mu\text{g/kg pf}$ ), comme dans le compartiment sédimentaire. Ces mesures n'ont toutefois pas été réalisées sur les étangs de Biguglia, Bolmon, Arnel et Or qui enregistrent de fortes teneurs en PFOS dans les sédiments. De plus, la teneur maximale en PFNA observée dans les sédiments de la lagune du Vaccarès (1.6  $\mu\text{g/kg ps}$ ) est bien en accord avec la teneur maximale en PFNA retrouvée dans les moules de la campagne DCE 2021 dans cette même lagune (point Vaccarès-Monro : 0.18  $\mu\text{g/kg pf}$ ). Enfin, de manière encore très similaire au compartiment sédimentaire, les plus faibles teneurs en PFOS dans les moules ont été retrouvées sur les étangs de Leucate, Ayrolle, Gruissan, Thau et Palu.

Quelques différences sont toutefois à noter entre les deux compartiments : si on retrouvait bien les composés à longue chaîne carbonée PFDoA et PFTrA dans les moules des étangs palavasiens et sur l'étang de Thau à des niveaux relativement élevés (comme dans les sédiments cf Figure 34), c'est de loin les teneurs mesurées dans les moules exposées dans l'étang de la Peyrade qui ont représenté le maximum pour ces deux composés (respectivement 0.67 et 0.34  $\mu\text{g/kg pf}$ ), contrairement aux teneurs sédimentaires qui apparaissent en 2023 plus modestes sur cette lagune (respectivement 0.12 et 0.08  $\mu\text{g/kg ps}$ ) relativement aux autres lagunes, notamment l'étang de l'Arnel.

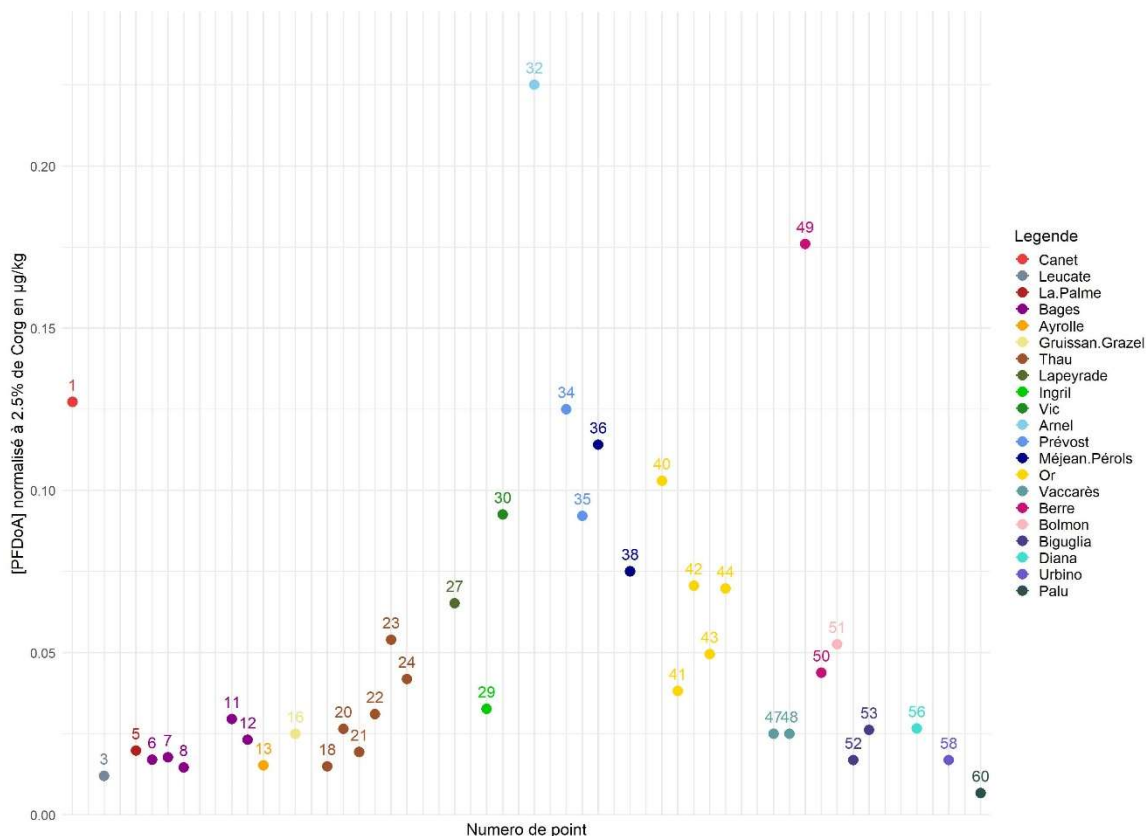


Figure 34 : Concentrations en composés perfluorés (PFDoA) des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  ps.

Les deux points de suivi sur l'étang de La Peyrade (sédiments et moules) sont spatialement très proches (distance <100m). De plus, les moules de l'étang du Vaccarès ont montré en 2021 une teneur maximale en PFBA (acide perfluoro-butanoïque, 0.52 µg/kg pf), lequel est sous la limite de quantification dans les analyses sédimentaires réalisées sur ce point en 2023.

Malgré ces quelques différences, la signature en PFAS des lagunes est globalement très similaire entre les deux compartiments (moules transplantées et sédiments), échantillonnés à 2 ans d'intervalle. Cela souligne le caractère hydrophobe de ces substances, leur propension à contaminer autant ces deux compartiments, avec une forte capacité de bioaccumulation leur permettant de se concentrer dans les organismes vivants, mais surtout leur importante persistance environnementale avec peu, voire pas de possibilité de métabolisation ce qui induit des profils de contamination très similaires entre les deux compartiments (d'où leur qualificatif de « polluants éternels »).

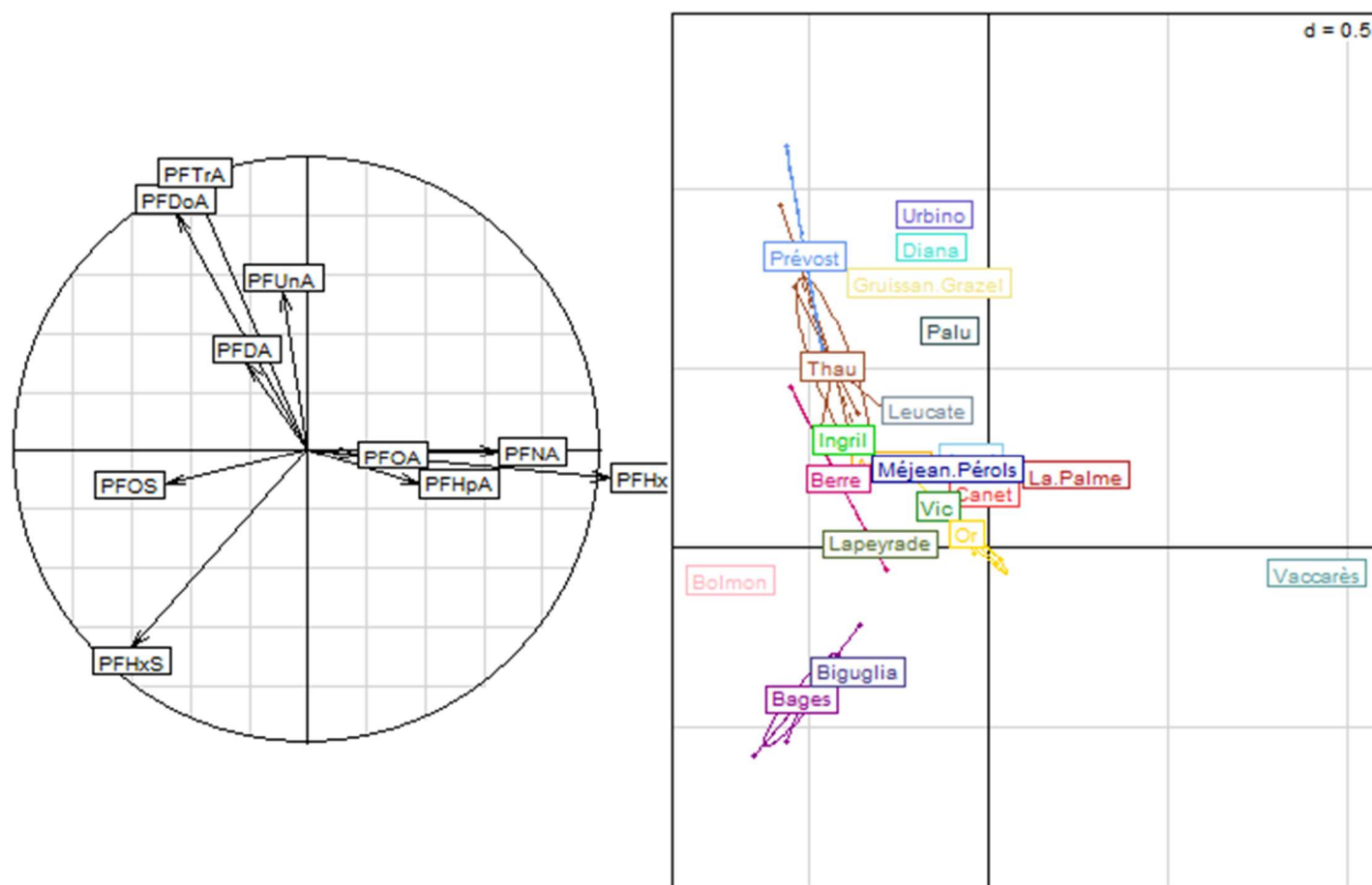


Figure 35 : Analyse factorielle des correspondances pour les teneurs en composés perfluorés (teneurs en PFOS, PFOA, PFNA et PFHxS normalisées à 2.5% de carbone organique) des différents points des lagunes échantillonnées au cours de la campagne ROCCHSED 2023. Cercle des corrélations et graphe des individus de l'AFC réalisée. Axe 1 : 58.23%, axe 2 : 20.34%.

### 3.2.3.1.7 Composés organostanniques

Interdit en France depuis 1982 dans les usages antisalissures pour les peintures sur les coques de bateau, le tributyl-étain (TBT) et ses produits de dégradation sont des composés très persistants dans l'environnement. La forme la plus active, le tributyl-étain -TBT-, se dégrade dans l'environnement en dibutyl-étain puis monobutyl-étain (respectivement DBT et MBT) un peu moins toxiques.

L'examen des parts respectives de chacune des trois formes de butyl-étain permet d'apprécier d'une part le niveau de présence de ce biocide très toxique et d'autre part l'importance de la dégradation, qui traduit indirectement l'ancienneté de la contamination (Figure 36).

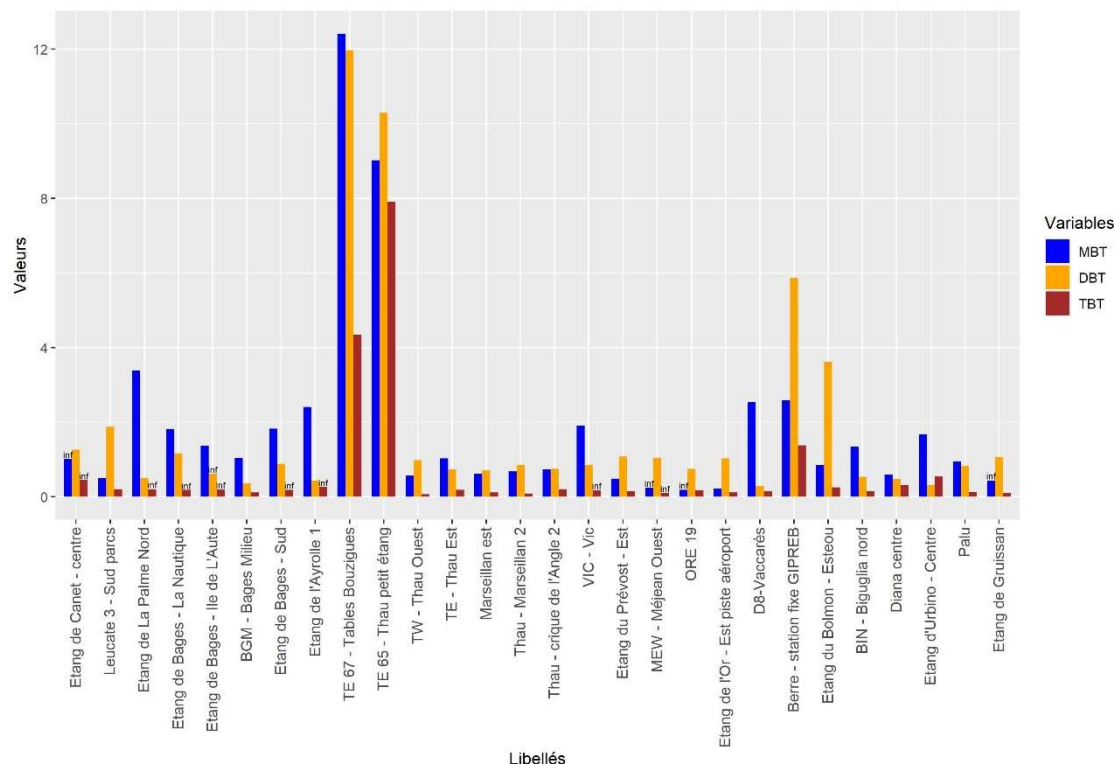


Figure 36 : Niveaux de concentration en composés organostanniques des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en  $\mu\text{g Sn.kg}^{-1}$  ps. Les données inférieures à la limite de quantification sont annotées « inf ».

L'étang de Thau est marqué par une contamination significative en TBT sur les points TE65 (n°24,  $7.9 \mu\text{g Sn.kg}^{-1}$ ) et TE67 (n°23,  $4.4 \mu\text{g Sn.kg}^{-1}$ ), à un niveau qui dépasse la norme de qualité environnementale (EQS =  $1.95 \mu\text{g Sn.kg}^{-1}$ ). La forte activité nautique de la lagune, ainsi que la présence de nombreux ports de plaisance et de pêche aux abords de la lagune, associées à des zones de carénage, ainsi que le port de commerce de Sète ont sans doute contribué à cette situation.

On note également sur ces deux points que l'étain y est retrouvé majoritairement sous les formes dégradées du TBT, sous forme MBT à TE67 et DBT à TE65, soulignant le caractère « passé » de l'origine de cette contamination.

Pour les étangs de Berre et Bolmon, l'organo-étain est sous forme de DBT majoritairement.

Pour les étangs du Vaccarès et de La Palme (et dans une moindre mesure de l'Ayrolle), la forme majoritaire est la forme la plus dégradée (MBT) témoin d'une contamination probablement assez ancienne.

### 3.2.3.1.8 Phtalates

Pour le phtalate recherché (DEHP), les étangs du Bolmon, de Berre (point central), de Thau (points 23 et 24), d'Arnel et du Prévost (points 32 et 35) sont les plus contaminés. Ces situations sont plutôt l'exception puisque pour la majorité des lagunes méditerranéenne, les concentrations mesurées sont inférieures à la valeur médiane nationale (Figure 37).

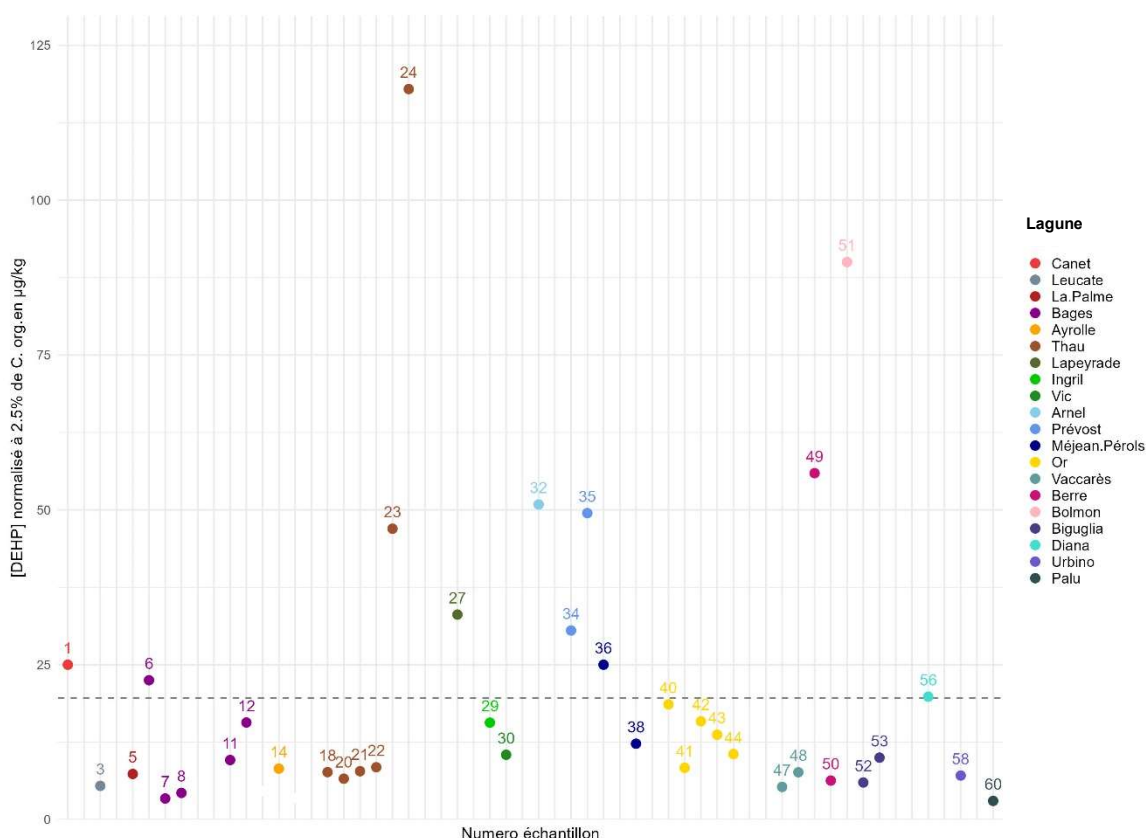


Figure 37 : Niveaux de concentration en phtalate (DEHP) des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en poids sec.

### 3.2.3.2 Synthèse des résultats pour les contaminants organiques

Dans le Tableau 10, lorsque la concentration en contaminants organiques pour au moins un point de la lagune considérée dépasse la valeur seuil d'effet écotoxicologique (valeur minimale d'effet ERL ou, pour le TBT la norme de qualité environnementale suédoise EQS cf 3.2.1.1) alors ce seuil est indiqué dans la colonne du contaminant associé.

La partie est de l'étang de Thau (et notamment le petit étang représenté par le point 24) est la zone où on observe le plus de dépassements des valeurs seuils d'effet écotoxicologique avec au moins 5 substances ou groupes de substances organiques concernées pouvant impacter le compartiment benthique (Tableau 10). Sa proximité avec différentes zones industrielles (Sète, Balaruc, Frontignan), des activités industrielles passées et présentes, le port de commerce de Sète, la ville de Sète et l'intense activité nautique de la zone en font une zone soumise à de multiples pressions qui s'enregistrent dans les sédiments superficiels. Ces pressions semblent globalement diminuer avec l'éloignement de la zone puisqu'on note un gradient décroissant assez net de

contamination sédimentaire entre l'est et l'ouest de la lagune (illustré par exemple sur la Figure 21 pour les HAP et la Figure 25 pour le CB118). Ce gradient renseigne sur la localisation des sources historiques (TBT, PCB, DDTs) comme possiblement actuelles (HAP) de contamination.

Au niveau des contaminants organiques les plus sujets à des dépassements d'ERL dans les sédiments lagunaires, le DDT et ses métabolites et le congénère CB118 de la famille des PCB soulignent le caractère rémanent de ces contaminations chimiques alors que ces substances sont interdites d'utilisation respectivement depuis les années 70 et 80. Les lagunes contaminées aux PCB sont plutôt situées à proximité sites industriels anciens ou toujours en activité (Sète, Frontignan, Fos sur mer...) ou sous les apports de grosses agglomérations (ex : étangs du Prévost, Méjean et l'agglomération Montpelliéraine) alors que celles contaminées à l'insecticide DDT et ses métabolites se répartissent sur l'ensemble du littoral méditerranéen métropolitain sans caractère commun évident.

Pour la grande famille des PFAS (comme pour l'HBCDD ou le DEHP), faute de références disponibles (seuils écotoxicologiques ou médianes nationales calculées pour l'ensemble du territoire français métropolitain), il n'est pas possible d'évaluer la qualité des étangs. On retiendra cependant comme résultat notable de la campagne 2023, une contamination singulière, en nature (PFNA notamment) et niveau, des deux points de l'étang du Vaccarès, et une forte concentration en PFOS de l'échantillon prélevé dans le sud de l'étang de Biguglia et au nord de l'étang de Bages (Figure 33).

Par ailleurs, il faut également signaler le cas de l'étang de La Peyrade pour lequel la concentration sédimentaire en CB118 dépasse l'ERL (valeur minimale d'effet écotoxicologique) et celle en HAP est parmi les plus concentrées sans toutefois dépasser d'ERL. Cet étang a récemment fait l'objet d'un suivi de la contamination chimique à travers les concentrations mesurées dans la chair de moules implantées dans l'étang pendant 2.5 mois. Herlory et al. (2022) note alors que les moules exposées deviennent les plus contaminées de Méditerranée en plusieurs HAP, en dioxines et composés de type dioxine, ainsi qu'en plomb. Le lien entre la contamination sédimentaire et la contamination aqueuse semble être particulièrement fort dans cette petite lagune (~16 ha) peu profonde (<0.8m). Il semble nécessaire de questionner l'origine de cette contamination.

| Libellé Station :                  | HAPs     | DDTs  | PCBs  | TBT    | lindane | PBDE-28 | PBDE-47 | PBDE-66 | PBDE-85 | PBDE-99 | PBDE-100 | PBDE-153 | PBDE-154 | PBDE-183 | PBDE-209 | HCB    |
|------------------------------------|----------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Etang de Canet - centre            | -        | > ERL | -     | inf LQ | inf LQ  | -       | inf LQ  | -       | inf LQ  | -       | inf LQ   | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Leucate 9 - Anse de la Roquette    | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Leucate 3 - Sud parcs              | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | inf LQ  | inf LQ  | -       | -       | inf LQ   | -        | inf LQ   | -        | -        | inf LQ |
| LEN 4 - Anse du Paurel             | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Etang de La Palme Nord             | -        | -     | -     | inf LQ | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Etang de Bages - Sud               | -        | -     | -     | inf LQ | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Etang de Bages - Ile de L'Aute     | -        | -     | -     | inf LQ | inf LQ  | inf LQ  | -       | -       | inf LQ  | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| BGM - Bages Milieu                 | -        | -     | -     | inf LQ | inf LQ  | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | inf LQ   | -        | inf LQ |
| BGM 15                             | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| BGN 11                             | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Etang de Bages - Sud Bages         | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | inf LQ  | -       | -        | -        | -        | inf LQ   | -        | inf LQ |
| Etang de Bages - La Nautique       | -        | > ERL | -     | inf LQ | inf LQ  | inf LQ  | -       | inf LQ  | inf LQ  | -       | -        | -        | inf LQ   | -        | -        | inf LQ |
| Etang d'Ayrolle 1                  | -        | -     | -     | inf LQ | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | -       | inf LQ   | -        | -        | inf LQ   | -        | inf LQ |
| Etang d'Ayrolle - devant Camp.     | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Etang de Gruissan                  | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ   | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Thau - Marseillan 2                | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | -       | inf LQ   | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| TW - Thau Ouest                    | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | -       | -       | -       | inf LQ   | -        | -        | -        | -        | -      |
| Marseillan est                     | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ  | -       | inf LQ  | inf LQ  | inf LQ   | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| TE - Thau Est                      | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | inf LQ  | inf LQ  | -       | -       | inf LQ   | -        | -        | -        | -        | -      |
| TE 67 - Tables Bouzigues           | -        | > ERL | CB118 | > EQS  | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| TE 65 - Thau petit étang           | Phe, Ant | > ERL | CB118 | > EQS  | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Thau - crique de l'Angle 2         | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Etang de La Peyrade - l'ilou       | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Etang de La Peyrade - StMartin     | -        | -     | CB118 | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Pointe d'Ingril                    | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Etang d'Ingril - cordon dunaire    | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| VIC - Vic                          | -        | -     | -     | inf LQ | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Etang de Vic 1                     | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| ARN 5                              | -        | > ERL | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Etang de L'Arnel 1                 | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Etang du Prévost - Ouest           | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Etang du Prévost - Est             | -        | > ERL | CB118 | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| MEW - Méjean Ouest                 | -        | > ERL | -     | inf LQ | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Etang de Pérols Centre 2           | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| MEE - Méjean Est                   | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Etang de Pérols Est 2              | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| ORW 2                              | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Etang de l'Or - Est piste aéroport | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | inf LQ  | -       | inf LQ  | inf LQ  | -       | -        | -        | inf LQ   | -        | -        | inf LQ |
| ORW 9                              | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Etang de l'Or - Pte du Salaison    | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | inf LQ  | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| ORE 19                             | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | inf LQ   | -        | -        | -      |
| Etang de l'Or - Pte Estenove       | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| ORE 29                             | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| D8-Vaccarès                        | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | inf LQ  | -       | inf LQ  | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| VCS-Vaccarès                       | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | inf LQ  | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Berre - station fixe GIPREB        | -        | > ERL | CB118 | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Berre Nord - Face Beau Rivage      | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Etang du Bolmon - Esteou           | -        | -     | > ERL | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| BIN - Biguglia nord                | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Biguglia emb. Mormorana            | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Diana centre                       | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | inf LQ |
| Etang d'Urbino - Centre            | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | inf LQ  | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Urbino - ruisseau d'Arato          | -        | -     | -     | -      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        | -        | -        | -        | -        | -      |
| Palu                               | -        | -     | -     | -      | inf LQ  | -       | -       | -       | inf LQ  | -       | -        | -        | inf LQ   | -        | -        | inf LQ |

Tableau 10 : Bilan de la contamination organique et des dépassements des seuils d'effet écotoxicologique minimal (ERL) ou de la norme de qualité environnementale (EQS) pour les points échantillonnés lors de la campagne ROCCHSED 2023.

|        |                                                                                                                                                                                               |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -      | Concentration quantifiée inférieure à la valeur de référence (ERL ou EQS)                                                                                                                     |
| > xxx  | Concentration quantifiée supérieure à la valeur de référence xxx (ERL ou EQS). Lorsqu'au sein d'une famille une seule substance dépasse sa propre valeur de référence, celle-ci est indiquée. |
| inf LQ | Concentration mesurée inférieure à la limite de quantification (LQ)                                                                                                                           |
|        | Substance non recherchée.                                                                                                                                                                     |

## 3.3 Azote total, phosphore total et matière organique

### 3.3.1 Contexte

Les stocks d'azote (NT) et de phosphore (PT) sédimentaires accumulés au fil des années d'eutrophisation d'une lagune peuvent être un frein à sa restauration, en étant progressivement relargués vers la colonne d'eau, retardant ainsi l'atteinte du bon état de la masse d'eau (Ouisse et al. 2013, 2014). Pourtant, les données sédimentaires ne sont pas utilisées pour le diagnostic dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau.

Entre 1999 et 2014, les concentrations d'azote et de phosphore dans les sédiments étaient évalués dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire avec une fréquence de 6 ans et une stratégie d'échantillonnage permettant de tenir compte de l'hétérogénéité spatiale des sédiments (1 à 36 stations/masse d'eau selon sa superficie). Depuis l'arrêt de ces suivis, l'évaluation des stocks sédimentaires à travers les concentrations d'azote et de phosphore dans les lagunes méditerranéennes et leur dynamique a été reprise dans le cadre des campagnes ROCCHSED 2017 (41 stations) et 2023 (58 stations : 56 + 2 hors convention à Diana) avec une échelle d'étude plus macroscopique eu égard au nombre plus réduit de stations suivies par masse d'eau. Cette partie du rapport présente les résultats acquis lors de la campagne 2023 ainsi qu'une comparaison 2017 et 2023 (pour les 25 stations communes à ces suivis).

### 3.3.2 Résultats 2023

À l'échelle de la façade, les concentrations 2023 en azote et phosphore totaux dans le sédiment ainsi que la teneur en matière organique sont hétérogènes (Figure 38). Ces trois paramètres s'ordonnent globalement de la même manière à l'échelle de la façade avec les valeurs les plus élevées dans les lagunes palavasiennes (FRDT11b et FRDT11c), la partie est de l'étang de Thau (FRDT10), l'étang de l'Or (FRDT11a) et les lagunes de Biguglia (FRET1), d'Urbino (FRET3) et de Palu (FRET4). Les valeurs globalement les plus faibles pour ces 3 paramètres sont retrouvées dans les étangs du narbonnais, Gruissan, Ayrolle et La Palme (FRDT03, 05a et 06a), dans les points sud-ouest de l'étang de Thau (FRDT10) et dans l'étang du Bolmon (FRDT15c). Les concentrations en azote et en phosphore total varient ainsi respectivement entre 0.5 g.kg<sup>-1</sup> (station « Gruissan centre ») et 7.7 g.kg<sup>-1</sup> (Palu) et entre 232 mg.kg<sup>-1</sup> (Gruissan centre) et 1126 mg.kg<sup>-1</sup> (Thau petit étang). La teneur en matière organique varie, elle, entre 3.01 % (Thau La Fadèze) et 20.29 % (Thau Ouest).

| VARIABLE |          | Très bon | Bon | Moyen | Médiocre | Mauvais |
|----------|----------|----------|-----|-------|----------|---------|
| MO       | %        | 3,5      | 5,0 | 7,5   | 10,0     |         |
| NT       | g/kg PS  | 1,0      | 2,0 | 3,0   | 4,0      |         |
| PT       | mg/kg PS | 400      | 500 | 600   | 700      |         |

Tableau 11 : Grille de diagnostic pour l'azote total (NT), le phosphore total (PT) et la matière organique (MO) dans les sédiments (Ifremer, 2014). PS = Poids Sec

Concernant le phosphore total, 42 % des stations sont définies en « bon » ou en « très bon » état (resp. 9 et 15 stations) selon les seuils définis dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire (Ifremer, 2014 - Tableau 11). Ces stations sont principalement situées dans les lagunes de Salses-Leucate (3 stations), La Palme (1), Bages-Sigean (5), Ayrolle (2), Gruissan (2), Thau (3) et Diana (3). Au contraire, les sédiments des stations échantillonnées dans l'étang de Canet, de l'Or, les lagunes palavasiennes, de l'étang de Vaccarès, d'Urbino et de Palu sont de manière générale en état « mauvais ».

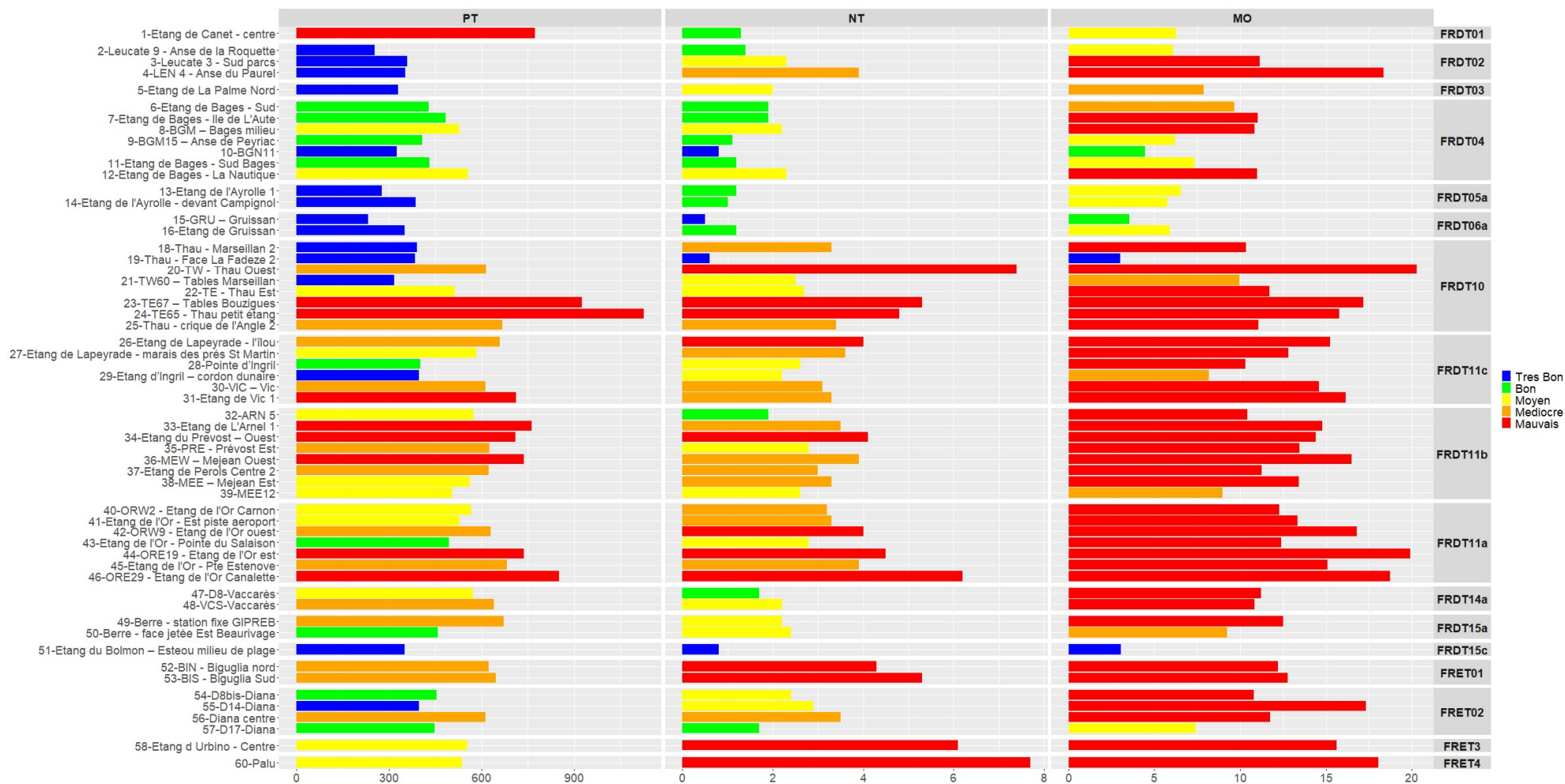


Figure 38 : Concentrations en phosphore total (PT, mg.kg<sup>-1</sup> ps), en azote total (NT, g.kg<sup>-1</sup> ps) et teneur en matière organique (MO, % de poids sec) dans les 5 premiers centimètres du sédiment des 58 stations échantillonnées en 2023 dans le cadre du ROCCHSED. Les couleurs des barres correspondent à l'état de chaque paramètre défini à partir des seuils RSL (Ifremer, 2014).

Bien qu'à l'échelle de la façade l'hétérogénéité spatiale des concentrations en azote total dans les sédiments soit similaire à celle des concentrations en phosphore total, 28 % des stations seulement sont définies en « bon état » (soit 12 stations) ou en « très bon état » (4 stations, selon les seuils définis dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire i-e concentration inférieure à 2 g.kg<sup>-1</sup>; Ifremer, 2014). Ces stations sont principalement situées dans les lagunes de Bages-Sigean, Campagnol, Ayrolle, Gruissan et Bolmon. 45 % des stations (soit 26 stations) sont en revanche définies en état « médiocre » (14 stations) ou « mauvais » (12 stations). Elles se situent principalement dans l'étang de Thau, de l'Or, les lagunes palavasiennes, l'étang de Biguglia, d'Urbino et de Palu. En 2023, l'état des sédiments semble ainsi plus dégradé lorsqu'il s'appuie sur les concentrations en azote total. Ceci s'explique, d'une part, par la dynamique asynchrone des stocks sédimentaires d'azote et de phosphore. Malgré les fortes réductions d'apports provenant du bassin versant, les stocks d'azote restent relativement constants comme cela avait été montré précédemment sur la période 1999-2014 alors que les stocks de phosphore ont diminué sur la même période (Ouisse et al., 2020). Ces résultats sont en accord avec les observations récentes dans les lagunes méditerranéennes en restauration vis-à-vis de l'eutrophisation où les flux de phosphore mesurés à l'interface entre le sédiment et la colonne d'eau sont majoritairement dirigés vers la colonne d'eau (Le Fur, 2018; Ouisse et al., 2014, 2013). En 2023, le ratio moyen ( $\pm$  écart-type) entre les concentrations en azote et en phosphore total dans les sédiments lagunaires est ainsi de  $5,4 \pm 2,5$ . Les valeurs les plus faibles ( $< 2$ ) traduisent un déséquilibre marqué en faveur du phosphore total résultant d'apports massifs de phosphore provenant du bassin versant comme c'est par exemple le cas dans la lagune de Canet (ratio égal à 1.7) (Ifremer, 2014). Les ratios les plus importants ( $> 11.0$  comme par exemple au niveau des stations d'Urbino ou bien de Thau Ouest) traduisent un excès d'azote dans les sédiments résultant probablement d'apports (actuels ou passés) enrichis en azote plutôt qu'en phosphore (biodéposition des organismes par exemple).

Enfin, la teneur en matière organique dans les sédiments des stations échantillonnées, est de manière générale, importante avec des valeurs supérieures au seuil supérieur de l'état moyen dans 79% des stations. Les lagunes sont, par définition, des milieux confinés naturellement riche en matière organique et qui continuent naturellement à s'enrichir quelle que soit leur gestion en termes d'apports d'azote et de phosphore. Par ailleurs, la stratégie ROCCHSED pourrait conduire à un biais pour ce paramètre, puisque les points « historiques » de ce réseau avaient été choisis en fonction de leur caractère riche en matière organique et particules fines. Pour ces raisons, il est important de modérer les conclusions liées à ce paramètre.

L'ensemble de ces résultats dans les sédiments lagunaires semble être en accord avec l'état des masses d'eau défini dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau à partir des indicateurs de la colonne d'eau (Derolez et al., 2023) et des macrophytes (Cimiterra et al., 2022).

Lorsque plusieurs stations ont été échantillonnées au sein d'une même lagune, les concentrations en azote et en phosphore mesurées dans les sédiments peuvent être hétérogènes, comme c'est également le cas pour les contaminants chimiques (voir partie 3.2). Dans l'étang de Thau, elles varient en effet entre les stations à l'est où les valeurs sont élevées (Thau petit étang et Bouzigues) et les stations situées plus à l'ouest (hors des tables conchylicoles) où les valeurs sont les plus faibles (La Fadèze ou Marseillan). Même s'il est difficile d'interpréter ces données au vu du nombre restreint de valeurs, l'hétérogénéité des résultats renforce l'idée que les concentrations mesurées sur chacune des stations sont probablement liées à des apports locaux et des processus physiques et biologiques qui jouent localement sur la sédimentation et/ou le piégeage/relargage de l'azote et du phosphore dans les sédiments. Ainsi, les concentrations en azote et

phosphore totaux dans les sédiments n'intègrent que très peu spatialement les pressions et reflètent une situation environnementale « de proximité » pouvant mener à de fortes hétérogénéités spatiales au sein d'une même masse d'eau. Une manière d'évaluer le niveau d'intégration spatiale de ces mesures serait de réaliser un échantillonnage systématique sur une grille régulière et ainsi de comparer les résultats de différents sous-échantillons (plus ou moins riches) de ce même jeu de données. En l'absence d'un tel échantillonnage, il n'est pas possible d'extrapoler ces résultats à l'échelle de chacune des lagunes.

### **3.3.3 Évolution temporelle des concentrations sédimentaires en azote, phosphore et matière organique**

Parmi les 58 stations échantillonnées en 2023 dans les lagunes méditerranéennes, 25 d'entre elles avaient été suivies également en 2017 (Figure 39). Il n'y a pas de dynamique significative à l'échelle de l'ensemble des stations, que ce soit pour le phosphore total (test t sur échantillons appariés,  $n = 25$ ,  $p = 0,72$ ), l'azote total ( $p = 0,80$ ) ou la matière organique ( $p = 0,83$ ). La faible ou l'absence de réplication à l'échelle de chacune de masses d'eau ne permet pas de tester cette dynamique à l'échelle de chacune des lagunes. Parmi les changements les plus importants à l'échelle de chacune des stations, les concentrations en phosphore total :

- ont doublé entre 2017 et 2023 sur les stations de Palu (251 en 2017 et 536  $\text{mg.kg}^{-1}$  en 2023) et d'Urbino (277 en 2017 et 554  $\text{mg.kg}^{-1}$  en 2023), et
- ont été divisées par deux sur la station de Bolmon (771 en 2017 et 352  $\text{mg.kg}^{-1}$  en 2023).

Concernant l'azote total, les concentrations :

- ont augmenté sur la station de Palu (5,1 en 2017 et 7,7  $\text{g.kg}^{-1}$  en 2023) et,
- ont diminué sur les stations de Gruissan (3,0 en 2017 et 7,7  $\text{g.kg}^{-1}$  en 2023), Bolmon (3,3 en 2017 et 0,8  $\text{g.kg}^{-1}$  en 2023).

La teneur en matière organique dans les sédiments a quant-à-elle :

- augmenté sur les stations de Leucate (Anse du Paurel, 13 en 2017 et 18 % en 2023), de Vic (13 en 2017 et 16 % en 2023), de Biguglia (8 en 2017 et 12 % en 2023), d'Urbino (11 en 2017 et 16 % en 2023) et de Palu (11 en 2017 et 18 % en 2023) et,
- diminué sur les stations de Thau (Marseillan 2, 18 en 2017 et 10 % en 2023), Est piste aéroport et Pointe du Salaison de l'étang de l'Or (respectivement 16 en 2017 et 13 % en 2023 et 16 en 2017 et 12 % en 2023) et de Bolmon (16 en 2017 et 3 % en 2023).

### **3.3.4 Conclusions et recommandations spécifiques**

Les analyses réalisées dans le cadre de la campagne ROCCHSED ont permis de dresser une cartographie à large échelle (a minima une station par lagune) de la teneur en matière organique et des concentrations en phosphore et en azote total dans les sédiments lagunaires. Bien que le jeu de données de 2023 soit limité à 58 stations (contre 41 stations en 2017), l'opportunité d'acquérir ces données dans le cadre des campagnes ROCCHSED permet aujourd'hui d'évaluer et de suivre l'état du sédiment sur une grande partie des masses d'eau de transition de la façade méditerranéenne française. A cette échelle, les résultats de 2023 illustrent l'hétérogénéité des concentrations sédimentaires en azote et en phosphore totaux dans les lagunes. Même si ces concentrations sédimentaires sont de manière générale liées (faible concentration en azote total associée

à une concentration en phosphore total faible et inversement), l'état du sédiment défini à partir des seuils utilisés historiquement dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire est, de manière générale, meilleur pour le phosphore que pour l'azote en 2023.

Au sein des lagunes, l'hétérogénéité des résultats entre stations renforce l'idée que les variables sédimentaires n'intègrent que très peu spatialement les pressions et les valeurs traduisent ainsi une image très locale de celles-ci. L'évolution temporelle de la teneur en matière organique et des concentrations en phosphore et en azote totaux dans les sédiments lagunaires entre 2017 et 2023 est quant à elle peu voire pas marquée à l'échelle des 25 stations de la façade. Même si des tendances semblent se dessiner sur quelques stations, l'analyse de cette dynamique reste complexe et non significative en raison du nombre limité de stations échantillonnées au cours des deux campagnes. Pour consolider ces résultats, il semble indispensable : i) de poursuivre le suivi des 58 stations échantillonnées en 2023 (ou du maximum d'entre elles) lors de la prochaine campagne ROCCHSED et d'autre part, ii) de répliquer la mesure à chaque station afin de pouvoir mieux dissocier la dynamique temporelle de la variabilité inhérente aux prélèvements (l'acquisition de répliques stationnelles permettrait en effet de définir des incertitudes liées à l'échantillonnage améliorant ainsi l'étude de la dynamique temporelle dans un contexte à la fois limité en nombre de campagnes et en nombre de stations par lagunes).

Si la question de la fréquence d'acquisition des données semble adaptée à la dynamique temporelle de ce compartiment, la question d'une évolution future de la stratégie d'acquisition spatiale doit être posée. Celle-ci dépendra des objectifs de ce suivi :

- Si l'objectif est d'évaluer l'état du compartiment benthique de manière à dresser des scénarii de restauration des milieux lagunaires vis-à-vis de l'eutrophisation sur la base de flux maximaux admissibles, cela nécessitera la mise en place d'un échantillonnage par quadrillage systématique sur chacune des lagunes (cf campagnes menées dans le cadre du RSL jusqu'en 2014) afin de mieux estimer les stocks sédimentaires à cette échelle (et ainsi éviter la sur- ou sous-estimation liée à un échantillonnage de station impactée localement ou non par les pressions comme ce serait potentiellement le cas, si on estimait des stocks à partir des données des campagnes ROCCHSED actuelles).
- Si l'objectif est de détecter des tendances liées aux changements environnementaux naturels ou anthropiques, la stratégie future devra intégrer une réplication des observations aux échelles spatiales correspondantes, c'est à dire à l'échelle de :
  - la façade méditerranéenne (échelle régionale), dans le cas de l'étude des réponses du compartiment benthique aux modifications des conditions hydro-climatiques globales (changement climatique). Dans ce cas, une station de suivi par lagune est suffisante pour atteindre cet objectif.
  - la masse d'eau DCE ou de la lagune (échelle sub-locale), dans le cas de l'étude des réponses du compartiment benthique suite à la mise en place d'actions de gestion à l'échelle du bassin versant, d'un sous-bassin versant ou de la lagune. Dans ce cas, plusieurs stations de suivi par lagune peuvent être nécessaires pour répondre à cet objectif.
  - la station de suivi (échelle locale), dans le cas de l'étude des réponses locales du compartiment benthique aux modifications liées à un/des rejet(s) local(aux). Dans ce cas, plusieurs mesures seraient nécessaires au niveau de chaque station échantillonnée.



Figure 39 : Concentration en phosphore total (PT, mg.kg<sup>-1</sup> ps), concentration en azote total (NT, g.kg<sup>-1</sup> ps) et teneur en matière organique (MO, % de poids sec) dans les 5 premiers centimètres du sédiment des 25 stations échantillonnées en 2017 (en rouge) et 2023 (en vert).

## 3.4 Micro-plastiques

Des éléments généraux pour mieux comprendre l'origine de la contamination du milieu marin par les micro-plastiques sont présentés en annexe 8.4.

### 3.4.1 Densité des micro-plastiques dans les sédiments lagunaires

Parmi les 16 stations faisant l'objet de ce premier état des lieux de la contamination sédimentaire des lagunes par des micro-plastiques, toutes sont contaminées par des micro-plastiques (Figure 40), et seule la station Thau petit étang présente également une contamination en méso-plastiques (fibre de taille supérieure à 5 mm) avec une densité de 15.41 items/kg de sédiment en poids sec (ps).

Les densités de micro-plastiques dans les sédiments, tous sites confondus, sont comprises entre 6.61 et 289.21 items/kg ps, avec une moyenne de 70.48 items/kg ps  $\pm$  69.97 items/kg ps et une médiane de 55.67 items/kg ps.

Le site de l'étang de Bages (point BGM, Bages milieu) présente la densité la plus faible (6.61 items/kg ps). A l'inverse les étangs de Corse présentent les plus fortes densités avec 289.21 items/kg ps pour l'étang de Diana et 140.53 items/kg ps pour l'étang de Biguglia (Figure 41).

Seuls deux étangs ont fait l'objet de deux stations de suivi à savoir Prévost (Est et Ouest) et Thau (Est et petit étang). Les densités de micro-plastiques pour ces deux étangs présentent des valeurs différentes, cependant compte tenu du nombre réduit de points (n=2), il n'est pas possible de diagnostiquer une variation spatiale sensu stricto.

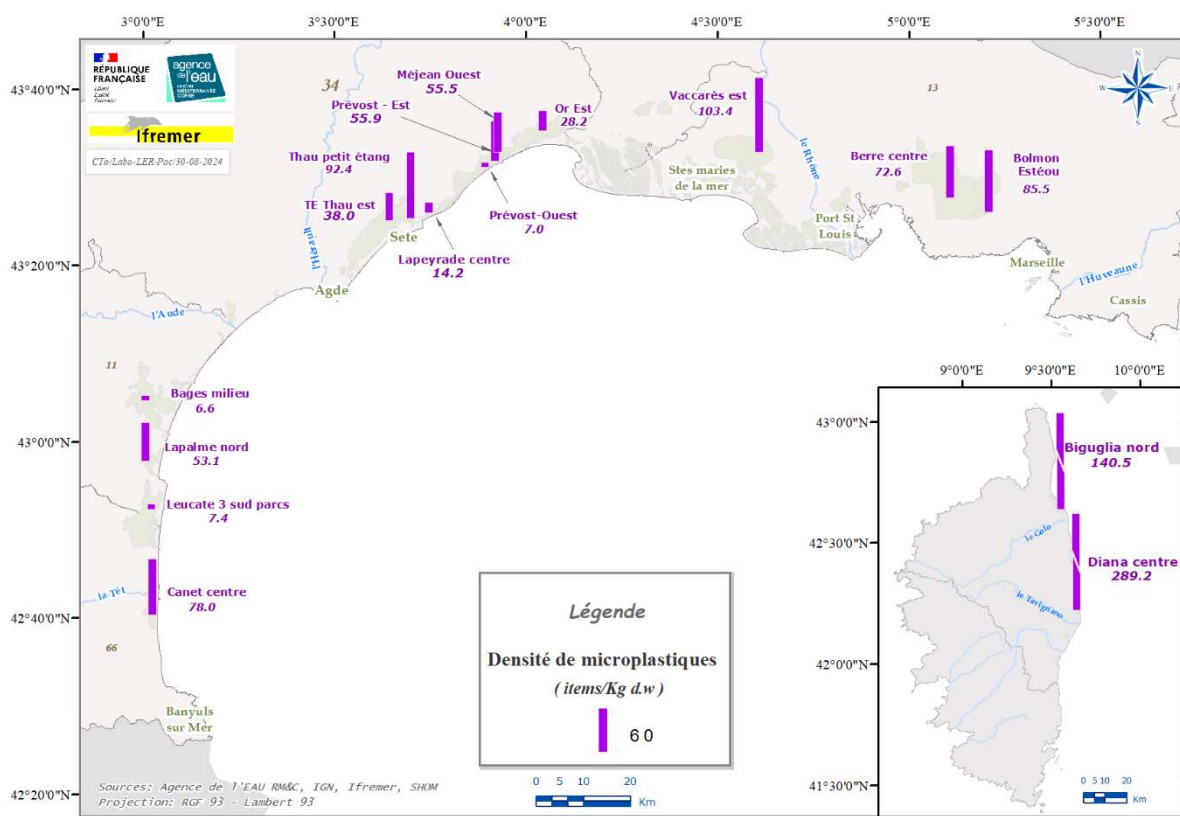


Figure 40 : Carte des densités de micro-plastiques en items/kg ps de sédiments, des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023.

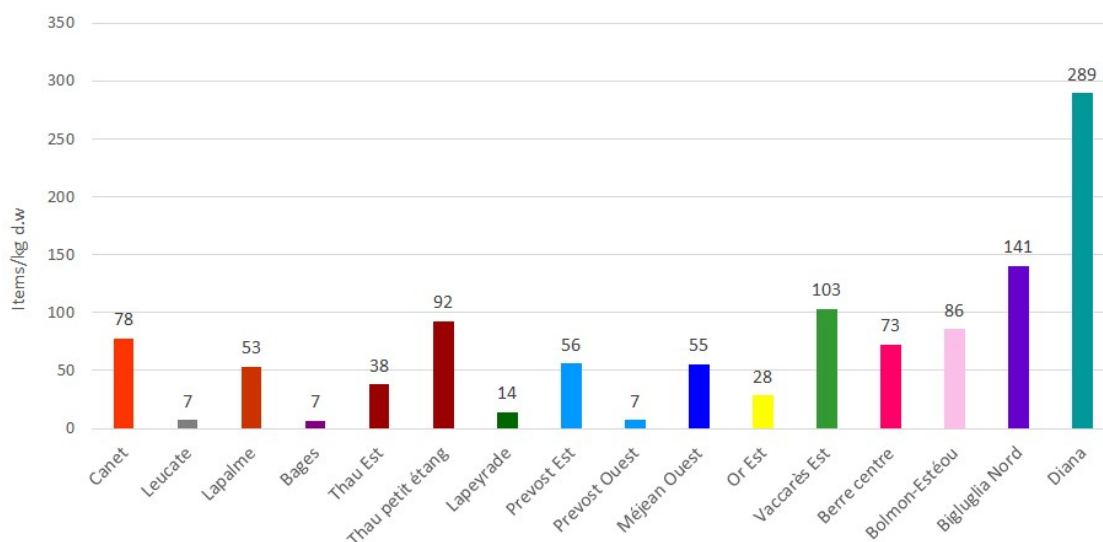


Figure 41 : Densités de micro-plastiques par station en items/kg p.s. de sédiment (n=3) dans les échantillons de la campagne ROCCHSED 2023.

Les lagunes situées en Corse affichent le niveau de concentration moyen le plus élevé (214 items/kg ps, n=2) avec une valeur moyenne qui correspond à plus du double de la valeur maximale de la lagune la plus contaminée ensuite, à savoir l'étang du Vaccarès avec une valeur de 103 items/kg ps (Figure 41).

### 3.4.2 Typologie de la contamination en micro-plastiques dans les sédiments

D'un point de vue général, et pour toutes stations confondues, les fragments représentent 73 % de la contamination, suivis par les fibres (24 %), les pellets (2 %) et les films (1 %). Aucune présence de mousse n'a été observée (Figure 42). Seul l'étang de Canet présente trois typologies (fragments, fibres, films, Figure 43). Les étangs situés en Corse, mais aussi Bolmon, l'étang de Thau (petit étang) et La Palme sont tous contaminés par deux types de micro-plastiques, à savoir les fragments et les fibres. Seul l'étang de Thau (Est) est contaminé par des pellets, en plus des fragments. Tous les autres étangs sont uniquement contaminés par des fragments, donc des micro-plastiques secondaires issus de la fragmentation de macro-plastiques.

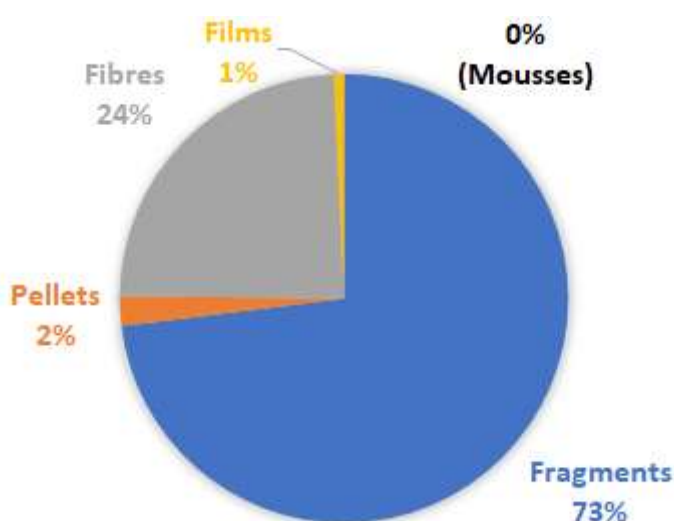


Figure 42 : Pourcentage de typologie de micro-plastiques dans les sédiments des étangs de méditerranée française (toutes stations confondues).

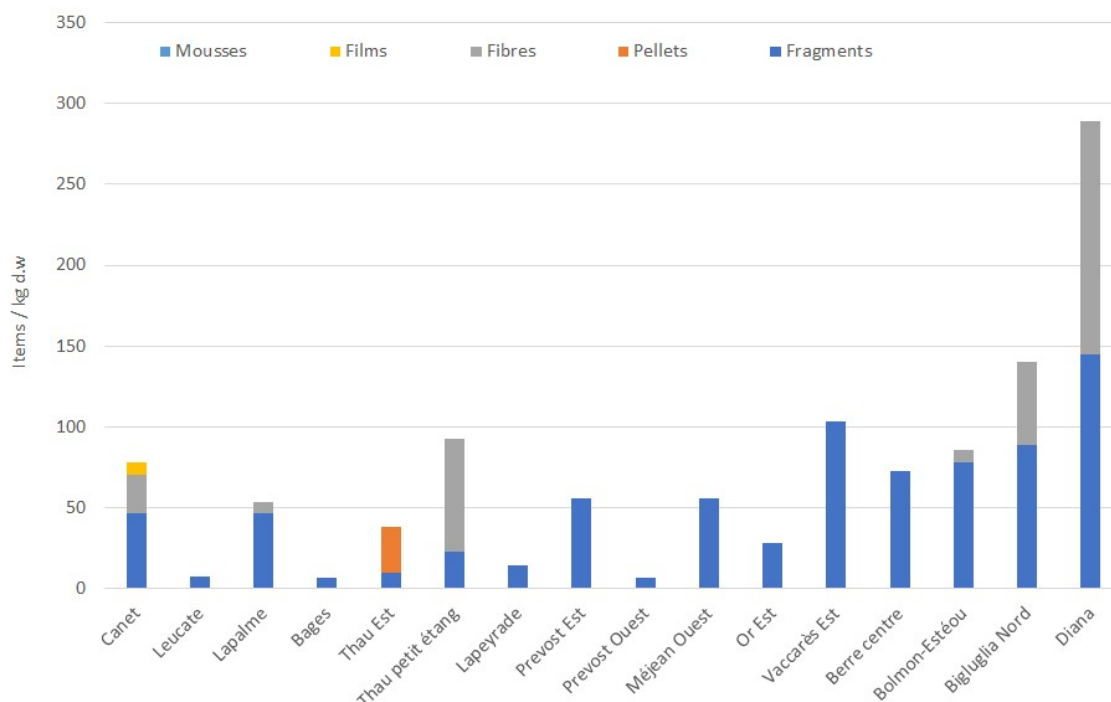


Figure 43 : Typologie des particules plastiques (en items par kg, n=3) par stations, dans les échantillons de la campagne ROCCHSED 2023.

### 3.4.3 Classe de taille des micro-plastiques dans les sédiments

D'un point de vue général, et pour toutes stations confondues, 76 % des micro-plastiques récupérés appartiennent à la classe de taille 300  $\mu\text{m}$ -1 mm, 18 % à la classe de taille 100  $\mu\text{m}$  - 300  $\mu\text{m}$ , 4 % à la classe de taille 1 mm - 2 mm et 1% à la classe de taille 2 mm – 5 mm. Les méso-plastiques (taille supérieure à 5 mm) représentent également 1% (Figure 44).

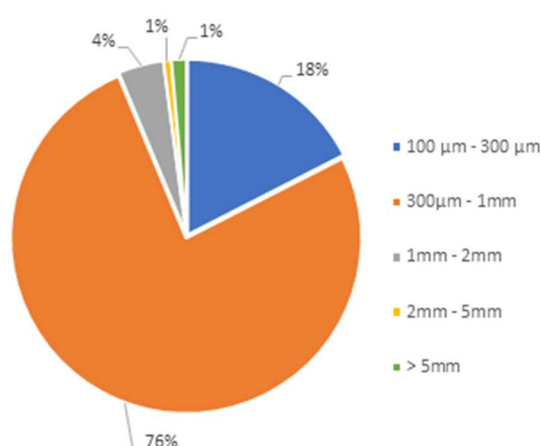


Figure 44 : Distribution moyenne (en pourcentage) des particules plastiques par classes de taille des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023.

### 3.4.4 Discussion : contamination des sédiments par les micro-plastiques

Les sources principales de pollution par les micro-plastiques des lagunes sont associées par ordre d'importance à la taille de la population, la pêche, l'aquaculture, le tourisme, les ports récréatifs, l'agriculture et les rejets de cours d'eau (annexe 8.4). Les mécanismes de contamination par les micro-plastiques en lagune sont complexes à comprendre, la température et la salinité mènent à un comportement différent des micro-plastiques (notamment la flottabilité) et la caractérisation des sources nécessite souvent de faire appel à de nombreuses disciplines et notamment la modélisation hydrodynamique, avec ou sans interface atmosphérique.

L'ensemble des échantillons de sédiment analysés provenant de la campagne ROCCHSED 2023 contiennent des particules plastiques, principalement par des plastiques de tailles comprises entre 300 µm et 1 mm. Globalement, les fragments et les fibres sont majoritaires, ce qui est classiquement rencontré comme contamination dans les sédiments lagunaires (Kushwaha et al., 2024). Peu de méso-plastiques ont été retrouvés (une seule station, Thau petit étang). La contamination dans les lagunes méditerranéennes françaises est principalement de type micro-plastiques « secondaires », de petite taille. Les principaux micro-plastiques retrouvés dans les lagunes sont des fibres et des fragments, même si les autres typologies peuvent y être parfois trouvées. Les fibres sont des micro-plastiques secondaires principalement associées aux rejets d'eaux usées et aux engins de pêche tel que les filets et cordes de pêche.

Les lagunes de Corse apparaissent comme étant les plus contaminées par les micro-plastiques. Ces deux lagunes ne sont pas de grande superficie (1362 ha pour Biguglia et 545 ha pour Diana), et de faible profondeur pour Biguglia (un mètre de profondeur en moyenne) et plus profonde pour Diana (quatre mètres de profondeur en moyenne) (Pôle-Relais Lagunes méditerranéennes.). Malgré la présence d'activités industrielles (en particulier pour Biguglia) et agricoles sur les bassins versants, les deux lagunes corses restent peu anthropisées en comparaison de certaines lagunes de la métropole. Elles communiquent toutes les deux avec la mer par un grau. La lagune de Diana héberge trois sociétés conchylicoles et aquacoles. Cependant, à ce stade de l'étude, il est difficile avec un nombre de données restreintes spatialement de pouvoir identifier clairement la ou les source(s) à l'origine de cette contamination.

Les valeurs de densité dans les étangs des Bouches du Rhône sont élevées en comparaison des autres étangs suivis, avec une densité d'environ 72 items/kg ps pour l'étang de Berre et d'environ 85 pour l'étang de Bolmon. Ce département est le troisième département le plus peuplé de France (avec 2 056 943 habitants recensés en 2021). L'étang de Berre est un des plus grands étangs en superficie (environ 133 km<sup>2</sup>) et un des plus profond (moyenne de six mètres de profondeur, avec un maximum de dix mètres de profondeur). Il a subi les conséquences de nombreuses activités anthropiques pendant de nombreuses années avec un développement industriel important (notamment en étant en périphérie de villes telles que Vitrolles, Istres, Martigues), de grandes infrastructures comme l'aéroport de Marignane, d'industries pétrochimiques et d'usine hydroélectrique entraînant une perturbation radicale du fonctionnement de l'écosystème lagunaire par l'apport massif d'eau douce. Malgré une réglementation plus stricte de ces activités d'un point de vue impact environnemental, la source principale des micro-plastiques dans l'étang de Berre reste potentiellement terrestre, même si avec des aménagements comme le canal Caronte, qui permet une bonne communication avec des sources de pollution marines (annexe 8.4), les apports marins peuvent exister. L'étang de Bolmon est adjacent mais complètement séparé de l'étang de Berre par un cordon sableux de sept kilomètres : le lido du Jaï. Au sud, il est délimité par le canal de navigation du Rove et par des zones humides. Sa plus petite superficie et des échanges réduits avec la mer et l'étang de Berre, pourraient expliquer une concentration légèrement plus élevée en micro-plastiques que

ce dernier, avec moins de possibilité d'évacuer la contamination qu'il reçoit ou qu'il a reçue (apports de la Cadière ou via les marais des Paluns...) (Pôle-Relais Lagunes méditerranéennes).

Les lagunes suivies dans l'Hérault présentent une moyenne départementale aux alentours des 40 items/kg ps, les classant à un niveau de contamination intermédiaire par rapport aux autres lagunes suivies dans la région. Certains étangs disposaient de deux stations de prélèvement. Les données de micro-plastiques, et de déchets marins en général, présentent une forte variabilité. Cela est illustré par les valeurs de densité de micro-plastiques enregistrées au sein d'une même lagune, à savoir Prévost Est et Ouest avec des valeurs respectives d'environ 55 et 6 items/kg ps et Thau Est et Thau Petit étang avec des valeurs respectives d'environ 38 et 92 items/kg ps. Sur Thau (petit étang), la proximité du port de Sète, de la ville de Sète et de ses canaux, des zones industrielles de Sète, Frontignan et Balaruc expliquent peut-être ce différentiel de micro-plastiques observé avec le point situé plus à l'ouest dans la zone des parcs conchylicoles de Bouzigues (Thau est) (Pôle-Relais Lagunes méditerranéennes). Les étangs de Prévost et Méjean (à proximité de Montpellier) ont des valeurs de contamination d'environ 55 items/kg ps considérées comme des valeurs de contamination intermédiaires. Ces lagunes font partie des étangs palavasiens qui s'étendent sur une vingtaine de kilomètres en périphérie des agglomérations de Sète, de Montpellier et du Pays de l'Or. Ils sont peu profonds (moyenne de 0.6 m), couvrent près de 4 000 ha et sont traversés par le canal du Rhône à Sète. Ce complexe d'étangs est alimenté majoritairement par le bassin versant de 600 km<sup>2</sup> du Lez et Mosson à l'est, du massif de la Gardiole à l'ouest, et en partie par le bassin versant de l'Or (410 km<sup>2</sup>) via la passe Or-Méjean et le canal du Rhône à Sète. D'après ces premiers résultats de micro-plastiques, les points situés de part et d'autre de l'embouchure du Lez sur les étangs du Prévost et du Méjean ont des niveaux très similaires en densités de micro-plastiques ce qui suggère qu'ils sont soumis possiblement à la même source de pollution (provenant potentiellement du Lez) et que le canal du Rhône à Sète ne semble pas être un frein à la dispersion de ces particules. Ces hypothèses demanderont toutefois à être vérifiées grâce à la réalisation d'un nombre d'échantillons plus important dans la zone lors d'une prochaine campagne. Le point de suivi situé plus « en amont », au niveau de l'étang de l'Or enregistre une densité de micro-plastiques moindre que sur les lagunes palavasiennes (environ 25 items/kg ps). C'est une lagune plus vaste, et dont le bassin versant proche est principalement agricole. On y pratique aussi la pêche professionnelle comme sur l'ensemble du complexe. Enfin l'étang de La Peyrade, situé le plus « en aval » du complexe, et le plus à l'ouest, affiche une valeur parmi les plus basses en micro-plastiques malgré sa proximité avec des activités industrielles -passées et actuelles-.

Dans le département de l'Aude, les deux lagunes analysées présentent des valeurs très différentes. Bages paraît faiblement impactée par les micro-plastiques au regard des valeurs présentées dans ce rapport. L'étang de Bages est le plus vaste du complexe lagunaire du Narbonnais (Pôle-Relais Lagunes méditerranéennes). Il est alimenté par un bassin versant de 443 km<sup>2</sup>, cette lagune de 3700 ha est constituée de plusieurs bassins connectés entre eux et ne possède qu'une communication avec la mer, via le grau de Port-la-Nouvelle aménagé en port industriel. La pêche est l'activité la plus importante sur cette lagune, cependant elle a fait l'objet de plusieurs déversements de substances chimiques dans les années 2000 (Source : PNRNM). Suite à cela, des règlements plus stricts et amendes ont permis de limiter les déversements. L'étang de La Palme, lui, subit une pression de contamination par les micro-plastiques plus importante (50 items/kg ps). Ce petit étang (moins de 500 ha) de faible profondeur (moyenne 0.60 m) dispose d'apports d'eau douce calcaire. Il est alimenté par un bassin versant réduit (65 km<sup>2</sup>) et peu urbanisé et possède l'un des derniers graus naturels à ouverture intermittente sur le littoral méditerranéen français. Cet étang est donc soumis à la fois à des sources de contaminations par les micro-plastiques terrestres notamment par le bassin versant (rejet de station d'épuration) et potentiellement des sources d'origine marine en provenance du milieu côtier.

Entre l'Aude et les Pyrénées-Orientales, Leucate est la deuxième plus grande lagune de la région Occitanie (5400 ha) (Pôle-Relais Lagunes méditerranéennes). De profondeur moyenne (2 m), cette lagune est alimentée par un bassin versant de 162 km<sup>2</sup> essentiellement composé de terrains naturels, occupés par de l'agriculture. Elle dispose de trois graus artificiels favorisant les échanges avec la mer et son cordon littoral est très fortement urbanisé. Des activités de pêche, conchyliculture, pisciculture, ainsi que des activités touristiques sont présentes sur cet étang ou son bassin versant. En raison de ce nombre important d'activités, les quantités de micro-plastiques pourraient être élevées. Cependant, la lagune présente une concentration relativement faible en comparaison des autres lagunes de Méditerranée française (environ 7 items/kg ps). Sa faible contamination en micro-plastiques pourrait être expliquée par : un bassin versant naturel peu anthropisé et/ou un effet de chasse vers le milieu marin par l'intermédiaire des trois graus. La lagune de Canet est une lagune peu profonde (0,4 m en moyenne, profondeur max 1,10 m), qui s'étend sur près de 600 ha et reçoit les eaux d'un bassin versant d'environ 260 km<sup>2</sup>, soit 53 fois sa propre surface. Séparée de la mer par un lido sableux, elle est traversée par un grau unique, muni de vannes et l'étang reçoit des apports d'eau douce de plusieurs cours d'eau (le Réart, l'Agouille de la Mar, la Fosseille, les Llobères). Cependant, son grau est partiellement comblé, et par ailleurs il est géré par un ouvrage ce qui limite les échanges entre la mer et l'étang. Elle est soumise à des pressions d'activités de pêche, d'agriculture et touristique (notamment avec la présence de deux stations balnéaires et la présence de plus de 30 campings). Les apports massifs en provenance d'un bassin versant important au regard de la taille de la lagune pourraient expliquer cette valeur importante de contamination en micro-plastiques (d'environ 78 items/kg ps).

Les données présentées ici peuvent être comparées à la base de données acquises durant l'ensemble des campagnes ROCCHSED, mais également aux valeurs renseignées dans la littérature.

Les valeurs de densités en micro-plastiques observées durant la campagne ROCCHSED lagune 2023 sont comprises entre 6.61 et 289.21 items/kg ps, avec une moyenne de 70.48 items/kg ps  $\pm$  69.97 items/kg ps et une médiane de 55.67 items/kg ps. Un exercice similaire avait été mené durant les campagnes ROCCHSED 2020 et 2021, réalisées cette fois en mer ouverte –golfe de Gascogne et Manche ouest–, dans des conditions similaires de prélèvement, d'extraction et d'analyse en laboratoire. Lors de ces deux campagnes, la plage de variation des valeurs était comprise entre 512.82 et 2 404.81 items/kg, avec une moyenne de densité totale de 1 198.03 items/kg ( $\pm$  694.45) et une médiane de 1 085.02 items/kg. Les valeurs de contamination des sédiments par les micro-plastiques apparaissent plus élevées en mer qu'en lagune.

Il existe peu de données sur la pollution par les micro-plastiques en lagunes dans le monde et seulement 30% de ces études sont européennes. Une revue a fait l'exercice de relever toutes les abondances moyennes des micro-plastiques dans les sédiments de lagune au niveau mondial (Garcés-Ordóñez et al., 2022). Ces abondances moyennes de micro-plastiques variaient de 0.24 à 7960 items/kg, dont deux lagunes de Méditerranée faisaient partie des plus hautes abondances, avec la plus haute en Tunisie (lagunes de Bizerte) et une autre en Italie (Sacca di Goro - 2250 items/kg). Une étude sur la lagune de Venise, fortement anthropisée, a estimé les concentrations en micro-plastiques de 672 à 2175 item/kg ps indiquant que plus les sites de prélèvements sont à l'intérieur des terres plus la concentration était élevée (Vianello et al., 2013). Les valeurs de contamination étudiées dans les lagunes de Méditerranée française présentées dans ce rapport apparaissent faibles au regard de ces chiffres.

L'interprétation des données micro-plastiques dans les sédiments des lagunes reste délicate car la connaissance de tous les paramètres nécessaires à une interprétation complète n'est pas toujours disponible (apports anthropiques, quantification des flux des bassins versants et des entrées/sorties des eaux marines, taux de sédimentation, ...). Pour autant, ces informations constituent des données complémentaires intéressantes pour disposer d'une vision transversale de l'état de santé des lagunes. Il est difficile de

caractériser le niveau de pollution en micro-plastiques dans les sédiments des lagunes méditerranéennes uniquement avec un seul prélèvement. De la même manière, avec cette stratégie d'échantillonnage, il n'est pas réellement possible de comprendre le cycle du plastique dans le système lagunaire, d'évaluer des stocks, ou de pouvoir établir une comparaison de la contamination à l'échelle spatiale inter ou intra-lagunaire. Aujourd'hui, il n'y a cependant pas à notre connaissance dans la littérature de lagunes de Méditerranée française qui ont fait l'objet d'une étude plus poussée de la contamination par les micro-plastiques. Ce présent travail, représente une des rares études préliminaires où un prélèvement de micro-plastiques dans les sédiments est effectué sur plusieurs lagunes méditerranéennes françaises, sur pas de temps court et donc considéré comme identique d'un point de vue saisonnier, permettant de fournir des résultats comparables entre eux (utilisation du même protocole de prélèvement, d'extraction et de caractérisation). Même si la technique de caractérisation utilisée (fluorescence) reste moins fiable qu'une technique de référence (RAMAN, FTIR, LDIR), elle a démontré sa capacité à traduire un signal environnemental, et cela à moindre coût (Gerigny et al., 2024). L'année 2023 correspond à un premier essai de mutualisation entre le programme ROCCHSED et la caractérisation de la contamination par les micro-plastiques à l'échelle des lagunes méditerranéennes. Le peu d'échantillons prélevés au cours de cette campagne ne permet pas de faire une analyse poussée des résultats, et notamment des analyses statistiques. Cependant, cette première opération prouve le potentiel des campagnes d'échantillonnages des sédiments pour l'analyse de la contamination chimique à fournir également des valeurs de contamination en micro-plastiques dans les lagunes. Ces premières valeurs serviront de référence, et pourront être enrichies à l'avenir. Garcés-Ordóñez et al. (2022) ont montré par exemple que les lagunes en zones protégées présentaient une plus faible abondance de micro-plastiques, principalement dans les sédiments et les organismes. Les micro-plastiques s'étaient accumulés dans certaines zones des lagunes côtières, ou avaient été exportés vers la mer, selon l'influence des conditions météorologiques saisonnières, de l'hydrodynamique, des pressions anthropiques et de la typologie des micro-plastiques. L'analyse des micro-plastiques sur un nombre restreint de points dans le cadre de la campagne ROCCHSED 2023 est une première étape pour suivre ce type de contamination dans le contexte particulier des écosystèmes lagunaires méditerranéens français. En fonction des prochains objectifs qui seront fixés, les prochaines campagnes nécessiteront certainement un suivi spatial plus important afin par exemple d'évaluer la variabilité intra-lagunaire, ou étudier la dynamique et le devenir des micro-plastiques au sein de ces écosystèmes.

## 4 Etude de l'évolution de la contamination chimique sédimentaire depuis 30 ans

### 4.1 Protocole d'étude

Des résultats d'analyse de contaminants chimiques dans le sédiment sont disponibles pour certaines lagunes (Bages, Berre, Leucate et Thau) depuis plus de 40 ans mais des différences de protocoles d'échantillonnage et d'analyse rendent délicate la comparaison avec les résultats les plus récents. En particulier différents matériels de prélèvement ont été utilisés lors des campagnes de prélèvement de sédiment réalisées dans les années 1980, donnant lieu au prélèvement d'une couche de sédiment plus ou moins épaisse. Les échantillons prélevés à cette époque par une benne Shipek peuvent représenter un mélange de sédiments sur 5 à 10 cm d'épaisseur, correspondant à plusieurs décennies de dépôts sédimentaires. Par ailleurs les points suivis à cette époque pour des études spécifiques ne sont pas forcément ceux utilisés par le ROCCH ensuite. Outre ces aspects liés au protocole de prélèvement, les méthodes analytiques de laboratoire se sont considérablement améliorées depuis 40 ans, notamment les limites de détection/quantification et l'évaluation des incertitudes. Pour l'ensemble de ces raisons, l'étude chronologique ci-dessous s'est donc limitée à la comparaison des données des campagnes de 1996, 2006, 2011-2012, 2017 et 2023 réalisées avec le même mode et protocole de prélèvement.

Depuis 1996, les échantillons obtenus par des techniques respectant la stratification naturelle sont prélevés dans le centimètre supérieur, considéré comme représentatif de la qualité chimique récente. Tronczynski (2008) rapporte des vitesses de sédimentation de l'ordre de 0.2 à 0.4 cm.a<sup>-1</sup> dans l'étang de Thau, soit 2.5 à 5 ans de dépôt dans une couche d'1 cm d'épaisseur. Castaings et al. (2011) rapportent également des vitesses de sédimentation allant de 0.7 (étang de l'Or) à -0.1 (= érosion pour l'étang du Grec) cm.a<sup>-1</sup> dans les étangs palavasiens entre 1965 et 2005, avec toutefois la plupart des lagunes de ce complexe comprises entre 0.1 et 0.3 cm.a<sup>-1</sup> (étangs du Méjean, Ingril, Pierre-Blanche, Arnel). Ces taux de sédimentation, bien que variables d'une lagune à l'autre ainsi qu'au sein d'une même lagune, indiquent que le premier cm de sédiment superficiel est constitué de dépôts étalés au cours d'une période de 3 à 10 ans. L'étude temporelle des différentes campagnes ROCCHSED prises en compte s'appuie donc bien sur des sédiments représentatifs de périodes différentes.

#### 4.1.1 Sélection des sites étudiés

A partir d'une extraction de la base Quadrigé de l'ensemble des résultats disponibles du ROCCHSED en lagune, une sélection de sites a été faite afin d'étudier l'évolution des niveaux de concentration en contaminants sur les 5 campagnes depuis 1996. Au total, les échantillons concernent 23 lagunes et 103 sites différents prélevés au moins une fois sur les 5 campagnes, dont 17 points qui ont été échantillonnés lors de chaque campagne.

Certains points de prélèvement ont été déplacés entre deux campagnes, en particulier lorsque les caractéristiques de l'échantillon ont révélé un sédiment très grossier. Lorsque le déplacement est de faible ampleur (points successifs distants de quelques centaines de mètres, dans un même contexte hydrologique), deux points différents peuvent être assimilés à un seul et même site de manière à constituer une série temporelle qui pourra être analysée. Après cette étape de regroupement, 33 sites se rapportant à 20 lagunes, ayant fait l'objet d'au moins 2 prélèvements, dont celui de 2023, ont ainsi été retenus pour l'analyse temporelle (Tableau 12).

| N° | Lieu.de.surveillance                  | Lagune        | Année de la campagne ROCCHSED |      |      |      |      |
|----|---------------------------------------|---------------|-------------------------------|------|------|------|------|
|    |                                       |               | 1996                          | 2006 | 2012 | 2017 | 2023 |
| 1  | Etang de Canet - centre               | Canet         |                               | X    | X    | X    | X    |
| 2  | Leucate 9 - Anse de la Roquette       | Leucate       | X                             |      |      |      | X    |
| 3  | Leucate 3 - Sud parcs                 | Leucate       | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 4  | LEN 4 - Anse du Paurel                | Leucate       | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 5  | Etang de La Palme Nord                | La Palme      |                               | X    | X    | X    | X    |
| 6  | Etang de Bages - Sud                  | Bages         | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 7  | Etang de Bages - Ile de L'Aute        | Bages         | X                             |      | X    | X    | X    |
| 11 | Etang de Bages - Sud Bages            | Bages         | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 12 | Etang de Bages - La Nautique          | Bages         | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 13 | Etang de l'Ayrolle 1                  | Ayrolle       | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 14 | Etang de l'Ayrolle - devant Campagnol | Ayrolle       | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 16 | Etang de Gruissan                     | Gruissan      | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 18 | Thau - Marseillan 2                   | Thau          | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 24 | TE 65 – Thau petit étang              | Thau          | X                             | X    | X    |      | X    |
| 25 | Thau - crique de l'Angle 2            | Thau          | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 26 | Etang de La Peyrade – l'îlou          | La Peyrade    |                               |      |      | X    | X    |
| 28 | Pointe d'Ingril                       | Ingril        |                               | X    |      | X    | X    |
| 29 | Etang d'Ingril - cordon dunaire       | Ingril        |                               | X    |      | X    | X    |
| 31 | Etang de Vic 1                        | Vic           | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 33 | Etang de L'Arnel 1                    | Arnel         | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 34 | Etang du Prévost - Ouest              | Prévost       | X                             |      | X    | X    | X    |
| 35 | Etang du Prévost - Est                | Prévost       | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 37 | Etang de Pérols Centre 2              | Méjean Pérols | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 39 | Etang de Pérols Est 2                 | Méjean Pérols | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 41 | Etang de l'Or - Est piste aéroport    | Or            | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 43 | Etang de l'Or - Pte du Salaison       | Or            | X                             | X    | X    | X    | X    |
| 45 | Etang de l'Or - Pte Estenove          | Or            | X                             | X    |      | X    | X    |
| 50 | Etang de Berre Nrd - Face Beau Rivage | Berre         |                               |      | X    | X    | X    |
| 51 | Etang du Bolmon - Esteou              | Bolmon        |                               |      |      | X    | X    |
| 52 | BIN - Biguglia nord                   | Biguglia      |                               |      | X    | X    | X    |
| 56 | Diana centre                          | Diana         |                               |      | X    |      | X    |
| 58 | Etang d'Urbino - Centre               | Urbino        |                               |      | X    |      | X    |
| 60 | Palu                                  | Palu          |                               |      | X    | X    | X    |

Tableau 12 : Points échantillonnés au cours de la campagne ROCCHSED 2023, retenus pour l'étude de l'évolution temporelle de la contamination chimique des lagunes méditerranéennes et historique de leurs prélèvements lors des campagnes précédentes du ROCCHSED.

#### 4.1.2 Paramètres retenus

En 30 ans, la liste des contaminants suivis a évolué en fonction de l'état de l'art technique pour les analyses et des préoccupations qui se traduisent notamment dans les textes réglementaires qui encadrent la surveillance de la qualité de l'environnement marin.

Sur les 5 campagnes entre 1996 et 2023, 61 contaminants différents, sur les 137 contaminants chimiques analysés en 2023, ont été analysés sur au moins une autre campagne que celle de 2023 (Tableau 13).

| Famille                     | Substance chimique                                                                      | 1996 | 2006 | 2012 | 2017 | 2023 |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Éléments Traces Métalliques | Hg, Zn, Li, Pb, Cd, Cu                                                                  | X    | X    | X    | X    | X    |
|                             | V                                                                                       |      | X    |      | X    | X    |
|                             | Mn                                                                                      | X    | X    |      | X    | X    |
|                             | Ni, Ag, Cr                                                                              |      | X    | X    | X    | X    |
|                             | Co                                                                                      |      |      |      | X    | X    |
| PCB                         | 28, 52, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 180                                               | X    | X    | X    | X    | X    |
| PBDE                        | 28, 154                                                                                 |      |      |      | X    | X    |
|                             | 47, 99, 100, 153, 209                                                                   |      | X    | X    | X    | X    |
| Autres Organo-halogénés     | Hexachlorobenzène (HCB)                                                                 |      | X    | X    | X    | X    |
|                             | PentChBENZENE                                                                           |      | X    |      | X    | X    |
|                             | HexaChBUTADIENE                                                                         |      | X    | X    | X    | X    |
| Insecticides Organo-Chlorés | DDDpp', DDEpp', DDTpp'                                                                  | X    | X    | X    | X    | X    |
|                             | HCHALPHA HCHGAMMA                                                                       | X    | X    | X    | X    | X    |
|                             | Heptachlore                                                                             |      |      |      | X    | X    |
|                             | HeptChEPOXexocis                                                                        |      |      |      | X    | X    |
|                             | HeptChEPOXendotrans                                                                     |      |      |      | X    | X    |
| Fongicide                   | QUINOXYFEN                                                                              |      |      |      | X    | X    |
| Organo-étain                | MBT, DBT, TBT                                                                           |      | X    | X    | X    | X    |
| HAP                         | FLUORAN, IND123PY, BZBFLU, BZKFLU, BZGHIPER, BZAPYR                                     | X    | X    | X    | X    | X    |
|                             | FLUOREN, PHENATH, PYRENE, BZAANT, CHRYSEN, ANTHRAC, DBZAHANT, ACEPHTe, NAPHTAL, ACEPHTY |      | X    | X    | X    | X    |
|                             | CY5CDPYR                                                                                |      | X    |      |      | X    |
| Phtalate                    | DiEtHexPHTALATE                                                                         |      | X    | X    | X    | X    |

Tableau 13 : Contaminants retenus pour l'étude de l'évolution temporelle de la contamination chimique des lagunes méditerranéennes et historique de leurs recherches dans les échantillons de sédiment des 5 campagnes ROCCHSED 1996, 2005-2006, 2012, 2017 et 2023.

## 4.2 Résultats de l'évolution temporelle des contaminants chimiques sédimentaires depuis 30 ans

Du fait des évolutions nombreuses intervenues en presque 30 ans de suivi, tant sur les points que dans la liste des paramètres suivis, le bilan sera présenté par point (ou ensemble de points en cas de regroupement de points proches) (Tableau 12) et par paramètre (Tableau 13) en considérant deux critères :

- la comparaison de la teneur de chaque paramètre rapportée à un seuil de référence lorsqu'il existe et lorsque la concentration mesurée est supérieure au seuil de quantification
- l'évolution de la teneur constatée par rapport à la campagne immédiatement précédente si la donnée est disponible.

L'évolution est considérée par paramètre ou famille de paramètres, pour l'ensemble des lagunes, à partir des analyses réalisées sur les 17 points de prélèvement communs à toutes les campagnes (contaminants chimiques), sous réserve que l'échantillon présente une proportion suffisante de fraction fine (part des particules de diamètre inférieur à 63µm supérieure à 20%). L'étude porte sur les concentrations normalisées afin de pouvoir comparer les séries de données entre elles.

## 4.2.1 Evolution temporelle des concentrations en éléments-traces métalliques

### 4.2.1.1 Evolution temporelle par élément trace métallique

Pour comparer les distributions des teneurs en éléments-traces métalliques globalement entre les campagnes (sur les 17 points communs à toutes les campagnes), les concentrations sont représentées pour chaque élément sous la forme d'une boîte à moustache selon le schéma décrit à la Figure 45.

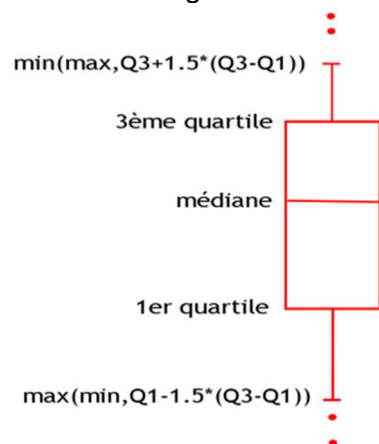


Figure 45 : Rappel des éléments constitutifs d'une distribution de valeurs sous la forme d'une boîte à moustache : les valeurs inférieure et supérieure de la boîte correspondent aux 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles de la série de données (resp. 25 et 75%), la ligne à l'intérieur du rectangle indique la valeur médiane, les moustaches représentent 1.5 fois l'intervalle entre le 1<sup>er</sup> et le 3<sup>ème</sup> quartile. Les valeurs sortant de l'intervalle délimité par les extrémités des moustaches sont signalées par un point et sont considérées comme des valeurs extrêmes (outliers).

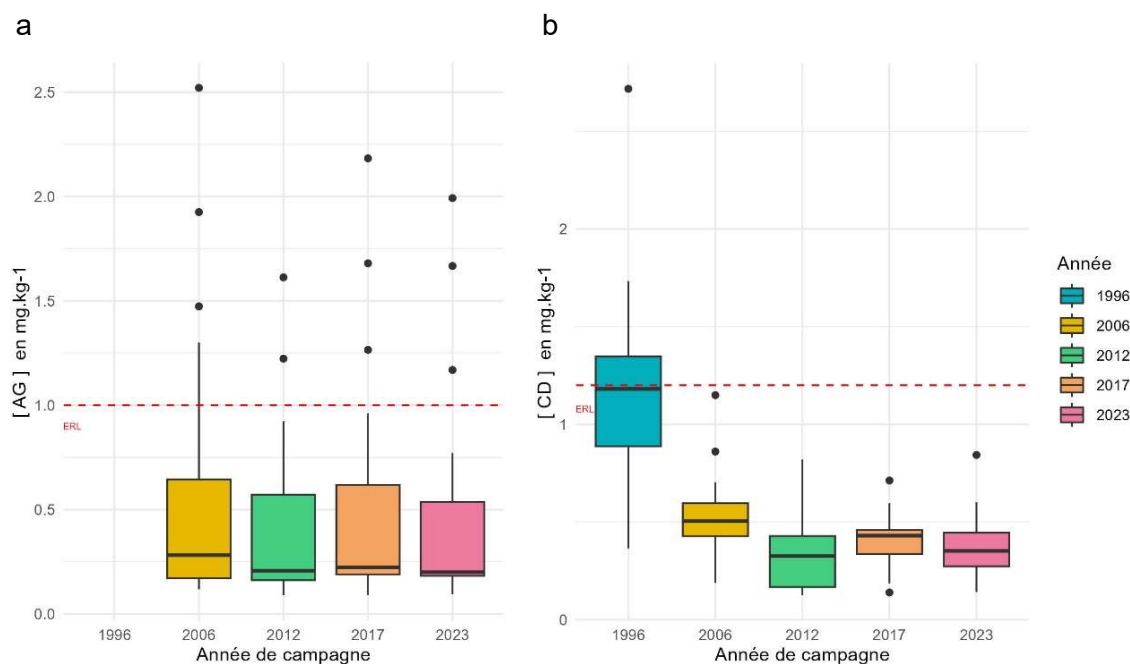


Figure 46 : Distributions en boîte à moustaches des teneurs en argent (a) et en cadmium (b) des échantillons de sédiment des 17 points suivis au cours de chacune des campagnes ROCCHSED sur les lagunes méditerranéennes (1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023). Ligne pointillée : ERL (valeur minimale d'effet écotoxicologique).

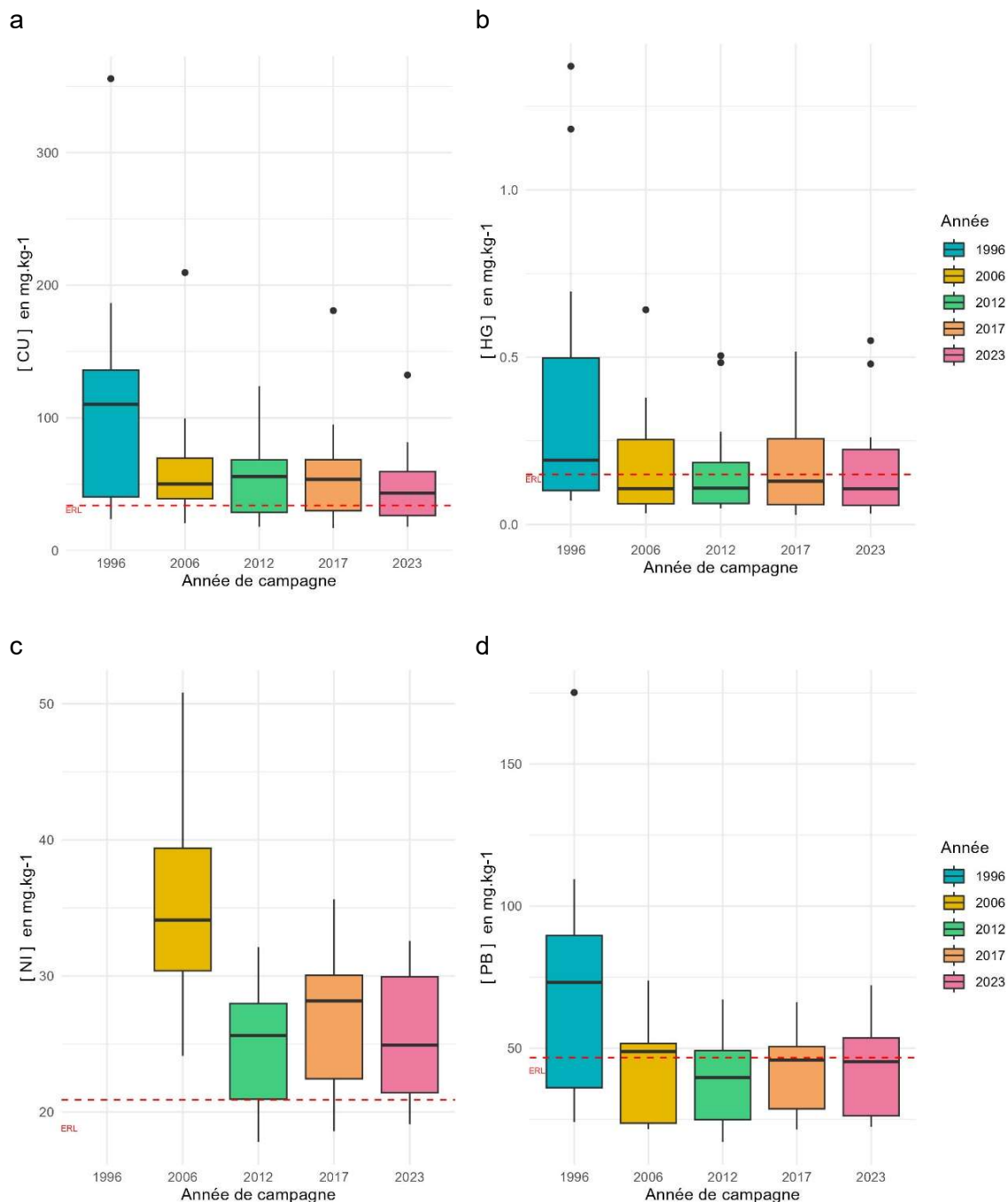


Figure 47 : Distributions en boîte à moustaches des teneurs en cuivre (a), en mercure (b), en nickel (c) et en plomb (d) des échantillons de sédiments des 17 points suivis au cours de chacune des campagnes ROCCHSED sur les lagunes méditerranéennes (1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023). Ligne pointillée : ERL (valeur minimale d'effet écotoxicologique).

Pour tous les éléments-traces métalliques suivis dès la campagne 1996 (Figure 46, Figure 49 et Annexe 8.5) on note une proportion importante de valeurs fortes pour cette première campagne, avec une valeur médiane des concentrations souvent supérieure à la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL). C'est le cas pour le plomb, le mercure, le cuivre par exemple. Les résultats des campagnes suivantes se situent dans des gammes de concentrations plus faibles, relativement stable ou en légère diminution. La valeur médiane des concentrations mesurées en 2023 est équivalente ou inférieure à celle des autres campagnes.

Ce constat est confirmé par une analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les 5 métaux sur les 17 points suivis lors des 5 campagnes (Figure 48).

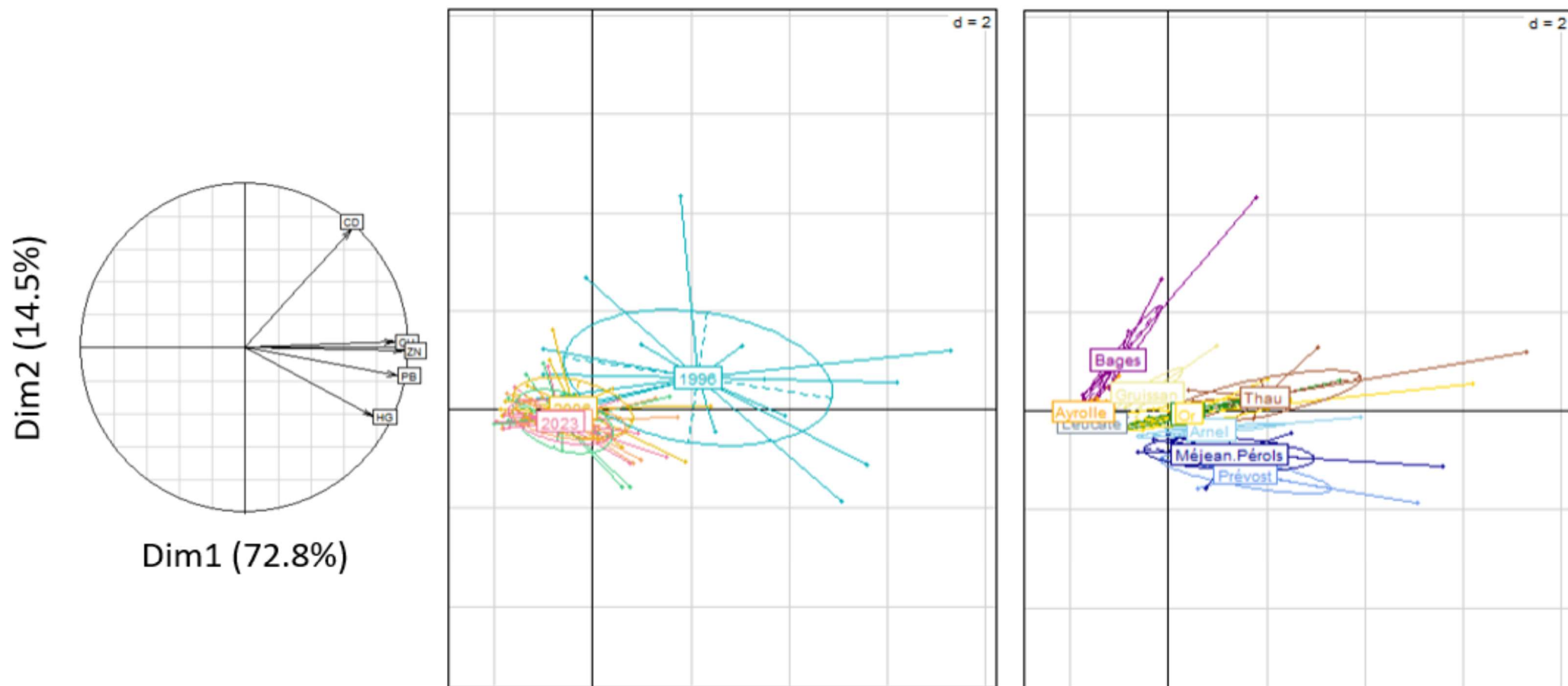


Figure 48 : Analyse en composantes principales (ACP) des concentrations en métaux (Pb, Cd, Hg, Cu, Zn) dans le sédiment (concentrations normalisées à 5% d'aluminium) des 17 points suivis à chaque campagne ROCCHSED 1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023.

L'analyse en composantes principales (ACP) met en évidence un gradient temporel de contamination métallique, avec la campagne 1996 dont les échantillons apparaissent globalement plus contaminés pour l'ensemble des 5 métaux étudiés (corrélation positive avec l'axe 1 de l'ACP qui explique 72,8% de la variabilité). Elle met également en évidence un gradient spatial de contamination (avec des lagunes plus ou moins contaminées) vis-à-vis de ces 5 métaux, lequel est assez similaire à celui déjà mis en évidence lors de l'analyse spatiale des données de 2023 (Figure 8). L'axe 2 qui explique 14.5 % de variabilité oppose cadmium et mercure, l'étang de Bages et celui du Prévost.

#### **4.2.1.2 Evolution temporelle des éléments-traces métalliques par point de suivi**

La synthèse des évolutions entre deux campagnes successives est présentée dans le Tableau 14, pour chaque point ayant fait a minima l'objet d'une analyse sédimentaire de métaux lors de deux campagnes successives du ROCCHSED.

On en retiendra le cas du nickel, seulement analysé depuis 2006, avec des concentrations dans le sédiment qui restent supérieures à la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL) depuis 2006 sur la plupart des points (24 points/28), avec peu d'évolutions à la baisse qui traduiraient une amélioration de l'état des lagunes. On note même certains points qui se dégradent pour cet élément trace métallique entre 2017 et 2023 (Bages-sud, pointe d'Ingril, Pérols centre et Palu). Le cas extrême de Biguglia (dépassement de l'ERM) est cependant à relativiser puisque l'origine du nickel détecté dans cette lagune est probablement majoritairement naturelle (cf 3.2.2.2). Seuls l'étang de Canet, l'étang de l'Ayrolle et un point sur Bages sont en situation favorable pour ce paramètre (pas de dépassement de l'ERL et pas d'évolution à la hausse des concentrations). La situation du cuivre est très similaire à celle du nickel avec un nombre important de dépassement d'ERL depuis 2006 et encore en 2023 (17 points concernés) et plusieurs points qui montrent toujours une tendance à l'augmentation des niveaux sédimentaires (Bages - sud, La Peyrade, Ingril, Pérols, Berre). A noter que la problématique du cuivre est assez ubiquiste car outre les lagunes déjà citées, elle concerne aussi Canet, Gruissan, Thau et l'ensemble des étangs palavasiens, l'étang de l'Or, et celui du Bolmon. Les origines du cuivre sont multiples et variées mais la piste des apports diffus agricoles (sulfate de cuivre utilisé dans la lutte contre les maladies cryptogamiques) semble être la principale source de contamination à cette échelle. Les étangs de Corse semblent relativement préservés de ce type de contamination, jusqu'à présent.

Dans une situation opposée à celles du nickel et du cuivre, le cadmium ne dépasse la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL) que dans un cas, associé à une évolution à la baisse (étang du Bolmon). A noter cependant que certains points de l'étang de Bages et le point de l'étang de Gruissan montrent une évolution à la hausse qu'il conviendra de surveiller.

L'autre enseignement de ce bilan permet de cibler les lagunes du complexe Thau-Palavasiens (Ingril, La Peyrade, Prévost et Pérols) dans l'Hérault, prioritaires pour des actions de reconquête de la qualité chimique de l'écosystème en lien avec leurs concentrations sédimentaires élevées en mercure et plomb et qui dépassent en 2023 la valeur minimale d'effet écotoxicologique (ERL) sans montrer de tendance à la diminution (à l'exception du plomb à Marseillan).

#### **4.2.2 Evolution temporelle des concentrations en hydrocarbures (HAP)**

De la même façon que pour l'étude de l'évolution des concentrations en métaux, les distributions des concentrations en HAP sont comparées entre campagnes (Figure 49).

Pour les HAP, l'année 1996 ne présente pas les mêmes caractéristiques que pour les métaux.

| Libellé                                  | Cd    |       |       |       | Cu    |       |       |       | Hg    |       |       |       | Pb    |       |       |       | Zn    |       |       |       | Ag    |       |       |       | Cr    |       |       |       | Ni    |       |       |       |
|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                          | 96_06 | 06_12 | 12_17 | 17_23 | 96_06 | 06_12 | 12_17 | 17_23 | 96_06 | 06_12 | 12_17 | 17_23 | 96_06 | 06_12 | 12_17 | 17_23 | 96_06 | 06_12 | 12_17 | 17_23 | 96_06 | 06_12 | 12_17 | 17_23 | 96_06 | 06_12 | 12_17 | 17_23 | 96_06 | 06_12 | 12_17 | 17_23 |
| Etang de Canet - centre                  |       |       |       |       | → ERL | → ERL | ↘ ERL |       |       |       |       |       | ↘     |       |       |       | ↘     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Leucate 3 - Sud parcs                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | ↘     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| LEN 4 - Anse du Paurel (Leucate)         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | ↘     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de La Palme Nord                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Bages - Sud                     |       |       |       |       | ↘ ERL |       |       | ↘     |       |       |       | ↘     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Bages - Ile de L'Aute           |       |       |       |       |       |       | → ERL |       |       |       |       |       | ↘     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Bages - Sud Bages               |       |       |       |       | ↘     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Bages - La Nautique             |       |       |       |       | ↘ ERL | ↘ ERL | → ERL | → ERL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de l'Ayrolle 1                     |       |       |       |       |       |       | ↘     |       |       |       |       |       | ↘     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de l'Ayrolle - devant Campagnol    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | ↘     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Gruissan                        |       |       |       |       | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       | ↘     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Thau - Marseillan 2                      |       |       |       |       | ↘ ERL | ↘ ERL | → ERL | ↘ ERL |       |       |       |       | ↘     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| TE 65 - Thau petit étang                 |       |       |       |       | ↘ ERL | ↘ ERL | → ERL | ↘ ERL |       |       |       |       | ↘ ERL | → ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Thau - crique de l'Angle 2               |       |       |       |       | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       | ↘ ERL |       | → ERL | ↘ ERL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Lapeyrade - l'Ilou              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Pointe d'Ingril                          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang d'Ingril - cordon dunaire          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Vic 1                           |       |       |       |       | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       | ↘ ERL | → ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de L'Arnel 1                       |       |       |       |       | ↘ ERL | → ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       | ↘ ERL | → ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang du Prévost - Ouest                 |       |       |       |       |       |       | → ERL | → ERL |       |       |       |       | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang du Prévost - Est                   |       |       |       |       | ↘ ERL | → ERL | → ERL | → ERL |       |       |       |       | ↘ ERL | → ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Pérols Centre 2                 |       |       |       |       | ↘ ERL | ↘ ERL | → ERL | ↘ ERL |       |       |       |       | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Pérols Est 2                    |       |       |       |       | ↘ ERL | → ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Mauguio/Or - Est piste aéroport |       |       |       |       | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL | ↘ ERL |       |       |       |       | ↘ ERL | ↘ ERL | → ERL | → ERL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Mauguio/Or - Pointe du Salaison |       |       |       |       | ↘ ERL | → ERL | → ERL | ↘ ERL |       |       |       |       | ↘ ERL |       | → ERL | → ERL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Mauguio/Or - Pte Estenove       |       |       |       |       | ↘ ERL |       |       |       |       |       |       |       | ↘ ERL |       | → ERL | → ERL |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang de Berre Nord - Face Beau Rivage   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Etang du Bolmon - Esteou                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| BIN - Biguglia nord                      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Palu                                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Tableau 14 : Evolutions temporelles successives des concentrations en métaux dans les échantillons de sédiment prélevés au cours des campagnes ROCCHSED 1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023, pour les points sélectionnés pour l'étude du suivi temporel. L'évolution entre deux campagnes successives est renseignée par une flèche, qui monte ou descend lorsqu'une différence entre les concentrations normalisées est supérieure à 10%. La concentration de la campagne la plus récente est comparée aux valeurs seuil minimale (ERL) ou médiane (ERM) écotoxicologique puis traduite par une couleur :

|  |                                         |
|--|-----------------------------------------|
|  | baisse sans dépassement d'ERL           |
|  | pas d'évolution, sans dépassement d'ERL |
|  | baisse avec dépassement d'ERL           |
|  | pas d'évolution, avec dépassement d'ERL |
|  | augmentation sans dépassement d'ERL     |
|  | augmentation avec dépassement d'ERL     |
|  | baisse avec dépassement d'ERM           |
|  | augmentation avec dépassement d'ERM     |

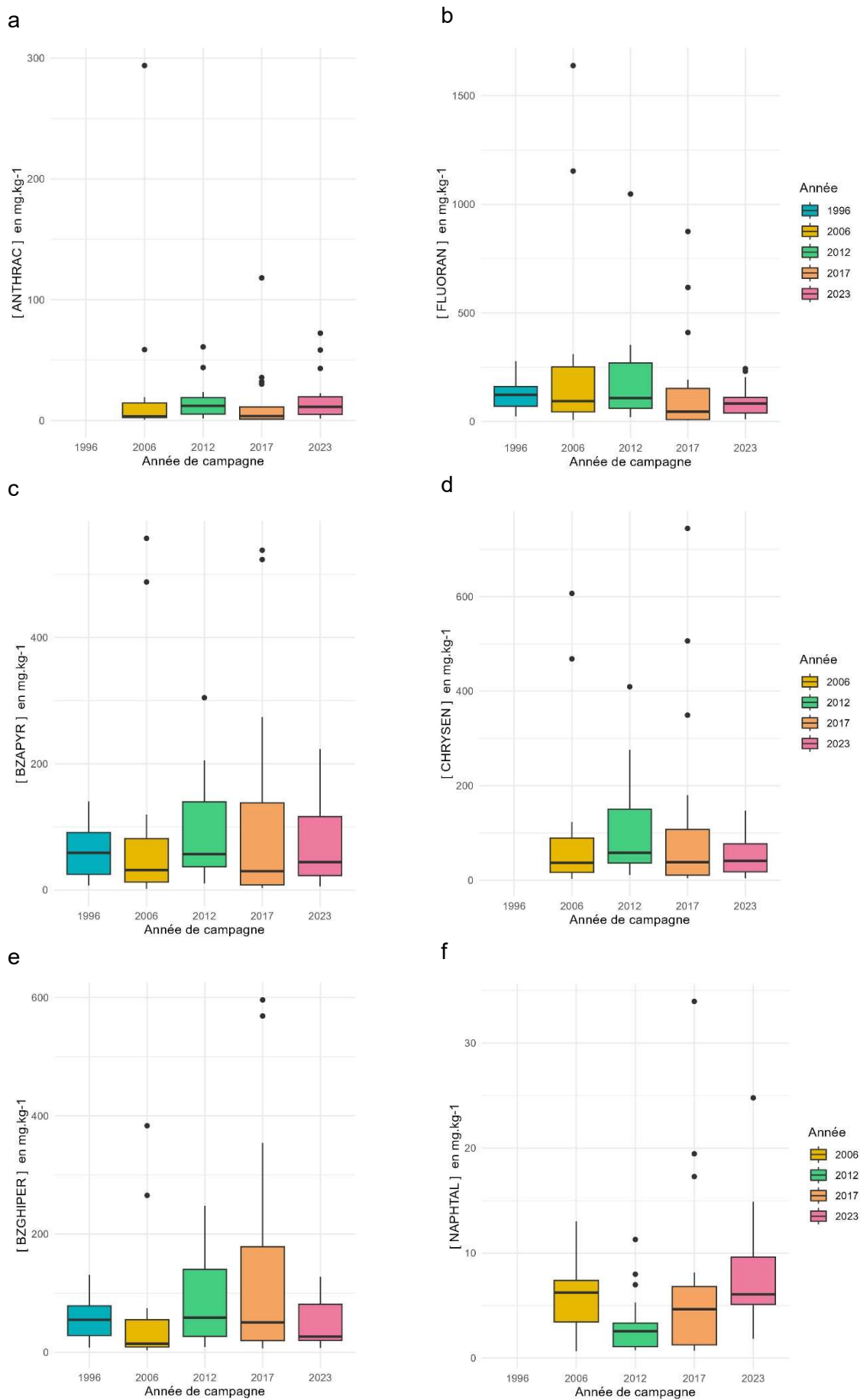


Figure 49 : Distribution des teneurs en HAP individuels des échantillons de sédiment des 17 points suivis au cours de chacune des campagnes ROCCHSED sur les lagunes méditerranéennes (1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023). Concentrations rapportées à un sédiment contenant 2.5% de carbone organique.

On distingue 3 groupes de HAP individuels en fonction de l'évolution des distributions :

- un groupe pour lequel les teneurs mesurées en 2012 étaient plus élevées que dans les campagnes suivantes et précédentes (Figure 49 b c d et annexe 8.5.2) : benzo (a) pyrène, benzo (b) fluoranthène, benzo (k) fluoranthène, fluoranthène, chrysène, indéno 123 cd pyrène, phénanthrène, pyrène, benzo (a) anthracène
- un groupe mono-contaminant composé du naphthalène (Figure 49 f) pour lequel des concentrations plus faibles ont été enregistrées dans les échantillons de sédiment en 2012 ; et qui semblent augmenter depuis.
- un groupe composé des autres HAP, pour lesquels les concentrations ont peu évolué entre les campagnes (cas de l'anthracène Figure 49 a) ou une plus grande variabilité en particulier en 2017 ne permet pas de voir clairement d'évolution entre les campagnes (cas du benzo ghi pérylène Figure 49 e).

#### 4.2.3 Evolution temporelle des concentrations en polychlorobiphényles (PCB)

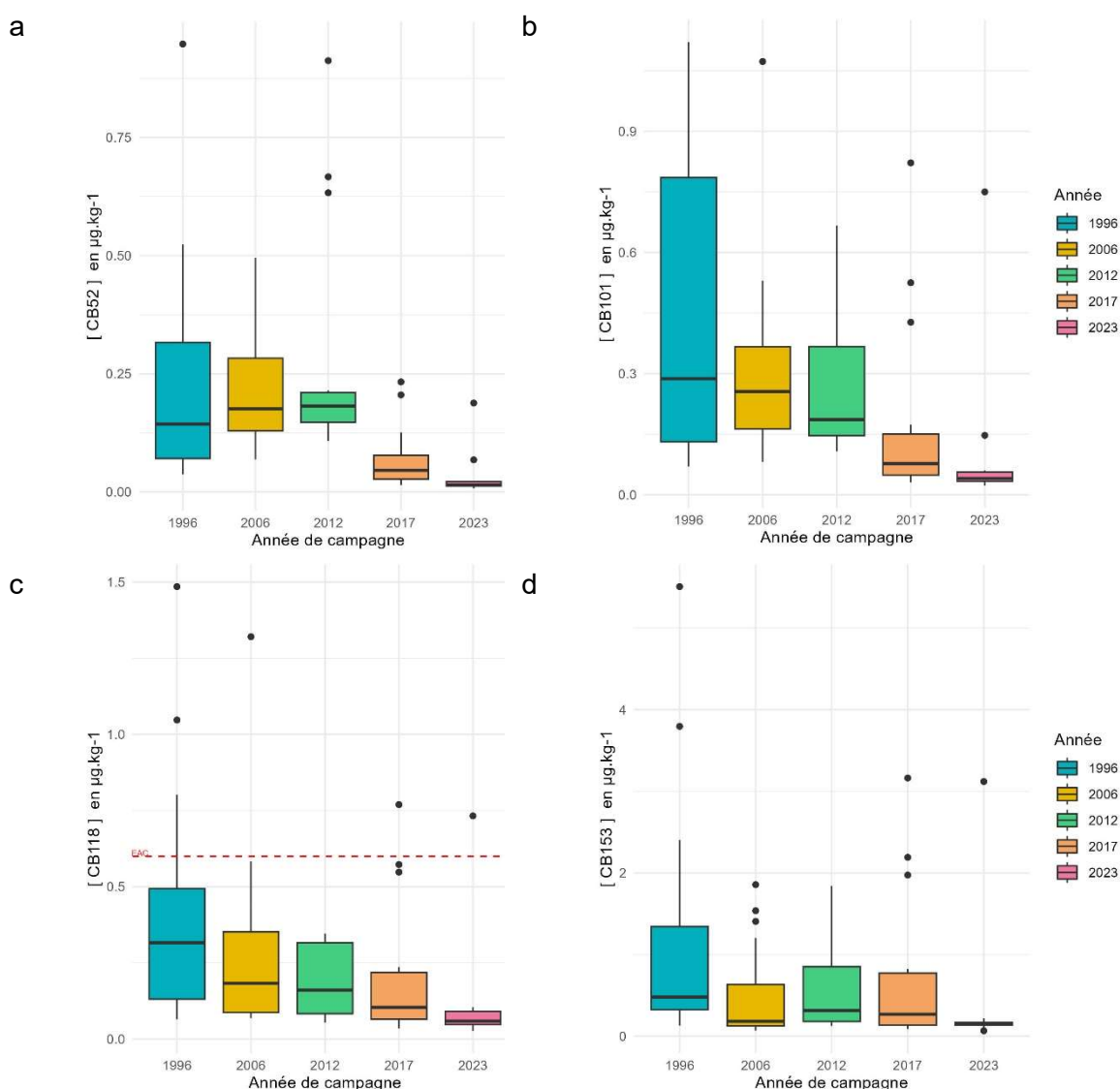


Figure 50 : Distribution des teneurs en PCB individuels des échantillons de sédiment des 17 points suivis au cours de chacune des campagnes ROCCHSED sur les lagunes méditerranéennes (1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023). Concentrations rapportées à un sédiment contenant 2.5% de carbone organique.

Pour l'ensemble des PCB suivis au cours des 5 campagnes ROCCHSED, on observe (Figure 50 et Annexes 8.5.3) globalement une diminution des niveaux de présence dans les échantillons de sédiment.

On note pour cette famille une grande variabilité des concentrations mesurées en 1996 qui masque dans certains cas la possibilité de voir l'évolution avant la campagne 2012 (ex : Figure 50 b).

Par ailleurs, pour la majorité des échantillons analysés au cours des différentes campagnes les concentrations mesurées sont inférieures voire très éloignées de la valeur du critère d'évaluation environnemental (EAC) pris en compte pour évaluer la qualité du milieu pour cette famille de contaminants chimiques. Pour le PCB118, seulement quelques points présentent des concentrations supérieures à l'EAC depuis 1996.

#### 4.2.4 Evolution temporelle des concentrations en pesticides organochlorés

Deux familles de pesticides anciens, interdits depuis plusieurs décennies (DDT depuis 1973, et lindane interdit en agriculture en France depuis 1998) sont toujours détectées dans les sédiments des lagunes du fait de leur forte rémanence. Pour analyser l'imprégnation des sédiments par ces deux familles, il faut prendre en compte leurs différentes formes (principe actif et impuretés ou produits de dégradation) qui, ensemble, contribuent à la toxicité pour l'écosystème.

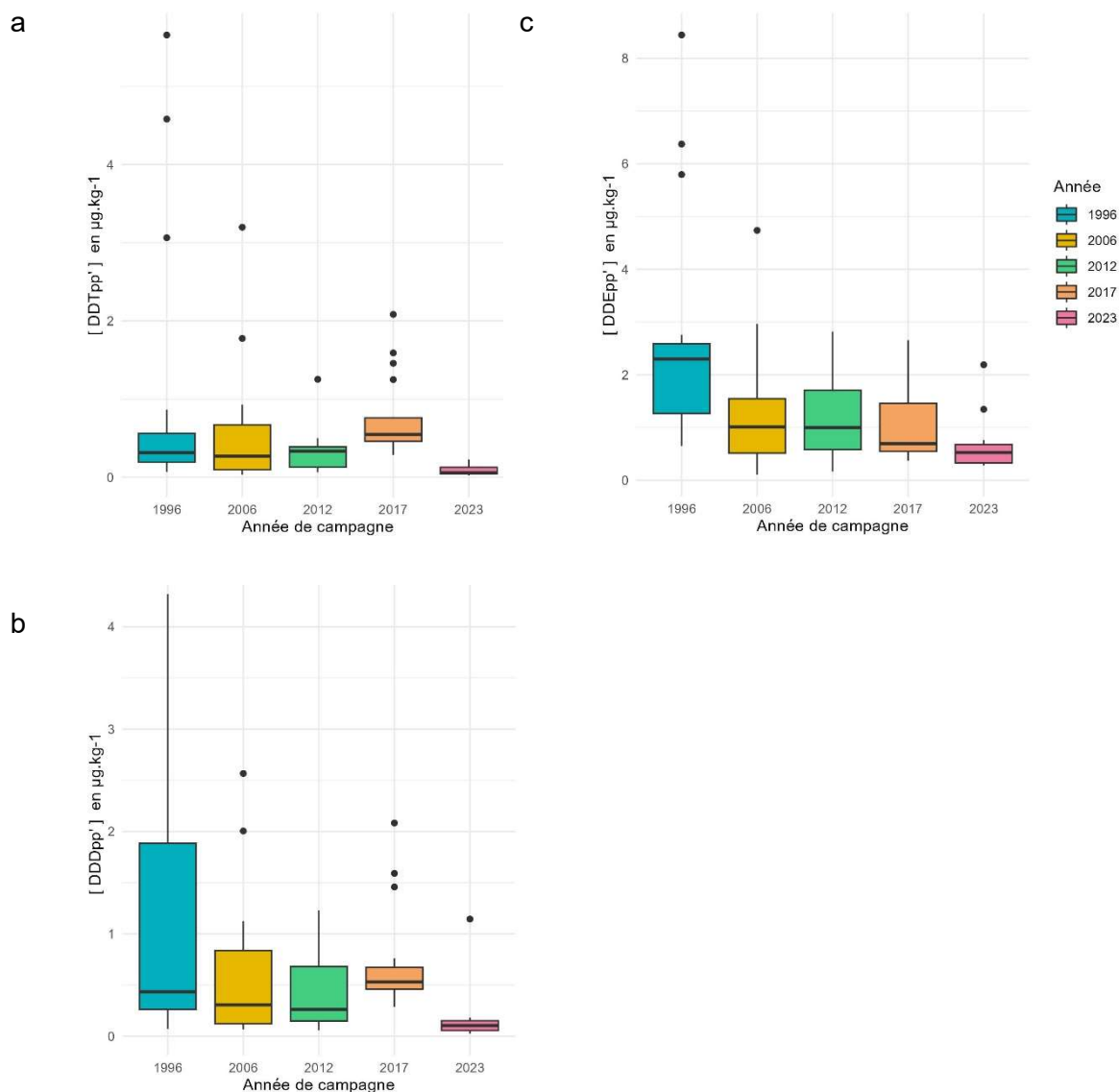


Figure 51 : Distribution des teneurs en pesticides organochlorés historiques (famille du DDT) des échantillons de sédiment des 17 points suivis au cours de chacune des campagnes ROCCHSED sur les lagunes méditerranéennes (1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023). Concentrations rapportées à un sédiment contenant 2.5% de carbone organique.

Pour les différentes formes du DDT, l'apparente augmentation des niveaux dans les échantillons de la campagne 2017 est à relativiser avec une limite de quantification du laboratoire plus élevée que lors des campagnes précédentes et suivante ( $0.1 \mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$  de 1996 à 2012 et en 2023 et  $0.7 \mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$  en 2017). On retiendra donc des graphiques a à c de la Figure 51 (données pour lesquelles on a ramené les concentrations non quantifiées à la limite de quantification) plutôt une évolution vers la baisse des niveaux au cours des 5 campagnes. De plus, c'est la forme DDE qui semble aujourd'hui encore la plus concentrée dans les sédiments, signe qu'aucune utilisation récente n'est à relever pour cet insecticide, et que les apports actuels sont ceux des résidus stockés depuis des décennies dans les sols et les sédiments et qui se dégradent lentement du DDT vers le DDE puis le DDD.

Pour le lindane ( $\gamma\text{HCH}$ ) et son isomère  $\alpha$ , l'évolution des concentrations d'une campagne à l'autre n'est pas perceptible du fait d'une limite de quantification qui a beaucoup varié : de  $0.1 \mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$  en 1996, 2006 et 2012, elle est passée à 0.3 en 2017 puis  $0.7 \mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$  en 2023. Les concentrations mesurées en 2017 et 2023 sont toutes inférieures à cette limite.

#### 4.2.5 Evolution temporelle d'autres molécules analysées dans les sédiments lagunaires

Plusieurs autres familles de contaminants organiques ont été recherchées au cours des différentes campagnes ROCCHSED, sans qu'il soit possible d'étudier leurs évolutions temporelles du fait de protocoles analytiques inadaptés (chlorobenzènes, hexachlorobutadiène, quinoxifène, DEHP) sur une partie ou la totalité des campagnes.

*Ainsi pour les retardateurs de flamme bromés (PBDE)* qui ont été recherchés sur les différentes campagnes ROCCHSED depuis 2006, les performances analytiques des laboratoires qui ont analysé les échantillons de 2006 et 2012, n'ont permis la quantification d'aucun composé de cette famille dans aucun échantillon (limite de quantification comprise entre 1 à  $25 \mu\text{g}.\text{kg}^{-1}$  selon les composés). Les niveaux mesurés à partir de 2017 sont en revanche de l'ordre de  $0.03$  à  $0.6 \mu\text{g}.\text{kg}^{-1}$ .

*Pour les composés du tributyl étain (TBT et ses métabolites DBT et MBT)* qui ont été recherchés sur les différentes campagnes ROCCHSED depuis 2006, les résultats de la campagne 2017 apparus en décalage fort par rapport aux résultats des campagnes antérieures (2006 et 2012) et postérieure (2023) ont été invalidés à l'issue de cette étude (teneurs anormalement faibles). Seuls 5 échantillons de sédiment de 2017 présents dans la banque d'échantillons du ROCCH ont pu faire l'objet d'une nouvelle analyse en 2024, qui a révélé des teneurs plus élevées que précédemment et dans la gamme de celles des campagnes précédentes et postérieure (résultats pris en compte dans cette étude temporelle). D'autre part, les performances analytiques du laboratoire en 2006 et 2012 ne permettaient pas la quantification aussi précise qu'aujourd'hui des organo étains (résultats majoritairement inférieurs à la limite de quantification égale à  $0.6 \mu\text{g}.\text{kg}^{-1}$  en 2006 puis à  $2 \mu\text{g}.\text{kg}^{-1}$  en 2012) (Figure 52).

Au final, on retient sur l'ensemble des campagnes ROCCHSED en lagunes :

- 5 concentrations quantifiées en 2006, dont une valeur élevée en TBT dans l'étang du Prévost ;
- 4 concentrations quantifiées en 2012, toutes dans les étangs corses, dont une valeur très élevée en TBT dans l'étang de Diana (mais pas d'analyse sur le point de l'étang du Prévost centre apparu contaminé en 2006) ;
- 19 concentrations quantifiées en TBT en 2023, dont deux valeurs plus élevées dans l'étang de Thau (qui n'apparaissent pas sur la Figure 52 car non systématiquement suivis sur les 3 campagnes).

La Figure 52 traduit avant tout le gain de sensibilité de la méthode d'analyse en 2023 : la médiane des valeurs en 2006 et 2012 correspond en réalité à la limite de quantification de la méthode puisqu'une faible part des concentrations a été quantifiée.

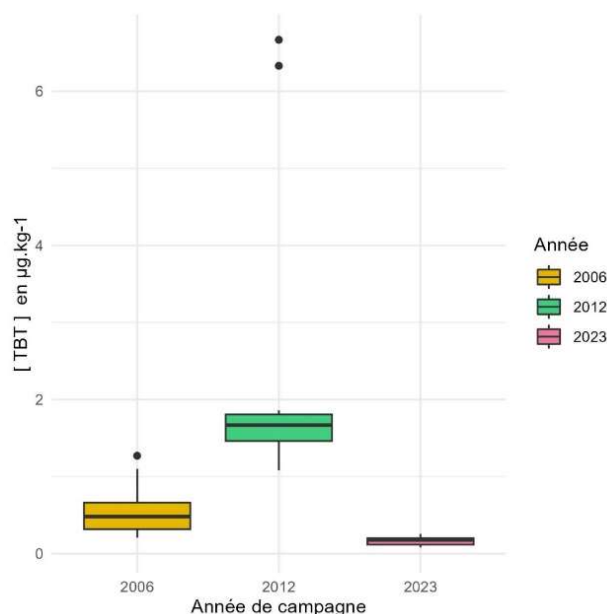


Figure 52 : Distribution des teneurs en tributyl étain (TBT) des échantillons de sédiment des 17 points suivis au cours de chacune des campagnes ROCCHSED sur les lagunes méditerranéennes (2005-06, 2012, et 2023). L'année 2017 qui ne comporte à ce jour que 5 points valides a été écartée de la représentation. Concentrations rapportées à un sédiment contenant 2.5% de carbone organique.

#### 4.2.6 Evolution temporelle de familles de contaminants organiques par point de suivi

Compte-tenu des limites signalées précédemment (limites analytiques notamment) pour plusieurs familles de contaminants organiques, la synthèse des évolutions temporelles dans chaque lagune est présentée (Tableau 15, Figure 52) pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (somme de 9 HAP), les isomères du DDT (somme de 3 isomères), les polychlorobiphényles (somme de 7 congénères) et le TBT pour les échantillons qui ont fait l'objet d'une nouvelle analyse en 2024 (cf réserves évoquées au § 4.2.5).

On retiendra de cette synthèse :

- une amélioration sur de nombreux points de la situation des pesticides organochlorés (DDT) dont les concentrations dépassaient fréquemment la valeur minimale d'effet écotoxicologique en 2006 et 2012 et plus en 2023 : cas de l'étang de Bages, de l'Ayrolle et de Thau. A l'opposé, on détecte une aggravation de la situation dans l'étang de Canet (dépassement de l'ERL en 2023 dans un contexte d'augmentation des concentrations) et dans l'étang du Prévost.
- une amélioration de la situation vis-à-vis de la contamination par les hydrocarbures (HAP) sur les étangs de Thau, La Peyrade, les étangs du complexe palavasien, Berre, Bolmon et Biguglia et une dégradation pour tout ou partie des étangs de l'Ayrolle, Gruissan, Bages, La Palme, Leucate et Canet, ainsi que Palu, dégradation qui n'entraîne pas de dépassements d'ERL pour autant.
- une amélioration de la situation vis-à-vis de la contamination par les polychlorobiphényles (PCB) sur de nombreux points et en particulier pour l'étang du Bolmon dont les concentrations, encore supérieures à la valeur minimale d'effet écotoxicologique, sont en baisse. A l'opposé, une évolution à la hausse a été détectée sur les étangs de Canet, Leucate, Palu et sur la partie sud de l'étang de Bages, toutefois sans dépassements d'ERL.

| Libellé                                  | somme HAP |       |       |  | DDD+DDE+DDT |       |       |       | somme de PCB |       |       |       | TBT   |       |  |
|------------------------------------------|-----------|-------|-------|--|-------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|                                          | 06_12     | 12_17 | 17_23 |  | 96_06       | 06_12 | 12_17 | 17_23 | 96_06        | 06_12 | 12_17 | 17_23 | 12_17 | 17_23 |  |
| Etang de Canet - centre                  | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  |             | ↘ ERL | ↘ ERL | ↗ ERL |              | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Leucate 3 - Sud parcs                    | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  |             |       |       |       | pb lq        | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| LEN 4 - Anse du Paurel (Leucate)         | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  |             | ↘-    |       |       |              | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de La Palme Nord                   | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  |             | ↘-    |       |       | pb lq        | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de Bages - Sud                     | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  | ↗ ERL       | ↘-    |       |       | pb lq        | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de Bages - Ile de L'Aute           | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  |             |       |       |       | pb lq        | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de Bages - Sud Bages               | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  | ↘ ERL       | ↘-    |       |       | pb lq        | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de Bages - La Nautique             | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  | ↘ ERL       | ↘ ERL |       |       | pb lq        | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de l'Ayrolle 1                     | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  | ↘-          | ↘-    |       |       | pb lq        | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de l'Ayrolle - devant Campagnol    | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  | ↘ ERL       | ↘-    |       |       | pb lq        | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de Gruissan                        | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  |             | ↘-    |       |       |              | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Thau - Marseillan 2                      | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  |             | ↘-    |       |       | pb lq        | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Thau - crique de l'Angle 2               | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  | ↗ ERL       | ↘ ERL |       |       |              | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de Lapeyrade - l'îlou              |           |       |       |  |             |       |       |       |              |       |       |       |       |       |  |
| Pointe d'Ingril                          |           |       |       |  |             |       |       |       |              |       |       |       |       |       |  |
| Etang d'Ingril - cordon dunaire          |           |       |       |  |             |       |       |       | pb lq        |       |       |       |       |       |  |
| Etang de Vic 1                           | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  |             | ↘-    |       |       |              | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de L'Arnel 1                       | ↗-        | ↘ ERL | ↗-    |  | ↘ ERL       | ↘ ERL |       |       |              | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang du Prévost - Ouest                 |           |       |       |  |             |       |       |       | pb lq        |       |       |       |       |       |  |
| Etang du Prévost - Est                   | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  | ↘ ERL       | ↗ ERL | ↘ ERL | ↗ ERL |              | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de Pérols Centre 2                 |           | ↘-    | ↗-    |  | ↗ ERL       | ↘ ERL | ↘ ERL |       |              | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de Pérols Est 2                    | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  | ↘ ERL       | ↗ ERL |       |       |              | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de Mauguio/Or - Est piste aéroport | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  |             | ↗ ERL |       |       | pb lq        | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de Mauguio/Or - Pointe du Salaison | ↗-        | ↘-    | ↗-    |  |             |       |       |       | pb lq        | ↘-    | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang de Mauguio/Or - Pte Estenove       |           |       |       |  |             |       |       |       |              |       |       |       |       |       |  |
| Etang de Berre Nord - Face Beau Rivage   |           |       |       |  |             |       |       |       | pb lq        |       | ↘-    | ↘-    |       |       |  |
| Etang du Bolmon - Esteou                 |           |       |       |  |             |       |       |       |              |       |       | ↘ ERL |       |       |  |
| BIN - Biguglia nord                      |           |       |       |  |             |       |       |       | pb lq        |       | ↘-    | ↘-    | ↘-    | ↘-    |  |
| Palu                                     |           |       |       |  |             |       |       |       | pb lq        |       | ↘-    | ↘-    | ↘-    | ↘-    |  |

Tableau 15 : Evolutions temporelles successives des concentrations en hydrocarbures<sup>9</sup>, dérivés du DDT<sup>10</sup>, polychlorobiphényles<sup>11</sup> et tributylétain (TBT) dans les échantillons de sédiment prélevés au cours des campagnes ROCCHSED 1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023, pour les points ayant fait l'objet d'un suivi en 2017 et 2023. L'évolution entre deux campagnes successives est renseignée par une flèche, qui monte ou descend lorsqu'une différence entre les concentrations normalisées est supérieure à 10%. La concentration de la campagne la plus récente est comparée aux valeurs minimales d'effet écotoxicologique (ERL) puis traduite par une couleur :

|       |                                         |
|-------|-----------------------------------------|
| ↘-    | baisse sans dépassement d'ERL           |
| →-    | pas d'évolution, sans dépassement d'ERL |
| ↘ ERL | baisse avec dépassement d'ERL           |
| ↗-    | augmentation sans dépassement d'ERL     |
| ↗ ERL | augmentation avec dépassement d'ERL     |

pb lq : tous les composés sont inférieurs à une limite de quantification (LQ) égale à 0.7 µg.kg<sup>-1</sup> en 2017, ce qui interdit la comparaison avec les niveaux quantifiés de 2023 lorsque la somme est inférieure à 3.LQ<sub>2017</sub>

<sup>9</sup> Somme des 9 HAP suivants : fluoranthène, phénanthrène, indéno 123 cd pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(a)anthracène, benzo(ghi)pérylène, chrysène, anthracène, benzo(a)pyrène

<sup>10</sup> Somme des pp'DDT, pp'DDE, pp'DDD

<sup>11</sup> Somme des 7 congénères de PCB suivants : PCB28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180

## 5 Conclusions & Perspectives

### 5.1 Bilan de la campagne 2023

La campagne ROCCHSED 2023 a permis de mettre à jour le niveau de connaissance de la contamination chimique *-lato sensu-* des sédiments lagunaires méditerranéens français en se basant sur un panel de 18 masses d'eau de transition échantillonnées (réparties sur 22 lagunes – en comptant les points non conventionnés). Environ 140 substances chimiques ont fait l'objet d'une investigation, faisant partie de familles de substances à la fois historiques (métaux, HAP...) et émergentes (PBDE, PFAS...) afin d'obtenir une vision la plus exhaustive possible de la situation. Pour la première fois la recherche de différentes classes de micro-plastiques (en tailles et typologies) a également été rajoutée à cette campagne, permettant d'obtenir un premier diagnostic « macroscopique » de cette problématique sur un sous panel de lagunes. L'ensemble de ces résultats permet de dresser le panorama global des points de vigilance par masse d'eau détaillé dans le Tableau 16.

**L'étang de l'Ayrolle est la seule lagune où aucun point de vigilance n'est à noter en 2023 dans son compartiment sédimentaire, ce qui souligne l'excellente qualité de ses sédiments**, et par extension de ses eaux, vis-à-vis des contaminants dosés (le suivi des micro-plastiques n'y a cependant pas été réalisé). Cela place cette lagune comme une référence possible en matière de qualité du compartiment sédimentaire, vis-à-vis de l'eutrophisation comme des contaminants chimiques.

A l'inverse, plusieurs lagunes ou groupes de lagunes présentent en 2023 des points de vigilance multiples au sein du compartiment sédimentaire, ce qui souligne les importantes pressions anthropiques qui pèsent sur ces écosystèmes. Parmi celles-ci **les lagunes du complexe Or-Palavasiens-Thau dans l'Hérault, le duo Berre-Bolmon dans les Bouches-du-Rhône, l'étang de Canet dans les Pyrénées-Orientales et celui de Biguglia en Corse sont celles où les sédiments sont les plus poly-contaminés** (Tableau 16).

Pour les points et les contaminants pour lesquels on dispose du recul suffisant, **l'évolution temporelle des concentrations sédimentaires depuis presque 30 ans montre une décroissance globale** que le suivi de 2023 confirme dans son ensemble (§4). De nombreuses substances émergentes ne disposent pas du recul temporel suffisant pour évaluer ces tendances et il sera nécessaire de reproduire leur suivi à l'avenir, pour permettre d'évaluer leur dynamique actuelle de contamination. Dans le détail, **certains contaminants montrent néanmoins des tendances à l'augmentation** en lien avec des problématiques probablement lagune-dépendantes. C'est le cas par exemple du cuivre, du mercure, du plomb, du zinc et du nickel qui montrent des tendances à l'augmentation entre 2017 et 2023 respectivement pour 3, 1, 3, 2 et 4 points différents (Tableau 14). Le DDT, pourtant interdit d'usage depuis plus de 50 ans, augmente lui aussi sur 2 points au cours de cette même période (Tableau 15).

En ce qui concerne le suivi des stocks d'azote et de phosphore sédimentaires ainsi que le dénombrement des micro-plastiques dans les sédiments, la campagne 2023, si elle apporte de l'information nouvelle et intéressante sur les niveaux de contamination, ne permet pas de conclure, faute de recul (pour les micro-plastiques) ou d'une intensité d'échantillonnage suffisante (nutriments), à des évolutions temporelles. Une définition des prochains objectifs de suivi sera nécessaire afin d'adapter les futurs plans d'échantillonnage aux objectifs visés (§3.3.4).

Concernant les contaminants chimiques *-sensu stricto-*, à l'issue de l'analyse des résultats de la campagne 2023 et de l'étude des évolutions enregistrées depuis les campagnes antérieures (1996, 2006, 2012 et 2017), les résultats permettent de proposer des révisions pour adapter la stratégie d'échantillonnage future et poursuivre le suivi de la qualité sédimentaire des lagunes.

| ME - lagune           | Surface <sup>12</sup><br>(km <sup>2</sup> ) | Points de vigilance mis en évidence en 2023                                               |
|-----------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| DT01 - Canet          | 6.26                                        | Cu, DDTs, PFAS, PT                                                                        |
| DT02 - Leucate        | 51.09                                       | Ni                                                                                        |
| DT03 - La Palme       | 4.76                                        | Ni, MBT, HCB                                                                              |
| DT04 - Bages          | 37.04                                       | Cu, Ni, V (en 2017, reste élevé en 2023 même si plus « normal », mais pas de seuil), PFAS |
| DT05a - Ayrolle       | 13.20                                       |                                                                                           |
| DT06a - Gruissan      | 1.37                                        | Cu, Ni                                                                                    |
| <i>DT06b - Grazel</i> | 2.30                                        | <i>Cu (détecté également fortement dans les mollusques)</i>                               |
| DT10 - Thau           | 68.36                                       | <b>Hg</b> , Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, HAP, PCB, DDT, TBT, DEHP et NT/PT                         |
| DT11c - La Peyrade    | 22.10                                       | Hg, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, PCB, DEHP et NT                                                   |
| DT11c - Ingril        |                                             | Cu, Hg, Pb, Ni et HBCDD                                                                   |
| DT11c - Vic           |                                             | Cu, Hg, Pb, Ni et PT                                                                      |
| DT11b - Arnel         | 15.56                                       | Cu, Hg, Pb, Ni, Ag, DDTs, DEHP, PFAS et PT                                                |
| DT11b - Prévost       |                                             | Cu, Hg, Pb, Ni, Cr, Ag, DDTs, DEHP, PCB et NT/PT                                          |
| DT11b - Méjean-Pérois |                                             | Tous les métaux (sauf Cd), HAP et PT                                                      |
| DT11a - Or            | 32.61                                       | Cu, Pb, Ni, PFAS et NT/PT                                                                 |
| DT14a - Vaccarès      | 109.49                                      | Ni et PFAS                                                                                |
| DT15a - Berre         | 132.71                                      | Hg, Ni, DDTs, DBT, PCB, DEHP, PFAS et HBCDD                                               |
| DT15a - Bolmon        | 5.65                                        | Tous les métaux ! PCB et DEHP                                                             |
| ET01 - Biguglia       | 13.62                                       | Cu, <b>Cr</b> , <b>Ni</b> (géologie), PFAS, μplastiques et NT                             |
| ET02 - Diana          | 5.45                                        | Cr, <b>Ni</b> (géologie) et μplastiques                                                   |
| ET03 - Urbino         | 7.44                                        | Cr, <b>Ni</b> (géologie), PCB et NT                                                       |
| ET04 - Palu           | 1.06                                        | Ni et NT                                                                                  |

Tableau 16 : Bilan des points de vigilance (dépassements de seuils écotoxicologiques ERL/ERM/EQS... pour les contaminants chimiques ou niveaux particulièrement élevés pour ceux qui n'en disposent pas, ou mauvaise classe d'état pour NT/PT) mis en évidence sur le compartiment sédimentaire des lagunes échantillonnées lors de la campagne ROCCHSED 2023. En gras sont figurés les dépassements d'ERM pour les contaminants chimiques. En italique : point suivi hors convention.

## 5.2 Perspectives : proposition de révision de la stratégie d'échantillonnage

### 5.2.1 Quelles lagunes suivies et à suivre ?

Les premières campagnes d'échantillonnage de sédiment sur certaines lagunes (ex : Leucate) en vue d'investiguer la problématique de la contamination chimique remontent à 1980, avec un réseau dense de points échantillonnés. Ce fut aussi le cas pour investiguer la problématique de l'eutrophisation des lagunes au début des années 2000 dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire. Le maillage des prélèvements était alors très dense pour répondre aux objectifs de l'époque qui étaient d'évaluer finement la variabilité spatiale des concentrations, mettre en évidence des zones sources potentielles et dans le cas de l'eutrophisation, définir un état général de qualité voire un état des stocks sédimentaires. Ce maillage dense nécessitait des moyens humains et financiers importants et n'avait pas vocation à être pérennisé ou systématisé.

Pour la plupart des lagunes suivies aujourd'hui, la première campagne de recherche des contaminants chimiques sédimentaires remonte à 1996, avec un protocole de suivi spatial optimisé et allégé par rapport aux suivis antérieurs. Les lagunes et les points de suivi au sein de ces lagunes avaient alors été sélectionnés sur des critères de représentativité de contextes différents (géographiques / pression – activités, sur la base des pressions

<sup>12</sup> Sources : <https://www.eaurmc.fr/upload/docs/application/pdf/2017-06/2016-hydromorpho-lagunes-identite.pdf>

connues à l'époque qui n'étaient pas complètement exhaustives ou qui ont pu évoluer) et parfois dans un objectif d'évaluation d'un état général ou d'un pire état de contamination de manière à être le plus protecteur possible vis-à-vis de la biodiversité. Le choix de l'un ou l'autre de ces objectifs étant souvent guidé par la faisabilité de la réalisation de ces prélèvements, sans intervention de plongeurs (i-e sur des faibles profondeurs). Pour la campagne suivante en 2006, la DCE a fourni un nouveau cadre qui a conduit à revoir en partie la liste de 1996 pour l'ajuster aux différentes masses d'eau définies par cette directive. Les résultats obtenus ont permis par la suite d'affiner cette sélection, avec l'abandon de certains suivis et l'intégration d'autres lagunes, comme celles de Corse à compter de 2012 (Tableau 12).

En 2023, le choix a été fait de clarifier l'/les objectif(s) affilié(s) à chacun des points suivis, qu'il(s) soit/ent : i) d'évaluer la qualité générale des différentes masses d'eau, ii) de suivre son évolution temporelle, iii) de suivre une pression liée à un rejet particulier (mode « hot spot ») ou encore iv) de suivre l'évolution de la qualité liée à des actions de gestion particulières (mode « suivi restauration »)(Tableau 2). Ce parti pris a ainsi nécessité le rajout de plusieurs points de suivi pour permettre des comparaisons spatiales avec des points « historiques », plusieurs d'entre eux faisant intervenir des plongeurs pour atteindre des zones plus profondes, c'est pourquoi la campagne 2023 a fait l'objet d'un nombre plus important de points suivis, lesquels n'ont pas tous vocation à être pérennisés (ce point sera détaillé ci-après §5.2.2).

**Le bilan réalisé après la campagne ROCCHSED 2023 conforte la liste des lagunes suivies en 2023 comme une liste non exhaustive mais pertinente en vue d'un suivi régulier du compartiment sédimentaire.** Elle présente en effet des états/profils variés allant de faiblement (Ayrolle) à fortement préoccupant eu égard au nombre de contaminations qui dépassent les seuils de référence sur certaines lagunes. La répétition de ces suivis est nécessaire pour dégager des évolutions temporelles robustes (à une échelle « macroscopique », celle des lagunes), que ce soit vis-à-vis des contaminants chimiques mais aussi de l'azote et du phosphore sédimentaires et de la problématique plus récente des micro-plastiques. En particulier les étangs palavasiens, l'étang de Thau et de l'Or qui forment un continuum avec le canal du Rhône à Sète sont soumis à différentes pressions (entraînant de forts niveaux de contamination et la présence de gradients de contamination chimique) qu'il paraît intéressant d'identifier et de suivre. Il est suggéré d'ajouter l'étang du Grec lors de prochains suivis afin de clarifier le rôle de la zone urbaine de Palavas-les-Flots dans les contaminations détectées dans ce continuum, voire même de rajouter des points dans ce continuum si l'objectif de préciser les sources de ces pressions sur les bassins versants devait être envisagé, en lien par exemple avec les problématiques du mercure, du plomb ou des HAP/PCB.

Par ailleurs, il est également proposé d'ajouter le suivi de l'étang du Grazel, en lien avec la détection de forts niveaux de cuivre dans les palourdes et les moules de cet étang (données ROCCH matière-vivante 2020 à 2023). A l'avenir, d'autres lagunes pourraient intégrer ces suivis si des nouvelles données mettent en évidence des problématiques particulières ou si des mesures de gestion (en vue de la restauration) ou à l'inverse des aménagements susceptibles d'impacter les milieux naturels sont réalisés sur les bassins versants.

Inversement, les étangs d'Ayrolle (seule lagune où aucun point de vigilance n'est à noter en 2023 !) de Leucate, la Palme, Gruissan ou de Palu présentent peu de problématique du point de vue de la contamination chimique, ou du point de vue des micro-plastiques (NB : Palu et Gruissan non échantillonnés) (Tableau 16), si bien que leur suivi pourrait éventuellement être adapté.

## **5.2.2 Quels points et paramètres à suivre au sein des lagunes retenues ?**

Les contaminations anthropiques des lagunes affectent ces écosystèmes particuliers et il est important de conserver le suivi du niveau de ces contaminations et leur évolution pour prévenir les désordres les plus importants. Pour les contaminations de nature chimique

(micro et macro-polluants, micro-plastiques) à forte inertie, les évolutions sont détectables à l'échelle pluriannuelle dans le sédiment. A ce jour les presque 140 substances suivies, associées cette année à la recherche de particules de micro-plastiques, paraissent tout à fait pertinentes sur la base des connaissances actuelles, pour évaluer l'impact des activités humaines au sens large sur la qualité sédimentaire des lagunes. Cependant, le rajout de substances non recherchées jusqu'à présent, devra être considéré avant chaque nouvelle campagne de manière à rester connecté aux problématiques émergentes.

Concernant les micro-plastiques, il paraît important de poursuivre les suivis initiés cette année et de les étendre de manière à avoir une vision plus exhaustive de la problématique et de son évolution, qui restera une vision « macroscopique ». L'objectif pourrait être ensuite (dans un deuxième temps, dans le cadre d'une démarche de gestion locale) de se focaliser plus précisément sur les milieux les plus contaminés pour investiguer les sources potentielles grâce à un plan d'échantillonnage plus dense.

Concernant l'azote et le phosphore totaux, la planification future des suivis dépendra également des objectifs souhaités. Si la question de la fréquence d'acquisition des données semble adaptée à la dynamique temporelle de ce compartiment, la question d'une évolution future de la stratégie d'acquisition spatiale doit être posée. Celle-ci dépendra des objectifs de ce suivi :

- Si l'objectif est de mieux estimer les stocks sédimentaires afin d'évaluer le poids du compartiment benthique dans la restauration des milieux lagunaires vis-à-vis de l'eutrophisation, alors la mise en place d'un échantillonnage systématique sur chacune des lagunes (cf campagnes menées dans le cadre du RSL jusqu'en 2014) sera nécessaire,
- Si l'objectif est de détecter des tendances liées aux changements environnementaux naturels ou anthropiques (changement climatique, actions de gestion régionales ou locales...), la stratégie future devra intégrer une réplification des observations aux échelles spatiales adaptées pour suivre ces phénomènes.

Concernant les contaminants chimiques, après examen des résultats de la campagne 2023 (§ 3), des enjeux mis en évidence sur chaque point (Tableau 16), de l'état des connaissances des pressions et sur la base des objectifs actuels, une proposition peut être formulée en vue d'un futur suivi au sein de chaque lagune :

- Etang de Canet : de forts niveaux de cuivre et de métabolites du DDT sont toujours observés. Un seul point de suivi a été réalisé en 2023. Ce point central est à conserver pour suivre l'évolution des niveaux et il pourrait être complété par un ou plusieurs autres points, situés plus proches des exutoires, pour préciser les sources d'apports.
- Etang de Leucate : il n'apparaît pas de différences importantes entre les 3 points suivis en 2023. Le point de l'anse de la Roquette rajouté en 2023 a permis de vérifier l'homogénéité de la lagune. L'absence de problématique chimique, à l'exception du nickel, positionne cette lagune comme l'une des mieux préservées du littoral, et permet d'envisager une adaptation du suivi, par exemple la réduction à deux points de prélèvement compte tenu de la surface de la lagune.
- Etang de La Palme : l'état des herbiers se dégrade depuis plusieurs années et les résultats 2023 mettent en lumière des niveaux d'hexachlorobenzène bien supérieurs à la médiane nationale, dont l'origine reste à déterminer. Il est proposé de conserver le point de suivi, avec a minima l'analyse des pesticides organochlorés. Le rajout de points de suivi supplémentaires pourrait être envisagé si l'objectif d'investiguer les sources de cette contamination est retenu.
- Etang de Bages : on ne retrouve pas en 2023 l'enjeu cadmium identifié précédemment, mais des niveaux forts en PFAS, ainsi qu'en DDT et ses métabolites et en cuivre sur le point proche de la Nautique qui est le plus contaminé. Les résultats obtenus sur les 7 points suivis en 2023 font apparaître 3 zones assez bien séparées au sein de la lagune (nord/centre/sud), avec un

gradient décroissant nord-sud plutôt bien marqué pour les HAP. A noter que le point positionné à la sortie de la canalette (n°10) est globalement moins contaminé que les autres au sein des zones nord et centre de la lagune. Il est donc proposé de conserver a minima 4 points pour le suivi (2 points des campagnes précédentes + le point central rajouté en 2023 de manière à caractériser les 3 zones, et le point de La Nautique comme point de suivi particulier d'un hot spot).

- Etang de l'Ayrolle : la taille de la lagune avait conduit à prévoir 2 points de suivi. Les résultats très homogènes entre les deux points permettent d'envisager de n'en conserver qu'un seul, de préférence celui qui opérationnellement est le plus simple à échantillonner. Par ailleurs, les excellents résultats autant du suivi chimique que de l'azote et du phosphore sédimentaires sur cette lagune confirment la possibilité d'adapter la stratégie de suivi de cette lagune. Cette lagune montre des sédiments extrêmement peu contaminés, représentatifs d'une faible pression anthropique ce qui est rare dans la région, aussi, la conserver dans les futurs suivis nous paraît important, si l'objectif de conserver un panel représentatif des différents états chimiques sédimentaires est retenu.
- Etang de Gruissan : le point rajouté en 2023, plus central, ne présente pas des caractéristiques exploitables (échantillon très grossier) ; il n'y a pas lieu de le reconduire pour des suivis futurs. L'hétérogénéité de la contamination au sein de la lagune n'a donc pas pu être testée de même que la représentativité du point de mesure actuel.
- Etang du Grazel : non prévu au plan d'échantillonnage 2023, il a fait l'objet d'une investigation en parallèle de la campagne ROCCHSED 2023 en lien avec de forts niveaux de cuivre mesurés dans les mollusques, niveaux en voie d'augmentation. Le point échantillonné cette année dans les sédiments n'est pas à proximité d'une source de cuivre particulière. Compte-tenu de cet enjeu, il est proposé de prévoir un plan d'échantillonnage spécifique lors d'une prochaine campagne pour identifier la source du cuivre sur cette lagune.
- Etang de Thau : des points ont été ajoutés en 2023 par rapport aux campagnes précédentes afin de mieux couvrir la diversité des habitats benthiques de l'étang et notamment bien prendre en compte le secteur des parcs conchylicoles et les zones plus profondes. Les 8 points suivis permettent d'identifier des zones sous des influences différentes ainsi qu'un gradient de contamination est-ouest marqué pour de nombreux contaminants comme par exemple pour le plomb (Figure 53). La crique de l'Angle (influence de la Vene), le petit étang (influence conjointe de l'agglomération de Sète et du canal du Rhône à Sète), la zone des tables conchylicole entre Mèze et Bouzigues, et enfin la zone conchylicole de Marseillan et plus largement l'ouest de la lagune semblent toutes assez contrastées. Il est proposé de conserver un minimum de 5 points pour le suivi « régulier » de la lagune (stations 18, 20, 23, 24 et 25) (Figure 53), cependant, la recherche plus fine des sources des fortes contaminations enregistrées sur la station 24 du petit étang nécessiterait de densifier le suivi dans et autour de cette zone.

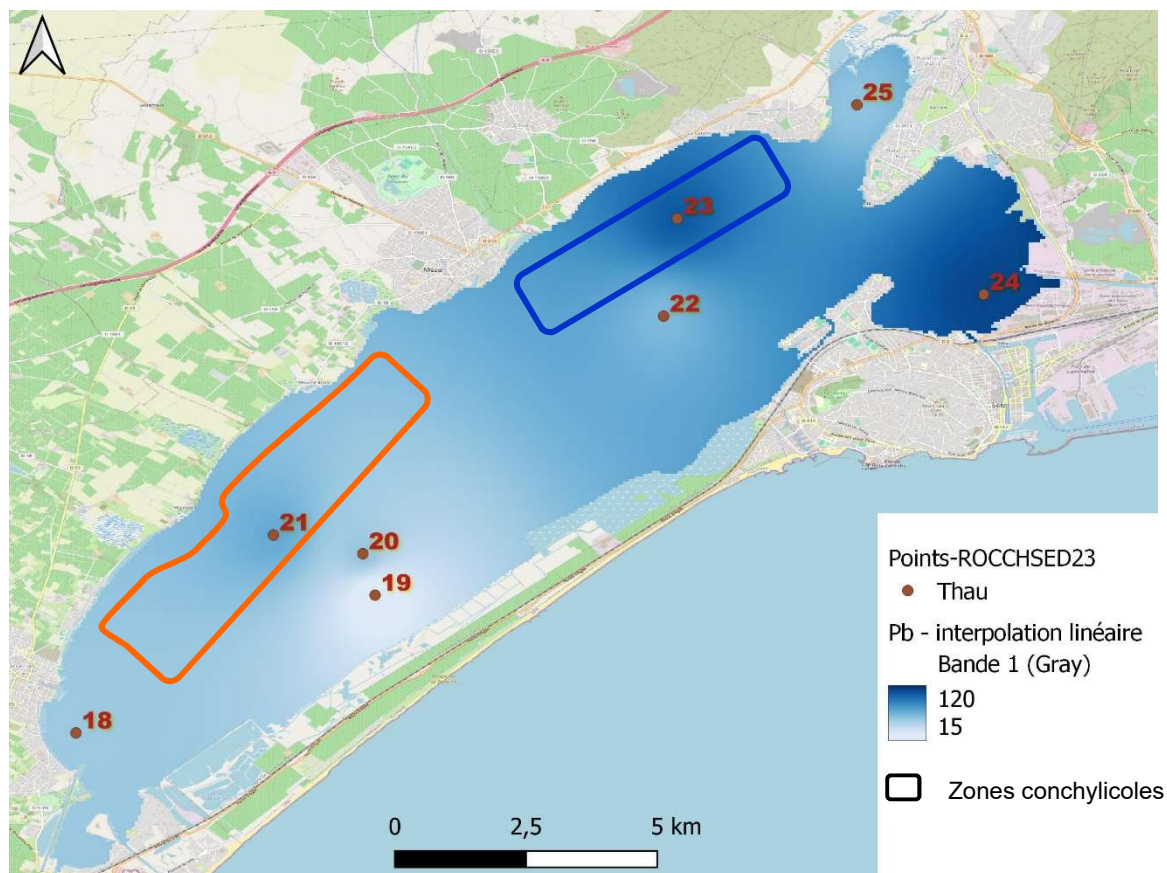


Figure 53 : Carte de l'étang de Thau avec identification des niveaux de pression (ici le plomb en concentrations exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium) interpolés à partir des analyses réalisées sur les 8 points échantillonnés au cours de la campagne ROCCHSED 2023

- Etang de La Peyrade : le deuxième point ajouté en 2023 pour évaluer la variabilité de cette lagune et identifier un point où le sédiment serait moins grossier a montré que les deux points sont peu différents. Pour la suite, il est donc proposé de conserver le point suivi depuis 2017 (La Peyrade - l'îlou) a minima (pour suivi régulier et avec l'objectif de caractériser son évolution temporelle), ou de prévoir un échantillonnage plus dense dans la zone pour tenter de discriminer l'ensemble des sources possibles à l'origine de la forte contamination sédimentaire de cette petite lagune.
- Etang d'Ingril : les deux points suivis présentent des profils assez semblables, avec probablement un effet de dilution perceptible sur le point au sud du cordon dunaire plus proche des entrées maritimes par le grau et qui apparaît donc moins contaminé. Les deux points pourraient être conservés afin de conserver un diagnostic équilibré.
- Etang du Vic : un second point a été rajouté en 2023, pour évaluer la variabilité des niveaux de contamination au sein de la lagune, en particulier avec l'influence du canal du Rhône à Sète. Les deux points présentent des résultats très similaires en 2023 (pour les métaux et les HAP qui ont été dosés sur les 2 points) et il est donc proposé de n'en conserver qu'un pour la suite, en privilégiant le point qui a un historique de suivi.
- Etang de l'Arnel : un second point a été rajouté en 2023, pour évaluer la variabilité des niveaux de contamination au sein de la lagune, en particulier avec l'influence du canal du Rhône à Sète. Les deux points présentent des concentrations similaires pour les métaux et les HAP analysés ; il est donc proposé de n'en retenir qu'un pour les suivis ultérieurs, en privilégiant le point opérationnellement le plus facile d'accès dans cette lagune peu profonde où les proliférations de macro-algues rendent la navigation difficile. On notera par ailleurs que les résultats

d'analyse 2023 ont mis en évidence une contamination par les métabolites du DDT pour cette lagune, contamination qu'il conviendra de suivre.

- Etang du Prévost : les deux points répartis respectivement à l'est et à l'ouest de la lagune présentent des écarts importants de niveaux de contamination. Dans le gradient de contamination détecté dans le continuum des étangs palavasiens, les concentrations mesurées au point Prévost est présentent les valeurs maximales, probablement en lien avec des apports de l'agglomération montpellieraine drainée par le Lez qui se jette en mer à proximité. Compte-tenu des enjeux de restauration de cette lagune (activité conchylicole suspendue du fait de contamination microbiologique), il est proposé de conserver les deux points de suivi afin de mieux documenter l'évolution de la qualité de cette lagune.
- Etang du Grec : l'étang a été suivi une seule année, en 2005. Il est proposé de réactiver à minima ce point dans le contexte du suivi du gradient de contamination des étangs palavasiens pour mieux évaluer la part de Palavas dans les contaminations détectées.
- Etang de Méjean-Pérols : pour chaque contaminant pris séparément, on constate une proximité des résultats alternativement nord-sud (cf HAP points 37-39 et 36-38, Figure 21, Figure 22 et Figure 23) ou est-ouest (éléments-traces métalliques - cf exemple de l'argent Figure 9). Les points situés près du canal du Rhône à Sète (37 et 39) étant plus contaminés en HAPs que les deux autres (plus centraux) et ceux situés à l'ouest de la lagune (36 et 37) étant les plus contaminés en métaux (Ag, Hg, Pb, Zn) que ceux de l'est. Ainsi, en fonction des objectifs des futurs suivis, le choix du nombre et de la position des points échantillonnés sur cette lagune seront particulièrement importants.
- Etang de l'Or : quatre points ont été rajoutés en 2023 dans cette lagune, portant à 8 le nombre de points suivis. A la différence des lagunes du continuum palavasien, l'étang de l'Or semble peu influencé par la qualité des eaux du canal du Rhône à Sète. Les résultats de 2023 montrent pour tous les contaminants suivis des résultats similaires pour les points centraux et un peu plus élevés sur les points extrêmes à l'est ou à l'ouest en fonction des contaminants. Il est donc proposé de ne conserver que 3 points à l'avenir pour décrire l'évolution générale de la qualité de cette lagune, ainsi que le point proche de la piste de l'aéroport pour le suivi spécifique des niveaux de PFAS.
- Etang du Vaccarès : bien qu'occupant une très grande surface, les étangs du delta du Rhône sont en communication les uns avec les autres et les suivis mis en place précédemment dans les sédiments ont été arrêtés parce que redondants et par ailleurs considérés comme trop périphériques et peu représentatifs. En 2023, seuls 2 des 3 points de suivi prévus dans l'étang du Vaccarès ont pu être échantillonnés et les deux points montrent des résultats très similaires, dans les faibles niveaux (métaux) comme dans les forts (PFNA). Seules les problématiques du nickel et des PFAS demeurent dans les sédiments de cette lagune. A l'avenir, si l'objectif est uniquement d'évaluer un état général et une évolution, il est proposé de ne conserver qu'un de ces deux points de suivi, le plus accessible, et de reprogrammer le point de Mornès qui n'a pas pu être échantillonné en 2023, en particulier pour confirmer l'homogénéité de la lagune.
- Etang de Berre : les deux points échantillonnés en 2023 montrent des résultats très contrastés. Si les deux points présentent des niveaux de contamination en éléments traces métalliques assez similaires (à l'exception du Hg), le point central (Berre – station Gipreb) est nettement plus contaminé que le point nord pour la plupart des contaminants organiques recherchés. A minima il est proposé de les conserver pour un suivi futur. Cependant, compte-tenu de la taille de la lagune, il sera sans doute utile de prévoir de densifier plus ou moins le futur suivi en fonction des objectifs retenus. Le point très sud échantillonné en 2017 n'a pas été reconduit du fait d'une granulométrie inadaptée.
- Etang du Bolmon : la question de l'hétérogénéité de cette lagune n'a pas été traitée en 2023 (un seul point de suivi). Elle présente pourtant l'un des

compartiments sédimentaires les plus poly-contaminé du littoral. Compte-tenu des enjeux de restauration, tester l'hétérogénéité de la contamination sédimentaire de cette lagune pourrait être utile à l'avenir,

- Etang de Biguglia : un second point a été rajouté en 2023 au sud de la lagune. Il a permis de mettre en évidence une différence de concentrations entre les deux points pour certains paramètres (métaux et notamment Co ou Mn). Il est proposé de conserver a minima ces deux points pour le suivi de l'évaluation de l'état général et de son évolution, avec une attention particulière pour les niveaux de PFAS mesurés au point sud.
- Etang de Diana : le suivi a été renforcé en 2023, notamment suite aux difficultés rencontrées lors des campagnes précédentes pour trouver des gisements de sédiment suffisamment fin. Les résultats d'analyse des métaux mettent en lumière deux secteurs un peu différents : le cœur de la lagune, du centre au grau / le point est proche de la zone urbanisée (établissements ostréicoles ...). Il est proposé de poursuivre a minima le suivi avec deux points, un dans chaque secteur pressenti. La problématique des micro-plastiques pourrait également y être intéressante à investiguer, compte tenu des premiers résultats obtenus qui placent cette lagune en tête des densités de particules retrouvées. Selon les objectifs visés, une densification des points suivis et/ou un élargissement des analyses réalisées sur chacun pourront être proposés.
- Etang d'Urbino : la stratégie de l'étude 2023 prévoyait un seul point au centre de l'étang mais des problèmes d'analyse ont conduit à refaire l'échantillonnage en 2024, avec deux points pour contrôler les résultats. Les analyses 2024 révèlent un niveau de PCB52 anormalement élevé. Il est proposé de vérifier ce résultat lors d'une prochaine campagne, avec l'analyse des PCB sur les deux points. Pour les autres paramètres pris en compte dans la qualité chimique de la lagune, le point de suivi central semble suffire pour l'évaluation d'un état général et son évolution.
- Etang de Palu : le sédiment de cette lagune suivie par un seul point compte tenu de sa faible superficie, présente peu de points de vigilance du point de vue de la contamination chimique. Il est parmi les sédiments les mieux préservés du littoral méditerranéen français. L'adaptation de sa stratégie d'échantillonnage pourrait donc être envisagée à l'avenir.

Finalement, les conclusions tirées de l'analyse des résultats de 2023 et de l'étude des évolutions temporelles depuis la campagne 1996 nous conduisent à proposer de conserver 38 des 60 points suivis en 2023 pour un suivi futur, de manière à répondre a minima à l'objectif d'évaluer un état général du compartiment sédimentaire et de suivre son évolution temporelle. Il sera cependant nécessaire de rajouter à cette liste, de nouveaux points, en fonction des écosystèmes et des objectifs spécifiques retenus (identification de sources, évaluation des stocks...).

## 6 Tables des illustrations et des tableaux

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Localisation des points échantillonnés par étang lors de la campagne ROCCHSED 2023 (numérotation des stations : cf Tableau 1) .....                                                                                                                                                                                                                              | 16 |
| Figure 2 : Carottier – boîte de type Ekman : a-description du matériel (extrait de Ekman 1911) b- manipulation (après déclenchement) d'un carottier équipé d'un manche (campagne ROCCHSED 2023).....                                                                                                                                                                        | 19 |
| Figure 3 : Utilisation d'un tube en plongée : a- retour du tube fermé à la surface (campagne ROCCHSED 2023) b- schéma du tube ouvert aux deux extrémités .....                                                                                                                                                                                                              | 20 |
| Figure 4 : Schéma d'une carotte vue de dessus. Détail des zones à prélever dans la carotte en fonction des analyses de contaminants chimiques prévues.....                                                                                                                                                                                                                  | 20 |
| Figure 5 : Teneurs en fraction fine (particules sédimentaires de diamètre inférieur à 63 µm) des échantillons de sédiment de la campagne ROCCHSED 2023. La limite en tirets rouges à 20 % matérialise la concentration minimum recommandée pour un échantillon exploitable. Numéros des points de prélèvement : cf tableau 1. ....                                          | 24 |
| Figure 6 : Carte de localisation des échantillons qui ont servi pour le calcul des différentes médianes ; les années des campagnes de prélèvement sont indiquées dans les encadrés. ....                                                                                                                                                                                    | 28 |
| Figure 7 : Cercle des corrélations et graphe des individus de l'ACP réalisée sur les concentrations en métaux normalisées à 5% d'aluminium de la campagne ROCCHSED 2023 (variables supplémentaires : teneur en particules de taille inférieure à 63µm =FRINF063, concentrations en Li, Mn, Fe).....                                                                         | 30 |
| Figure 8 : Cercle des corrélations et graphe des individus de l'ACP les concentrations en métaux normalisées à 5% d'aluminium de la campagne ROCCHSED 2023 sans les étangs de Biguglia, Diana et Urbino (Variables supplémentaires : teneur en particules de taille inférieure à 63µm =FRINF063, concentrations en Li, Mn, Fe) .....                                        | 31 |
| Figure 9 : Teneurs en argent (Ag) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines.....   | 32 |
| Figure 10 : Teneurs en cadmium (Cd) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines..... | 33 |
| Figure 11 : Teneurs en chrome (Cr) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines.....  | 34 |
| Figure 12 : Teneurs en vanadium (V) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines.....                                                            | 34 |
| Figure 13 : Teneurs en cuivre (Cu) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines.....  | 35 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 14 : Teneurs en manganèse (Mn) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines. ....                                                                                                                                                                            | 36 |
| Figure 15 : Teneurs en mercure (Hg) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines. ....                                                                                                                   | 36 |
| Figure 16 : Teneurs en nickel (Ni) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines. ....                                                                                                                    | 37 |
| Figure 17 : Teneurs en plomb (Pb) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines. ....                                                                                                                      | 38 |
| Figure 18 : Teneurs en zinc (Zn) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium, avec indication en pointillés des valeurs de référence écotoxicologiques (ERL et ERM) et de la médiane des concentrations mesurées dans le sédiment sur l'ensemble des côtes françaises métropolitaines. ....                                                                                                                      | 39 |
| Figure 19 : Valeurs de l'indice moyen des quotients de risque pour les éléments trace métalliques (M-ERM-Q) calculé pour chaque échantillon des lagunes méditerranéennes à partir des concentrations en éléments-traces métalliques mesurées au cours de la campagne ROCCHSED 2023. Identification de 3 niveaux de priorités pour l'environnement : basse à moyenne (indice compris entre 0,1 et 0,5), moyenne à haute (indice compris entre 0,5 et 1,5), haute (indice supérieur à 1,5). .... | 40 |
| Figure 20 : Risque écologique RI (Hakanson 1980) calculé à partir des facteurs d'enrichissement et des facteurs de réponse toxique pour le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb et le zinc pour les échantillons de la campagne ROCCHSED 2023 (numéros de station : cf Tableau 1). Le niveau de risque est indiqué en haut (faible, modéré, considérable et très élevé). ....                                                                                        | 41 |
| Figure 21 : Teneurs en HAPs (somme des concentrations individuelles en 24 HAPs) des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en µg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique. ....                                                                                                                                                                                                                                                                     | 44 |
| Figure 22 : Teneurs en fluoranthène des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en µg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique. La valeur écotoxicologique de référence ERL et la médiane nationale sont représentées en lignes pointillées, respectivement rouge et noire. ....                                                                                                                                                                     | 44 |
| Figure 23 : Teneurs en anthracène des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en µg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique. La valeur écotoxicologique de référence ERL et la médiane nationale sont représentées en lignes pointillées, respectivement rouge et noire. ....                                                                                                                                                                       | 45 |
| Figure 24 : Teneurs en PCB 153 des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en µg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique. La valeur écotoxicologique de référence EAC et la médiane nationale sont représentées en lignes pointillées, respectivement rouge et noire. ....                                                                                                                                                                          | 46 |
| Figure 25 : Teneurs en PCB 118 des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en µg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| La valeur écotoxicologique de référence EAC et la médiane nationale sont représentées en lignes pointillées, respectivement rouge et noire. ....                                                                                                                                                                                                                                                                  | 46 |
| Figure 26 : Teneurs en PCB 52 des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en $\mu\text{g/kg}$ de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique. La valeur écotoxicologique de référence EAC et la médiane nationale sont représentées en lignes pointillées, respectivement rouge et noire. ....                                                                                   | 47 |
| Figure 27 : Teneurs en DDTs (somme des concentrations en métabolites DDT, DDD et DDE) des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique. ....                                                                                                                                                                                           | 48 |
| Figure 28: Teneurs en métabolite bêta du lindane (HCHBETA) des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en poids sec. Seules les teneurs supérieures à la limite de quantification ont été représentées sur le graphique. ....                                                                                        | 49 |
| Figure 29: Teneurs en hexachlorobenzène (HCB) des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en poids sec. Seules les teneurs supérieures à la limite de quantification ont été représentées sur le graphique. ....                                                                                                     | 49 |
| Figure 30 : Teneurs en PBDE 153 des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en poids sec. ....                                                                                                                                                                                                                       | 51 |
| Figure 31 : Analyse factorielle des correspondances pour les teneurs en PBDE (concentrations normalisées à 2.5% de carbone organique) des différents points des lagunes échantillonnées au cours de la campagne ROCCHSED 2023. Cercle des corrélations et graphe des individus de l'AFC réalisée. Axe 1 : 67.36% et axe 2 : 17.02%. ....                                                                          | 52 |
| Figure 32 : Niveaux de concentration en HBCDD des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en poids sec. a) isomère alpha b) isomère beta c) isomère gamma. ....                                                                                                                                                      | 53 |
| Figure 33 : Concentrations en composés perfluorés (PFOS, PFOA, PFNA et PFHxS) des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en $\mu\text{g.kg}^{-1}$ ps. ....                                                                                                                                                          | 54 |
| Figure 34 : Concentrations en composés perfluorés (PFDoA) des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en $\mu\text{g.kg}^{-1}$ ps. ....                                                                                                                                                                              | 55 |
| Figure 35 : Analyse factorielle des correspondances pour les teneurs en composés perfluorés (teneurs en PFOS, PFOA, PFNA et PFHxS normalisées à 2.5% de carbone organique) des différents points des lagunes échantillonnées au cours de la campagne ROCCHSED 2023. Cercle des corrélations et graphe des individus de l'AFC réalisée. Axe 1 : 58.23%, axe 2 : 20.34%. ....                                       | 57 |
| Figure 36 : Niveaux de concentration en composés organostanniques des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en $\mu\text{g Sn.kg}^{-1}$ ps. Les données inférieures à la limite de quantification sont annotées « inf ». ....                                                                                      | 58 |
| Figure 37 : Niveaux de concentration en phtalate (DEHP) des points suivis dans les lagunes. Campagne ROCCHSED 2023. Les concentrations sont normalisées à 2.5% du carbone organique et exprimées en poids sec. ....                                                                                                                                                                                               | 59 |
| Figure 38 : Concentrations en phosphore total (PT, $\text{mg.kg}^{-1}$ ps), en azote total (NT, $\text{g.kg}^{-1}$ ps) et teneur en matière organique (MO, % de poids sec) dans les 5 premiers centimètres du sédiment des 58 stations échantillonnées en 2023 dans le cadre du ROCCHSED. Les couleurs des barres correspondent à l'état de chaque paramètre défini à partir des seuils RSL (Ifremer, 2014). .... | 63 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 39 : Concentration en phosphore total (PT, mg.kg <sup>-1</sup> ps), concentration en azote total (NT, g.kg <sup>-1</sup> ps) et teneur en matière organique (MO, % de poids sec) dans les 5 premiers centimètres du sédiment des 25 stations échantillonnées en 2017 (en rouge) et 2023 (en vert).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 67 |
| Figure 40 : Carte des densités de micro-plastiques en items/kg ps de sédiments, des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 68 |
| Figure 41 : Densités de micro-plastiques par station en items/kg p.s. de sédiment (n=3) dans les échantillons de la campagne ROCCHSED 2023. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 69 |
| Figure 42 : Pourcentage de typologie de micro-plastiques dans les sédiments des étangs de méditerranée française (toutes stations confondues). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 69 |
| Figure 43 : Typologie des particules plastiques (en items par kg, n=3) par stations, dans les échantillons de la campagne ROCCHSED 2023.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 70 |
| Figure 44 : Distribution moyenne (en pourcentage) des particules plastiques par classes de taille des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 70 |
| Figure 45 : Rappel des éléments constitutifs d'une distribution de valeurs sous la forme d'une boîte à moustache : les valeurs inférieure et supérieure de la boîte correspondent aux 1 <sup>er</sup> et 3 <sup>ème</sup> quartiles de la série de données (resp. 25 et 75%), la ligne à l'intérieur du rectangle indique la valeur médiane, les moustaches représentent 1.5 fois l'intervalle entre le 1 <sup>er</sup> et le 3 <sup>ème</sup> quartile. Les valeurs sortant de l'intervalle délimité par les extrémités des moustaches sont signalées par un point et sont considérées comme des valeurs extrêmes (outliers)..... | 78 |
| Figure 46 : Distributions en boîte à moustaches des teneurs en argent (a) et en cadmium (b) des échantillons de sédiment des 17 points suivis au cours de chacune des campagnes ROCCHSED sur les lagunes méditerranéennes (1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023). Ligne pointillée : ERL (valeur minimale d'effet écotoxicologique).....                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 78 |
| Figure 47 : Distributions en boîte à moustaches des teneurs en cuivre (a), en mercure (b), en nickel (c) et en plomb (d) des échantillons de sédiment des 17 points suivis au cours de chacune des campagnes ROCCHSED sur les lagunes méditerranéennes (1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023). Ligne pointillée : ERL (valeur minimale d'effet écotoxicologique). ....                                                                                                                                                                                                                                                                | 79 |
| Figure 48 : Analyse en composantes principales (ACP) des concentrations en métaux (Pb, Cd, Hg, Cu, Zn) dans le sédiment (concentrations normalisées à 5% d'aluminium) des 17 points suivis à chaque campagne ROCCHSED 1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023. ...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 80 |
| Figure 49 : Distribution des teneurs en HAP individuels des échantillons de sédiment des 17 points suivis au cours de chacune des campagnes ROCCHSED sur les lagunes méditerranéennes (1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023). Concentrations rapportées à un sédiment contenant 2.5% de carbone organique.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 83 |
| Figure 50 : Distribution des teneurs en PCB individuels des échantillons de sédiment des 17 points suivis au cours de chacune des campagnes ROCCHSED sur les lagunes méditerranéennes (1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023). Concentrations rapportées à un sédiment contenant 2.5% de carbone organique.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 84 |
| Figure 51 : Distribution des teneurs en pesticides organochlorés historiques (famille du DDT) des échantillons de sédiment des 17 points suivis au cours de chacune des campagnes ROCCHSED sur les lagunes méditerranéennes (1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023). Concentrations rapportées à un sédiment contenant 2.5% de carbone organique. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 85 |
| Figure 52 : Distribution des teneurs en tributyl étain (TBT) des échantillons de sédiment des 17 points suivis au cours de chacune des campagnes ROCCHSED sur les lagunes méditerranéennes (2005-06, 2012, et 2023). L'année 2017 qui ne comporte à ce jour que 5 points valides a été écartée de la représentation. Concentrations rapportées à un sédiment contenant 2.5% de carbone organique.....                                                                                                                                                                                                                              | 87 |

Figure 53 : Carte de l'étang de Thau avec identification des niveaux de pression (ici le plomb en concentrations exprimées en mg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 5 % d'aluminium) interpolés à partir des analyses réalisées sur les 8 points échantillonnés au cours de la campagne ROCCHSED 2023 ..... 94

Tableau 1 : Points échantillonnés au cours de la campagne ROCCHSED 2023 – \* : points supplémentaires échantillonnés hors convention (Tableau sur 2 pages). ..... 14

Tableau 2 : Programme prévisionnel d'analyses par point en fonction des objectifs de suivi pour la campagne ROCCHSED 2023. Tous les points font a minima l'objet d'analyse des éléments-traces métalliques , des HAP, de l'azote total et du phosphore total. (Tableau sur 2 pages). ..... 18

Tableau 3: Paramètres généraux mesurés sur les échantillons du ROCCHSED 2023. . 21

Tableau 4 : Contaminants chimiques dosés dans les échantillons de sédiment de la campagne ROCCHSED 2023. .... 22

Tableau 5 : Valeurs de référence pour évaluer la qualité chimique du sédiment : valeurs d'effets écotoxicologiques médianes (ERM) ou minimale (ERL) établies par US-EPA, critère d'évaluation d'effets écotoxicologiques chroniques (EAC) de la convention OSPAR, valeurs guide d'effet du Canadian Environmental Protection act (FEQG), norme de qualité environnementale suédoise (EQS). ..... 26

Tableau 6 : Valeurs des facteurs de réponses toxiques (Tr) (d'après Hakanson 1980) et de fond géochimique (Cb : background Concentration) pour différents métaux. .... 27

Tableau 7 : Interprétation de l'indice de risque écologie RI selon la classification de Hakanson (1980). ..... 27

Tableau 8 : Bilan de la contamination métallique de chaque lagune et des dépassements des seuils d'effet écotoxicologiques médian (ERM) et minimal (ERL), lors de la campagne ROCCHSED 2023. .... 42

Tableau 9 : Teneurs en PCB52 (en µg/kg sédiment sec) mesurées dans le sédiment, sur deux points de l'étang d'Urbino, au cours des trois dernières campagnes. Concentration normalisée à 2.5% de carbone organique. .... 47

Tableau 10 : Bilan de la contamination organique et des dépassements des seuils d'effet écotoxicologique minimal (ERL) ou de la norme de qualité environnementale (EQS) pour les points échantillonnés lors de la campagne ROCCHSED 2023. .... 61

Tableau 11 : Grille de diagnostic pour l'azote total (NT), le phosphore total (PT) et la matière organique (MO) dans les sédiments (Ifremer, 2014). PS = Poids Sec ..... 62

Tableau 12 : Points échantillonnés au cours de la campagne ROCCHSED 2023, retenus pour l'étude de l'évolution temporelle de la contamination chimique des lagunes méditerranéennes et historique de leurs prélèvements lors des campagnes précédentes du ROCCHSED. .... 76

Tableau 13 : Contaminants retenus pour l'étude de l'évolution temporelle de la contamination chimique des lagunes méditerranéennes et historique de leurs recherches dans les échantillons de sédiment des 5 campagnes ROCCHSED 1996, 2005-2006, 2012, 2017 et 2023. .... 77

Tableau 14 : Evolutions temporelles successives des concentrations en métaux dans les échantillons de sédiment prélevés au cours des campagnes ROCCHSED 1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023, pour les points sélectionnés pour l'étude du suivi temporel. L'évolution entre deux campagnes successives est renseignée par une flèche, qui monte ou descend lorsqu'une différence entre les concentrations normalisées est supérieure à 10%. La concentration de la campagne la plus récente est comparée aux valeurs seuil minimale (ERL) ou médiane (ERM) écotoxicologique puis traduite par une couleur : ..... 82

Tableau 15 : Evolutions temporelles successives des concentrations en hydrocarbures, dérivés du DDT, polychlorobiphényles et tributylétain (TBT) dans les échantillons de

sédiment prélevés au cours des campagnes ROCCHSED 1996, 2005-06, 2012, 2017 et 2023, pour les points ayant fait l'objet d'un suivi en 2017 et 2023. L'évolution entre deux campagnes successives est renseignée par une flèche, qui monte ou descend lorsqu'une différence entre les concentrations normalisées est supérieure à 10%. La concentration de la campagne la plus récente est comparée aux valeurs minimales d'effet écotoxicologique (ERL) puis traduite par une couleur :..... 88

Tableau 16 : Bilan des points de vigilance (dépassements de seuils écotoxicologiques ERL/ERM/EQS... pour les contaminants chimiques ou niveaux particulièrement élevés pour ceux qui n'en disposent pas, ou mauvaise classe d'état pour NT/PT) mis en évidence sur le compartiment sédimentaire des lagunes échantillonnées lors de la campagne ROCCHSED 2023. En gras sont figurés les dépassements d'ERM pour les contaminants chimiques. En italique : point suivi hors convention..... 90

## 7 Bibliographie

- Andral B., Tomasino C., 2007. RINBIO. Evaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2006. Rapport Ifremer RST.DOP/LER-PAC/07-24. 104p.
- Arthur, C., Baker, J.E., Bamford, H., 2009. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris, September 9-11, 2008, University of Washington Tacoma, Tacoma, WA, USA - :2509, 2009. National Ocean Service (NOS). <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/2509>.
- Bergmann, M., Mützel, S., Primpke, S., Tekman, M.B., Trachsel, J., Gerdt, G., 2019. White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Science Advances* 5, eaax1157. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax1157>
- Castaigns J., Dezileau L., Fiandrino A., Verney R., 2011. Evolution morphologique récente d'un complexe lagunaire méditerranéen : le système des étangs Palavasiens (France). *Revue Paralia*, Vol. 4, pp 7.1–7.12. <https://doi.org/10.5150/revue-paralia.2011.007>
- Chiffolleau J.-F., Auger D., Boutier B., Rozuel E., Truquet I., 2003. Dosage de certains métaux dans les sédiments et la matière en suspension par absorption atomique. Quae Ed. 45p. ISSN 1637-1844, ISBN 978-2-84433-122-9. <https://www.quae.com/produit/330/9782844331229/dosage-de-certains-metaux-dans-les-sediments-et-la-matiere-en-suspension-par-absorption-atomique>
- Cimiterra N., Derolez V., Ouisse V., 2022. Diagnostic du compartiment macrophyte dans 17 masses d'eau de transition lagunaires sur la période du plan de gestion 2016-2021. ODE/UL/LER/LR. <https://doi.org/10.13155/93222>
- Claisse D., Aranda A., Auger D., 1991. La contamination par le cadmium des poissons et crustacés de l'étang de Bages-Sigean. Ref. DRO - 91 - 02 - MR. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00016/12698/>
- Claisse D., Boutier B., Aranda A., 1990. La contamination de l'étang de Bages-Sigean par le cadmium - Première évaluation. Ref. DRO - 90 - 07 - MR. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00016/12696/>
- De Haan, W.P., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., 2019. Floating microplastics and aggregate formation in the Western Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 140, 523–535.
- Derolez V., Bec B., Munaron D., Fiandrino A., ..., and Malet N., 2019. Recovery trajectories following the reduction of urban nutrient inputs along the eutrophication gradient in French Mediterranean lagoons. *Ocean & Coastal Management*, 171, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.01.012>
- Derolez V., Bec B., Cimiterra N., Munaron D., Foucault E., Messiaen G., Hatey E., Malet N., 2023. OBSLAG 2022 - volet eutrophisation. Etat de la colonne d'eau et du phytoplancton des lagunes méditerranéennes (2017-2022). Indicateurs de tendance et de confiance. ODE/UL/LER-LR/23.07. <https://doi.org/10.13155/95650>
- Ekman S., 1911. Neue Apparate zur qualitativen und quantitativen Erforschung der Bodenfauna der Seen. *Int. Rev. Oh Hydrobio.* 3 (553-561).
- Essel, R., Engel, L. and Carus, M., 2015. Sources of microplastics relevant to marine protection in Germany. Nova-Institute GmbH, Hürth, Germany, 48pp. ISSN 1862-4804
- Gago, J., Carretero, O., Filgueiras, A.V., Vinas, L., 2018. Synthetic microfibers in the marine environment: a review on their occurrence in seawater and sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 127, 365–376.
- Garcés-Ordóñez, O., Saldarriaga-Vélez, J.F., Espinosa-Díaz, L.F., Canals, M., Sánchez-Vidal, A., Thiel, M., 2022. A systematic review on microplastic pollution in water,

- sediments, and organisms from 50 coastal lagoons across the globe. *Environmental Pollution* 315, 120366.
- Gérigny O., Souza M., Galgani F., 2021. Micro-plastiques dans les sédiments des campagnes ROCCHSED 2020-21. Oral com. à l'Estival ROCCH 14-15 oct.21. <https://ccem.ifremer.fr/content/download/155681/file/Estival%20ROCCH%20O.%20GERIGNY.pdf>
- Gerigny, O., Blanco, G., Lips, U., Buhhalko, N., Chouteau, L., Georges, E., Meyers, N., Vanavermaete, D., Galgani, F., Ourgaud, M., Papillon, L., Sempéré, R., De Witte, B., 2024. Comparative analysis of microplastics detection methods applied to marine sediments: A case study in the Bay of Marseille. *Marine Pollution Bulletin* 207, 116787.
- Giani, D., Baini, M., Galli, M., Casini, S., Fossi, M.C., 2019. Microplastics occurrence in edible fish species (*Mullus barbatus* and *Merluccius merluccius*) collected in three different geographical sub-areas of the Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 140, 129–137.
- Grouhel A., Chiffolleau J.-F., Crochet S., Ouisse V., Galgani F., Munaron D., 2018. Contamination chimique des sédiments des lagunes méditerranéennes françaises. Bilan de la Campagne ROCCHSED 2017. Ref. RST-RBE-BE-2018-01. Ifremer.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res.* 14, 975–1001.
- Harris, P.T., 2020. The fate of microplastic in marine sedimentary environments: a review and synthesis. *Mar. Pollut. Bull.* 158, 111398
- Herlory O., Briand J. M., Bouchoucha M., Derolez V., Munaron D., Cimiterra N., Tomasino C., Gonzalez J.-L., Giraud A., Boissery P., 2022. Directive Cadre sur l'Eau. Bassin Rhône Méditerranée Corse - Année 2021. Rapport Ifremer RST.ODE/UL/LER-PAC/22-11. 89p.
- Herlory O., J. Briand M., Munaron D., Boissery P., Giraud A., Marchand P., Bouchoucha M., 2024. Perfluoroalkyl substances (PFAS) occurrence, concentrations and spatial distribution along the French Mediterranean coast and lagoons, based on active biomonitoring. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 202, 116419. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116419>
- Ifremer, 2014. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon. Bilan des résultats 2013. RST/LER/LR/14.07. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00210/32154/>
- Ineris portail substances <https://substances.ineris.fr/>
- Kushwaha, M., Shankar, S., Goel, D., Singh, S., Rahul, J., Rachna, K., Singh, J., 2024. Microplastics pollution in the marine environment: A review of sources, impacts and mitigation. *Mar Pollut Bull* 209, 117109.
- Lahondère D., Cagnard F., Maton D., Wille G., Lahfid A., 2013. Reconnaissance des zones naturelles amiantifères sur huit communes de la région de Bastia (Haute-Corse). Rapport final, BRGM/RP-62198-FR
- Le Fur I., 2018. Rôle des macrophytes dans la restauration des milieux lagunaires : successions écologiques. Thèse de l'Université de Montpellier. 210p
- Long, E. R., Macdonald, D. D., Smith, S. L. & Calder, F. D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ. Manage.* 19, 81–97. <https://doi.org/10.1007/BF02472006>
- Long, E.R., MacDonald, D.D., Severn, C.G. & Hong C.B., 2000. Classifying probabilities of acute toxicity in marine sediments with empirically derived sediment quality guidelines. *Environ. Toxicol. Chem.*, 19, pp. 2598-2601. <https://doi.org/10.1002/etc.5620191028>
- Munaron D., Gianaroli C., Cimiterra N., Derolez V., Ouisse V., Giraud A., 2022. OBSLAG - Pesticides. Bilan 2020-2021 du suivi des lagunes méditerranéennes. Rapport de

- la Convention AERMC-Ifrermer 2020, n° ODE/UL/LER-LR/22.12, aout2022. 90p.  
<https://archimer.ifremer.fr/doc/00795/90672/>
- Munaron D., Mériçot B., Derolez V., Tapie N., Budzinski H., Fiandrino A., 2023. Evaluating pesticide mixture risks in French Mediterranean coastal lagoons waters. *Sc. of The Total Environment*, 867, 161303. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161303>
- Munsch C., Aminot Y., Singh R., Pollono C., Bely N., Héas-Moisin K., Olivier N., 2022. Veille sur les nouveaux polluants organiques persistants dans les mollusques marins – VEILLE-POP. Rapport de contrat R&D OFB.21.453, 78 pages.
- Newton A., C. Brito A., D. Icely J., Derolez V., ..., and Khokhlov V., 2018. Assessing, quantifying and valuing the ecosystem services of coastal lagoons. *Journal for Nature Conservation*, 44, 50-65, <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.02.009>.
- OFB. Portail technique, le site pour les professionnels de la biodiversité. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/330>
- OSPAR, 2021. Hazardous Substances and Eutrophication Series. Updated audit trail of OSPAR Environmental Assessment Criteria (EAC) and other assessment criteria used to distinguish above and below thresholds. <https://www.ospar.org/documents?v=46271>
- OSPAR, 2020. Background document for Canadian Federal Environmental Quality Guidelines (FEQGs) for Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in sediment and biota <https://www.ospar.org/documents?v=42746>
- Ouisse V., Fiandrino A., de Wit R., Giraud A., Malet N., 2014. DEvenir du Phosphore et de l'Azote dans un contexte de Restauration des milieux lagunaires méditerranéens - DEPART - R.INT.ODE/UL/LER-LR 2014-14-22
- Ouisse V., Fiandrino A., de Wit R., Malet N., 2013. Restauration des écosystèmes lagunaires : évaluation du rôle du sédiment et des herbiers à phanérogames. RST/LERLR 13-09. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00166/27774/>
- Ouisse V., Fiandrino A., Giraud A., 2020. Expertise sur les stocks sédimentaires en milieu lagunaire. Rapport Final. 33p + Annexes
- Pôle-Relais Lagunes méditerranéennes, <https://pole-lagunes.org/>
- Rudnick R. L. & Gao S., 2003. Composition of the Continental Crust. in *Treatise on Geochemistry* 1–64 (Elsevier).
- Ter Halle, A., Ladirat, L., Martignac, M., Mingotaud, A.F., Boyron, O., Perez, E., 2017. To what extent are microplastics from the open ocean weathered? *Environ. Pollut.* 227, 167–174.
- Thushari, G.G.N., Senevirathna, J.D.M., 2020. Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon* 6, e04709
- Tronczynski J., Tixier C., Leaute F., 2008. Contaminants organiques persistants dans les sédiments de l'étang de Thau : bilan, historique et comportement. Ref. R.INT.DOPL/BE\_LBCO/Nantes/08 - 04.
- UNEP, 2005. Methods for sediment sampling and analysis. Mediterranean Action Plan Review meeting of MED PL – Phase III Monitoring Activities. UNEP(DEC)/MED WG.282/Inf.5. Palermo (Sicily) Italy 12 – 15 december, 2005.
- Veiga, J.M., Fleet, D., Kinsey, S., Nilsson, P., Vlachogianni, T., Werner, S., Galgani, F., Thompson, R.C., Dagevos, J., Gago, J., Sobral, P. and Cronin, R.; 2016; Identifying Sources of Marine Litter. MSFD GES TG Marine Litter Thematic Report; JRC Technical Report; EUR 28309; <https://doi.org/10.2788/018068>
- Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A., Da Ros, L., 2013. Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 130, 54-61.

## 8 Annexes :

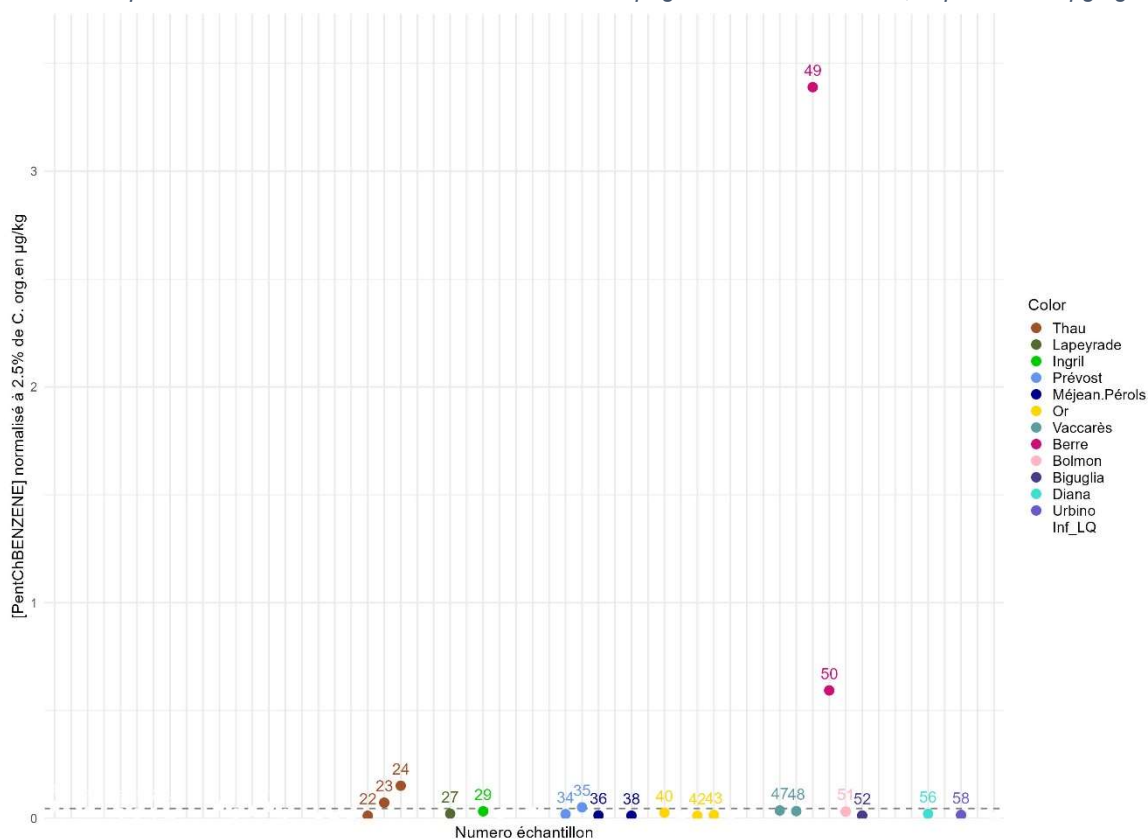
### 8.1 Annexe 1 : Compléments concernant les teneurs en pentachlorobenzène, HAP et PBDE par point pour la campagne ROCCHSED 2023

Pour les graphes de cette annexe, la légende des couleurs utilisées est la suivante :

- Canet
- Leucate
- La.Palme
- Bages
- Ayrolle
- Gruissan
- Thau
- Lapeyrade
- Ingril
- Vic
- Amel
- Prévost
- Méjean.Pérois
- Or
- Vaccarès
- Berre
- Bolmon
- Biguglia
- Diana
- Urbino
- Palu

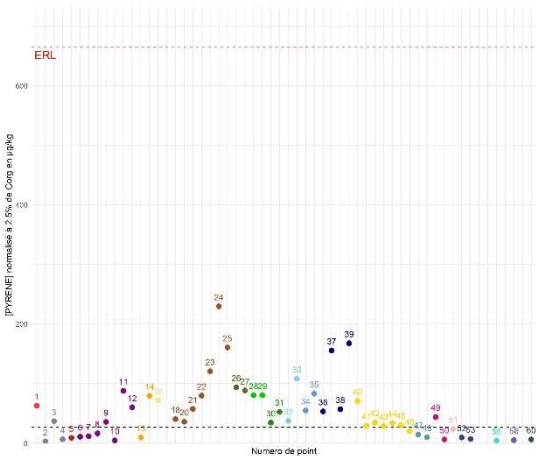
#### Pentachlorobenzène

Teneurs en pentachlorobenzène des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en  $\mu\text{g/kg}$  de

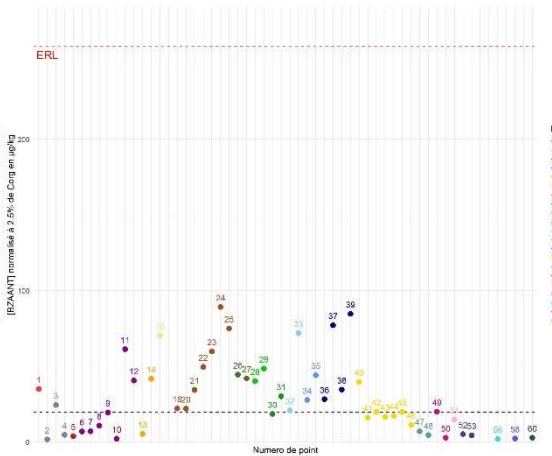


pois sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique et comparées à une valeur de référence (médiane nationale – cf Tableau 5). Seules les teneurs supérieures à la limite de quantification ont été représentées sur le graphique.

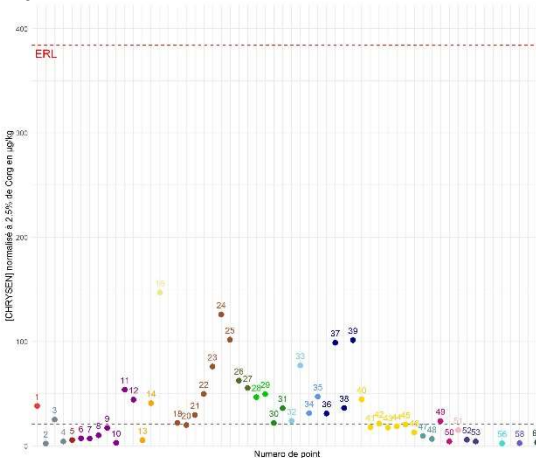
HAP



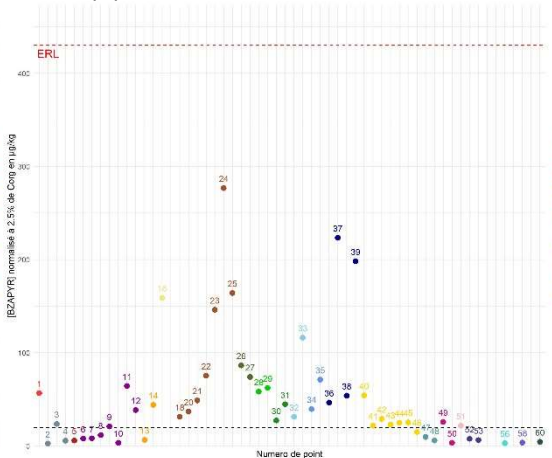
Pyrène



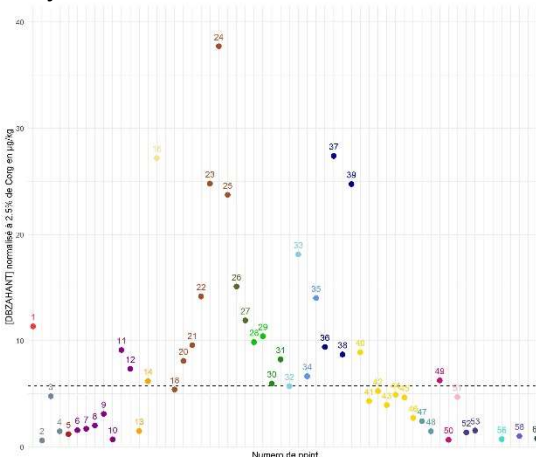
benzo(a)anthracène



chrysène

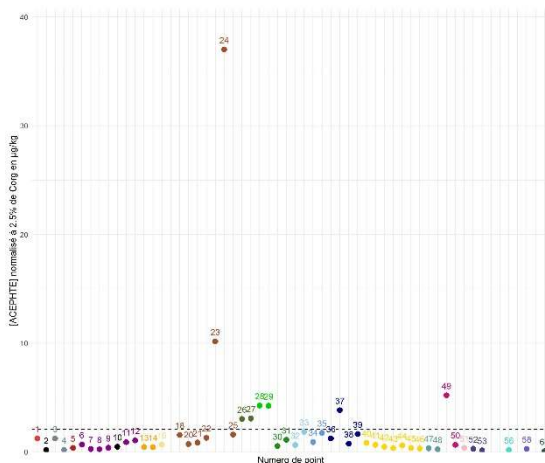


benzo(a)pyrène

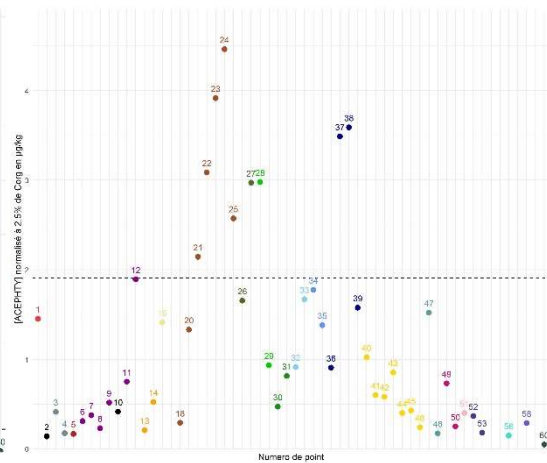


dibenzo(ah)anthracène

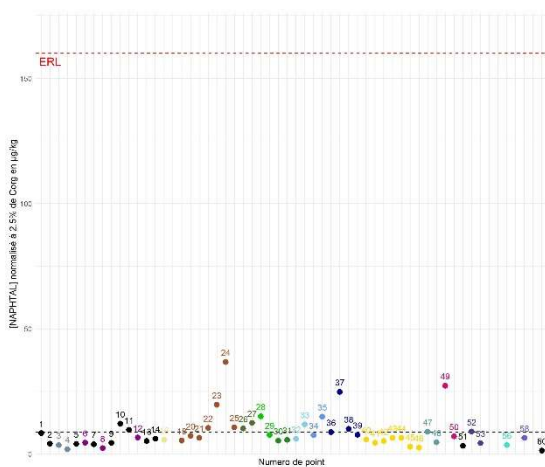
Teneurs en HAP de haut poids moléculaire des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en µg/kg de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique et comparées à une valeur de référence (médiane nationale ou valeur minimale d'effet écotoxicologique ERL – cf Tableau 5)



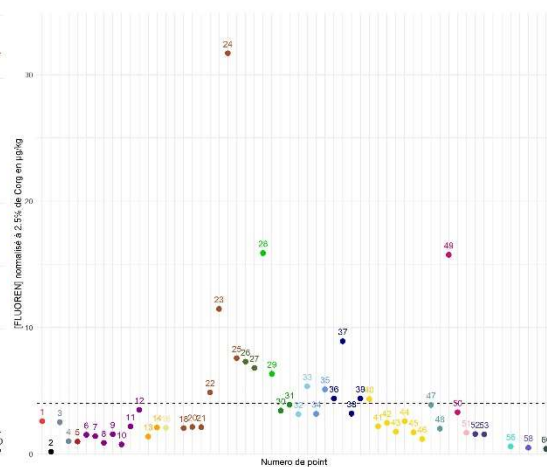
acénaphthène



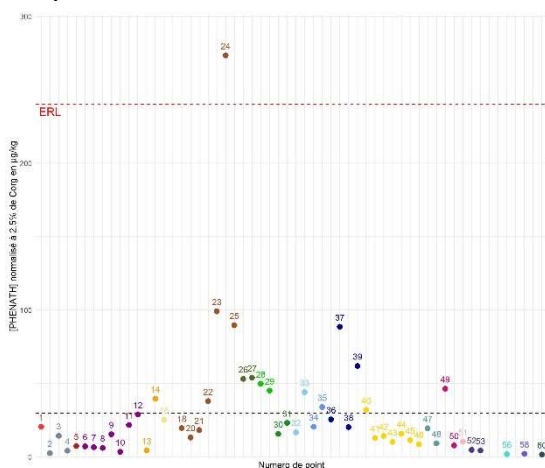
acénaphthylène



naphtalène



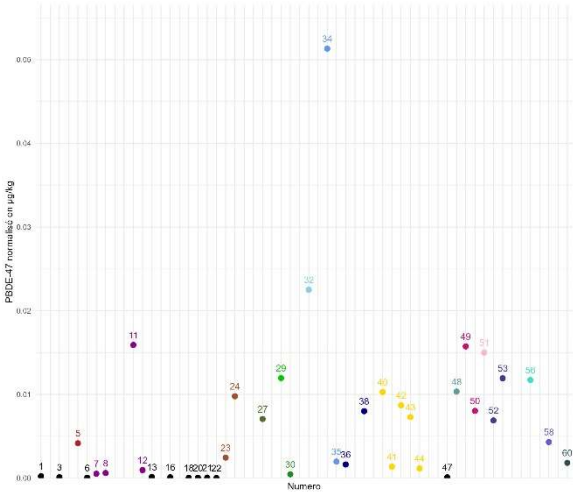
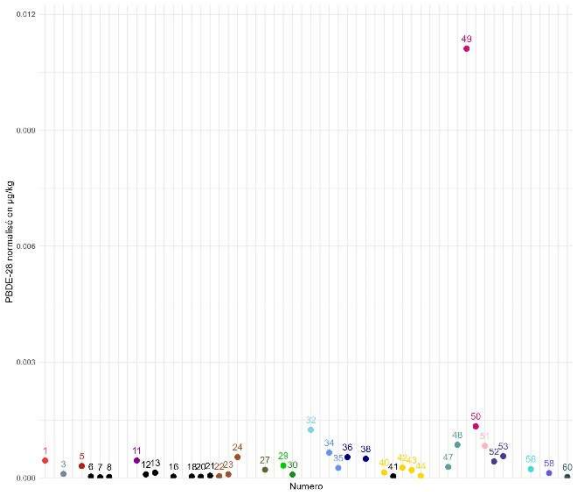
fluorène



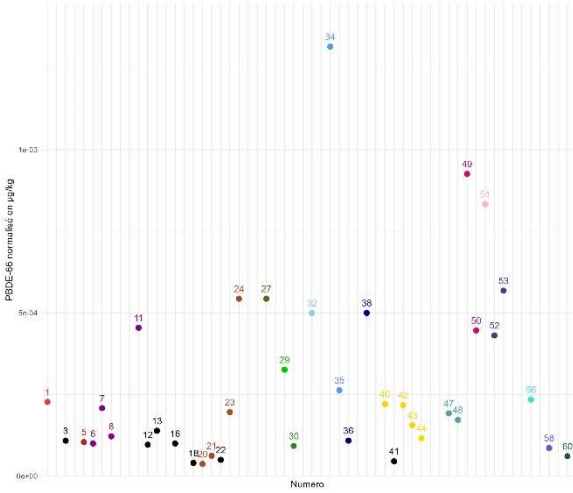
phénanthrène

Teneurs en HAP légers des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en  $\mu\text{g/kg}$  de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique et comparées à une valeur de référence (médiane nationale ou valeur minimale d'effet écotoxicologique ERL – cf Tableau 5)

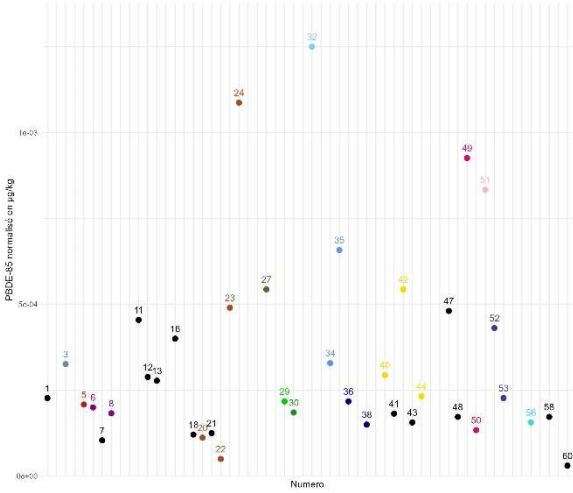
PBDE



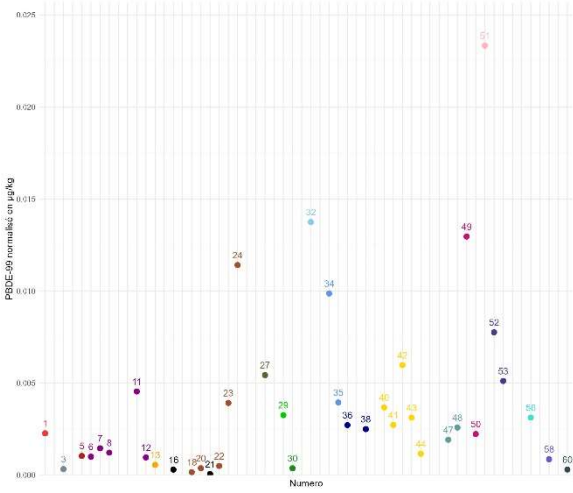
BDE-28



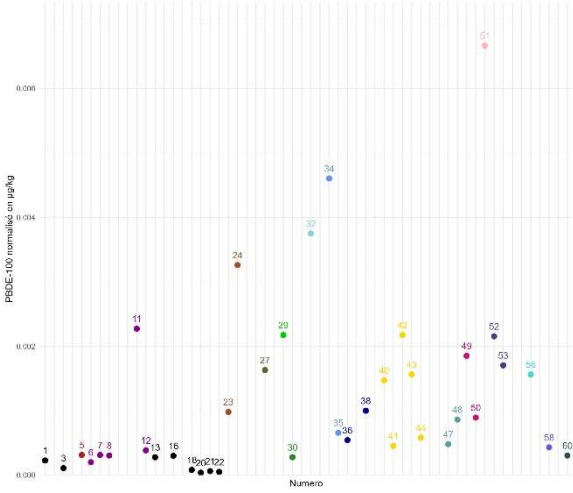
BDE-47



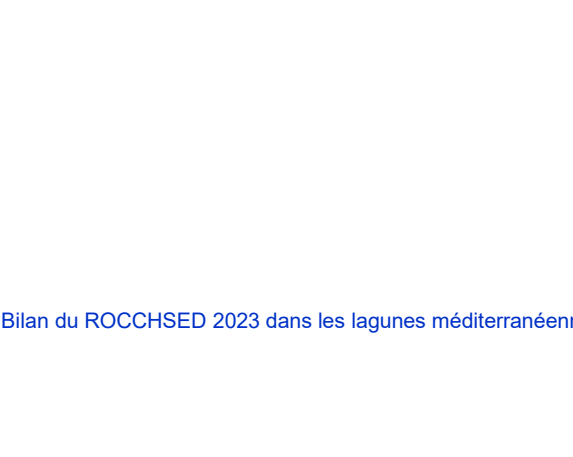
BDE-66



BDE-85

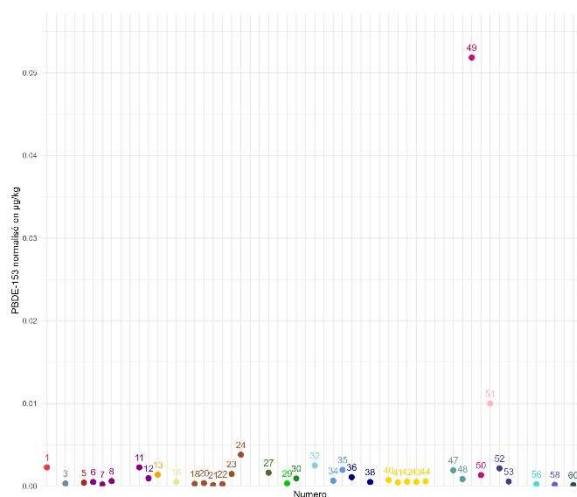


BDE-99

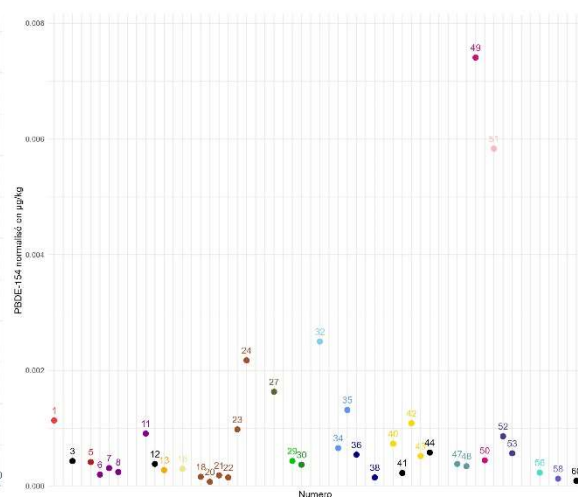


BDE-100

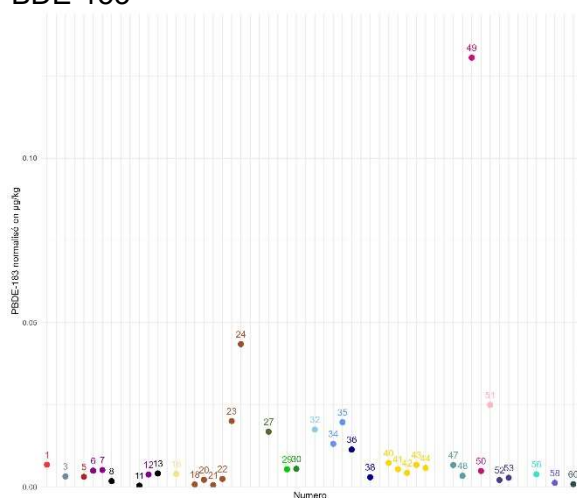




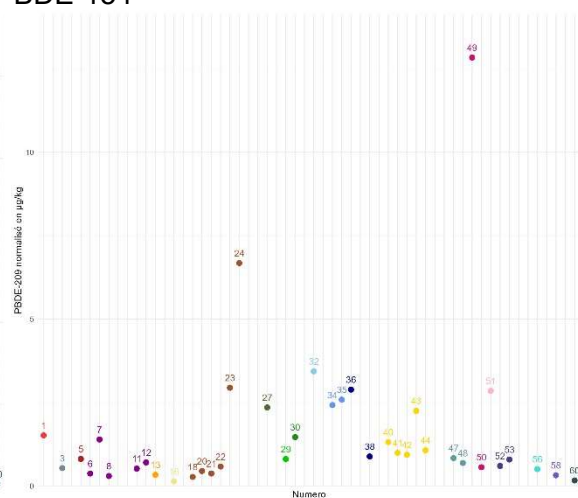
BDE-153



BDE-154



BDE-183



BDE-209

Teneurs en PBDE des échantillons de la campagne ROCCHSED 2023, exprimées en  $\mu\text{g/kg}$  de poids sec rapportées à un sédiment à 2.5 % de carbone organique et comparées à une valeur guide d'effet du Canadian Environmental Protection act (FEQG – cf Tableau 5).. Points noirs : < LOQ

## 8.2 Annexe 2 : Origine et usages des principaux métaux recherchés

### **Cadmium (Cd)**

Le cadmium est un élément relativement rare et n'existe pas naturellement à l'état natif. Il est présent dans la croûte terrestre à des concentrations d'environ un à deux ppm, où il est souvent associé au zinc et au plomb. Il est obtenu comme sous-produit de raffinage du plomb, du zinc et du cuivre. Le cadmium retrouvé dans l'eau est issu de l'érosion des sols, ou d'activités anthropiques comme les décharges industrielles.

Les principales utilisations du cadmium sont la fabrication des accumulateurs électriques, la production de pigments colorés surtout destinés aux matières plastiques et les traitements de surface (cadmiage). A noter que les pigments cadmiés sont désormais interdits dans les plastiques alimentaires.

Le renforcement des réglementations de l'usage du cadmium et l'arrêt de certaines activités notoirement polluantes se sont traduits par une baisse générale des niveaux de présence observés.

### **Mercure (Hg)**

Le mercure élémentaire est un métal liquide à température ambiante. Il intervient au cours de plusieurs types de procédés industriels (peintures, batteries, industries chimiques, etc...) et on le retrouve aussi dans les amalgames dentaires ainsi qu'en faible quantité dans les ampoules à économie d'énergie. La principale source dans l'environnement provient du dégazage de l'écorce terrestre. Les rejets anthropogéniques sont principalement dus à l'exploitation des minerais (mines de plomb et de zinc), à la combustion des produits fossiles (charbon - fioul), aux rejets industriels (industrie du chlore et de la soude...) et à l'incinération de déchets.

Du fait de sa très forte toxicité, il est soumis à de nombreuses réglementations d'utilisation et de rejet.

### **Plomb (Pb)**

Le plomb est un élément naturel, présent dans la croûte terrestre et dans tous les compartiments de la biosphère, rarement sous forme libre. Il existe majoritairement sous forme inorganique. Il est principalement utilisé dans les batteries automobiles, mais également dans les pigments, les munitions, les alliages, l'enrobage de câbles, la protection contre les rayonnements (feuille de plomb), la soudure... et anciennement dans les carburants et les peintures.

Les rejets atmosphériques sont principalement anthropiques, ils proviennent d'abord des industries d'extraction, de première et deuxième fusion du plomb.

Les composés du plomb sont généralement classés reprotoxiques, nocifs par inhalation et dangereux pour l'environnement (Règlement CE n° 1272/2008).

### **Zinc (Zn)**

Le zinc est présent dans l'écorce terrestre principalement sous forme de sulfure (blende). Le zinc provient également des minerais de plomb dans lesquels il est toujours associé au cadmium.

Le zinc a des usages voisins de ceux du cadmium (protection des métaux contre la corrosion) et entre dans la composition de divers alliages (laiton, bronze ...) utilisés dans la construction. Il est utilisé également comme intermédiaire de fabrication ou

réactif en chimie et dans l'industrie pharmaceutique. Il est peu toxique pour l'homme mais peut perturber la croissance des larves d'huîtres. Les sources de zinc dans les milieux aquatiques peuvent être industrielles urbaines et domestiques, mais également agricole car il est présent en quantités significatives comme impureté dans certains engrais phosphatés.

### **Cuivre (Cu)**

Le cuivre existe à l'état natif. Il se rencontre surtout sous forme de sulfures. C'est l'un des métaux les plus employés à cause de ses propriétés physiques, en particulier de sa conductibilité électrique et thermique. Il est utilisé en métallurgie dans la fabrication d'alliages (bronze avec l'étain, laiton avec le zinc, alliages de joaillerie avec l'or et l'argent ...). Il est très largement employé dans la fabrication de matériels électriques (fils, enroulements de moteurs, dynamos, transformateurs), dans la plomberie, dans les équipements industriels, dans l'automobile et en chaudronnerie. Il est utilisé comme catalyseur (sous forme d'acétate ou de chlorures), comme pigment, comme insecticide, fongicide.

Les principales sources anthropiques sont l'industrie du cuivre et des métaux, l'industrie du bois, l'incinération des ordures ménagères, la combustion de charbon, d'huile et d'essence et la fabrication de fertilisants (phosphate).

### **Nickel (Ni)**

Le nickel est issu de minerais de nickel sulfurés dans lesquels sont également présents le fer et le cuivre. Il est utilisé dans la production d'aciers inoxydables et d'aciers spéciaux, dans la production d'alliages ferreux (associé au fer, au cuivre, au manganèse, au chrome, à l'aluminium, au soufre) ou non ferreux (associé au cuivre et au zinc). Il est utilisé dans les batteries alcalines, dans la fabrication de pigments, et comme catalyseur chimique.

La présence de nickel dans l'environnement est naturelle (croûte terrestre) et anthropique. Les principales sources anthropiques sont la combustion de charbon ou de fuel, l'incinération des déchets, l'épandage des boues d'épuration, l'extraction et la production de nickel, la fabrication de l'acier, le nickelage et les fonderies de plomb.

### **Argent (Ag)**

L'argent existe naturellement sous plusieurs degrés d'oxydation, les plus courants étant le degré 0 (Ag métal) et le degré +1 (sels  $\text{AgCl}$ ,  $\text{Ag}_2\text{S}$ ,  $\text{AgNO}_3$ , ...). La majeure partie (environ 70 %) de l'argent extrait est un sous-produit issu de l'extraction d'autres métaux tels le cuivre, le plomb ou le zinc. Il existe par ailleurs une filière de recyclage. Les secteurs d'utilisation de l'argent sont variés : monnaie (mais plutôt pour les pièces de collection), électrique et électronique, bijouterie, alliage, photographie (en déclin). Le nano-argent présente aussi une grande variété d'utilisations : biocide, textile, électronique et électroménager, emballages alimentaires et traitement de l'eau.

## 8.3 Annexe 3 : Origine et usages des principaux contaminants organiques recherchés

### **Fluoranthène - représentatif des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**

Les HAP entrent pour 15 à 30% dans la composition des pétroles bruts. Moins biodégradables que les autres hydrocarbures, ils restent plus longtemps dans le milieu. S'ils existent à l'état naturel dans l'océan, leur principale source est anthropique et provient de la combustion des produits pétroliers, sans oublier les déversements accidentels. Les principaux HAP sont cancérogènes à des degrés divers, le plus néfaste étant le benzo(a)pyrène. Le groupe des HAP est représenté ici par le fluoranthène. Le fluoranthène fait partie des principaux constituants des goudrons lourds issus du charbon ; il est obtenu par distillation à haute température (353 à 385 °C) d'huile d'antracène ou de brai. Il est également formé lors de la combustion incomplète du bois et du fioul. Il fait partie des HAP prédominants dans les émissions des incinérateurs d'ordures ménagères.

Le fluoranthène est utilisé en revêtement de protection pour l'intérieur des cuves et des tuyaux en acier servant au stockage et à la distribution d'eau potable. Il est utilisé comme intermédiaire dans la fabrication de teintures, notamment de teintures fluorescentes. Il est également employé dans la fabrication des huiles diélectriques et comme stabilisant pour les colles époxy. En pharmacie, il sert à synthétiser des agents antiviraux.

### **CB 153 et CB 118 - représentatif des Polychlorobiphényles (PCB)**

Les PCB sont des composés organochlorés comprenant plus de 200 congénères différents, dont certains de type dioxine (PCB dl). Sept PCB (PCB indicateurs) parmi les 209 congénères ont été sélectionnés par le Bureau Communautaire de Référence de la Commission Européenne du fait de leur persistance et de leur abondance dans l'environnement ainsi que de leurs propriétés toxicologiques. Les « PCB indicateurs » (congénères 118, 138, 153, 180, 28, 52 et 101) représentent près de 80 % des PCB totaux.

Ils ont été largement utilisés comme fluide isolant ou ignifugeant dans l'industrie électrique, et comme fluidifiant dans les peintures. Leur rémanence, leur toxicité et leur faculté de bioaccumulation ont conduit à restreindre leur usage en France à partir de 1987. Depuis lors, ils ne subsistent plus que dans des équipements électriques anciens, transformateurs et gros condensateurs. Un arrêté de février 2003 (en application d'une directive européenne de 1996) planifie l'élimination de tous les appareils contenant des PCB d'ici fin 2010. La convention de Stockholm prévoit leur éradication totale pour 2025.

### **Lindane ( $\gamma$ -HCH, isomère de l'hexachlorocyclohexane)**

Le lindane ( $\gamma$ -HCH) est l'un des isomères de l'hexachlorocyclohexane synthétisé à partir de benzène et de chlore. Il est utilisé comme insecticide depuis 1938 dans des applications agricoles et pour la protection de bois d'œuvre, comme antiparasitaire en médecine vétérinaire et humaine.

Il est interdit (production comme utilisation) par le règlement européen 850/2004 depuis le 31 décembre 2007 mais encore homologué dans une cinquantaine de pays.

### **DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) et ses métabolites**

Le DDT est un insecticide de la famille des organochlorés utilisé depuis 1939. Le DDT existe commercialement sous la forme de deux isomères (op' et pp' DDT). Le DDE et le DDD sont des impuretés et des produits de dégradation. Il est interdit pour usage agricole depuis les années 1970 et aujourd'hui uniquement toléré pour la lutte contre le paludisme.

## **TBT (tributylétain)**

Le TBT appartient à la famille des organostanniques. Il se dégrade dans l'environnement en MBT (monobutylétain) et DBT (dibutylétain), substances moins toxiques que le TBT. C'est un composé biocide à large spectre d'activité qui a été utilisé dans les produits anti-salissures et les produits de traitement du bois. Sa grande toxicité sur les espèces non-cible a entraîné une limitation de son usage en France dès 1981 puis interdit dans les peintures marines anti-salissures depuis le 1er janvier 2003 avec obligation d'éliminer ce produit des coques de navire à partir du 1er janvier 2008. Il reste un usage résiduel comme biocide dans l'industrie du papier, du textile et du cuir et dans les circuits de refroidissement. Le MBT et DBT sont utilisés comme additifs dans le PVC. On retrouve le TBT dans l'eau de mer essentiellement sous forme dissoute, alors qu'il est signalé fortement adsorbé sur les matières en suspension en eau douce.

Les atteintes toxiques touchent plusieurs fonctions biologiques chez les mollusques même à faibles concentrations : reproduction, survie du stade larvaire, croissance, respiration, alimentation, calcification, immunité

## **PBDE (polybromodiphényléthers)**

Les PBDE sont des retardateurs de flamme bromés utilisés dans les plastiques, les textiles, l'électronique, les équipements domestiques. La famille comprend un ensemble de 209 congénères théoriques en fonction du nombre d'atomes de brome (1 à 10). On les trouve sous formes de mélanges techniques penta-, octa- et déca-bromés selon le degré de bromation des différents congénères constituant le mélange. Il existe trois principaux PBDE commerciaux :

le pentabromodiphényléther (PeBDE) commercial qui contient principalement des PBDE à 4, 5, ou 6 atomes de brome,

l'octabromodiphényléther commercial qui contient des PBDE à 7 et 8 atomes de brome,

et le décabromodiphényléther commercial (qui contient des PBDE à 9 et 10 atomes de brome).

Ces substances, détectées dans l'environnement dès la fin des années 70, présentent un caractère lipophile et une faible dégradabilité qui font d'eux des Polluants Organiques Persistants (POP), toxiques pour l'homme et l'environnement. Les PBDE sont présents dans l'air, dans les matières en suspension et les sédiments plus que dans l'eau du fait de leur faible solubilité. De nombreuses études ont mis en évidence la présence de PBDE dans le biote et chez les mammifères terrestres avec une contamination due à la fois à l'exposition directe et à la bioaccumulation.

La production mondiale des PBDE a augmenté de façon exponentielle depuis les années 80. Depuis août 2004, les mélanges techniques penta-bromés et octa-bromés ont été interdits d'utilisation en Europe puis interdits par la Convention de Stockholm en mai 2009. Aujourd'hui les PBDE ne sont plus produits en France et en Europe. Le PeBDE (BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, et BDE-154) est classé en tant que substance dangereuse prioritaire et les PBDE ont été intégrés à l'annexe X de la DCE.

## **PFAS (Substances per et poly fluoroalkylés)**

Les composés per- et poly-fluoroalkylés, appelés plus communément perfluorés ou PFAS (per and PolyFluorinated Alkyl Substances en anglais) constituent une famille chimique complexe regroupant près de 4700 composés distincts. La caractéristique commune de ces substances est d'avoir une chaîne carbonée comportant au moins un atome de carbone lié à 3 ou 2 atomes de Fluor. Leurs propriétés physico-chimiques intéressantes (propriétés surfactantes empêchant l'eau ou les graisses de pénétrer dans les produits, propriétés de résistance aux chaleurs extrêmes et aux agents chimiques, etc.) ont conduit à la multiplication de leurs usages. On les retrouve ainsi dans une grande variété de produits industriels et de consommation courante (textile, revêtement antiadhésif, mousse

anti incendie, etc.). Stations d'épuration, aéroports, sites de traitements et d'activité nucléaires, usines de fabrication de produits chimiques... figurent parmi les sites susceptibles de relarguer ces substances. Parmi les substances PFAS les plus connues, figurent le PFOS et le PFOA.

Ce sont les substances d'origine anthropique les plus persistantes connues à ce jour. Certains PFAS s'accumulent dans les organismes vivants. Des études ont associé certains PFAS à longue chaîne avec des une toxicité hépatique, une perturbation du métabolisme des lipides et des systèmes immunitaire et endocrinien, des troubles neurocomportementaux, une toxicité et une mortalité néonatales, ainsi que des tumeurs dans de multiples systèmes organiques.

Les réglementations intègrent la surveillance de plusieurs PFAS. En France, l'arrêté de 2022 prévoit le suivi dans les eaux de surface de 5 molécules de cette famille : PFOS, PFOA, PFHxA, PFDA et PFHS. La réglementation européenne DCE devrait inclure d'autres PFAS, tel que le PFNA, bio-accumulable, cancérigène suspecté et probable repro-toxique.

### **Quinoxylène**

Fongicide aujourd'hui interdit

### **Pentachlorobenzène (Ineris 2024)**

Il aurait été utilisé dans le passé comme fongicide, notamment pour conserver le bois et les textiles, mais cet usage mentionné par une source bibliographique ne semble pas pouvoir être confirmé et il est presque certainement abandonné en Europe. Il aurait été aussi utilisé comme retardateur de flamme. Au Canada son usage a été attesté dans des fluides diélectriques en 1993 mais ces usages ne sont pas attestés dans les autres sources consultées.

Le pentachlorobenzène pourrait être un intermédiaire de la synthèse du pesticide quintozone (ou pentachloronitrobenzène) mais ce dernier est désormais interdit en France et le quintozone produit aujourd'hui l'est par une autre voie de synthèse ne mettant plus en jeu le pentachlorobenzène.

Le pentachlorobenzène peut être une impureté et un sous-produit de dégradation dans l'environnement de l'hexachlorobenzène qui n'est plus produit ni utilisé en France.

Les sources non atmosphériques sont très faibles, le pentachlorobenzène pourrait provenir de la combustion de produits organochlorés et être émis dans l'atmosphère par des incinérateurs (il s'agit d'une source importante au Canada).

### **Hexachlorobutadiène HCBd (Ineris 2024)**

L'HCBd n'est plus utilisé en Europe aujourd'hui.

Il a été utilisé en petites quantités comme solvant pour caoutchouc et autres polymères (pour les hydrocarbures à C4 et plus et les élastomères), comme fluide pour gyroscope, comme intermédiaire chimique dans la production de chlorofluorocarbones et de lubrifiants, comme lubrifiant, dans les liquides isolants ou comme réactif de laboratoire (notamment pour extraire les produits chimiques organiques volatils des substances organiques). En France, il était largement utilisé comme fumigène pour traiter les vignes contre le Phylloxera.

L'HCBd fut également utilisé comme fluide caloporteur (dans les transformateurs) ; comme fluide hydraulique ; comme liqueur nettoyante pour retirer les hydrocarbures ; dans l'agriculture, comme fongicide et comme produit d'enrobage de semence ; pour récupérer les gaz renfermant du chlore dans les usines de chlore ; dans des procédés de production (tige d'aluminium ou de graphite).

C'est une impureté du trichloréthylène et du tétrachloréthylène (ou perchloréthylène), deux solvants dont l'utilisation est répandue dans les industries du nettoyage à sec et du

dégraissage de pièces métalliques. Cependant grâce à l'amélioration des procédés de production, l'HCBD n'est plus détectable dans ces deux produits.

L'HCBD est un contaminant d'autres substances chlorées tels que le chlorure de fer (III) et l'acide chlorhydrique (HCl) ainsi que de sous-produits de l'industrie du magnésium.

L'HCBD présent dans l'environnement viendrait majoritairement du processus de production de solvants chlorés (trichloréthylène, tétrachloréthylène) et de tétrachlorométhane. Les autres sources d'émission sont les déchets de la production des hydrocarbures chlorés renfermant du HCBD, les autres utilisations industrielles de cette substance et la production du magnésium. Ces trois voies d'émission sont faibles voire inexistantes en France. La base de données européenne EPER5 ne répertorie en France qu'un seul site émetteur de HCBD : il s'agit d'Atofina (usine de Saint Auban, 04), qui produit des produits organiques à base de solvant.

### **Hexachlorobenzène (Ineris 2024)**

L'hexachlorobenzène ne connaît selon toute vraisemblance plus aucun usage en France et en Europe. Il était utilisé jusqu'aux années 1980, surtout en tant que fongicide pour l'enrobage des semences et le traitement des sols. Ce produit avait aussi d'autres applications en France ou à l'étranger, comme agent fondant dans la fusion de l'aluminium, comme régulateur de porosité dans la fabrication d'électrodes en graphite, comme agent peptisant du caoutchouc. Il servait à la fabrication de produits militaires pyrotechniques et entraient dans la composition de produits de préservation du bois.

L'hexachlorobenzène peut se retrouver comme impureté dans les solvants chlorés, à des teneurs résiduelles très faibles (< 2 ppb dans le trichloréthylène et dans le perchloréthylène, < 20 ppb dans le trichloréthylène, le perchloréthylène et le tétrachlorométhane). À cause de son point d'ébullition élevé et de sa faible volatilité, les possibilités d'émission d'hexachlorobenzène à partir de ces solvants sont en outre minimales.

L'hexachlorobenzène pourrait être présent à l'état de trace dans certains pesticides mais les informations collectées auprès de la profession n'ont pas confirmé ce fait. L'US EPA réglemente les teneurs en HCB dans plusieurs pesticides dont certains appartiennent encore à la liste des substances actives de la base « e phy » recensant les substances autorisées en France : chlorothalonil, piclorame, simazine.

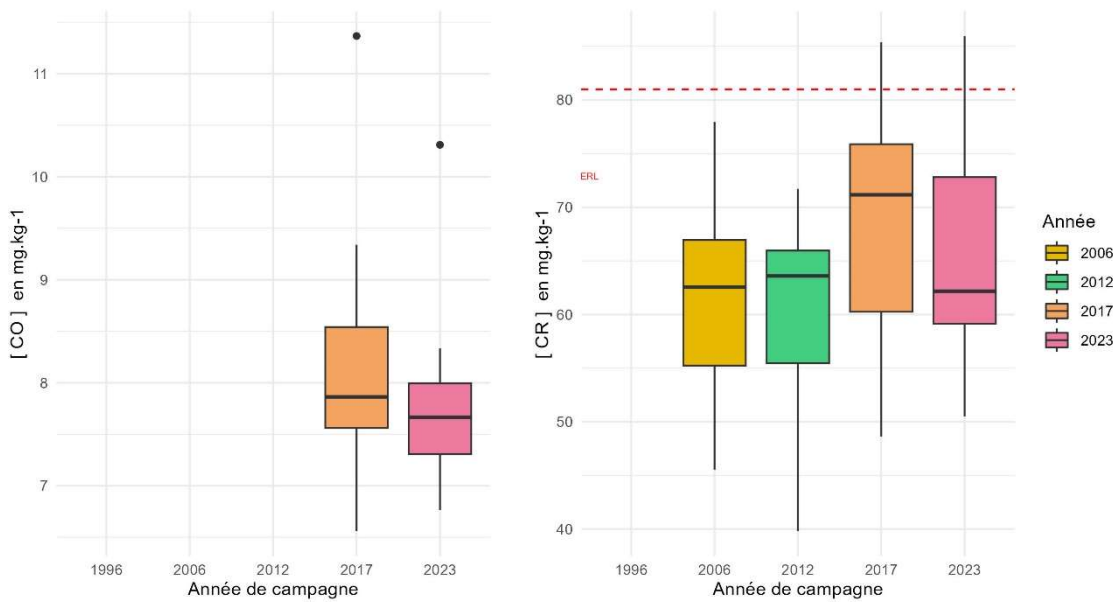
## 8.4 Annexe 4 : Origine des micro-plastiques

Les micro-plastiques (MP) sont définis comme de petites particules de plastique dont la taille est comprise entre 300 µm et 5 mm (Arthur et al., 2009) et entre 5 et 20 mm pour les méso-plastiques. Ces particules constituent une part importante de la pollution plastique et sont omniprésentes dans le milieu marin (Gago et al., 2018). Les MPs peuvent être « primaires », provenant directement de la production industrielle, de l'utilisation quotidienne de produits plastiques (ex. : cosmétiques, agents de nettoyage, granulés, etc.) et de microfibres issues des vêtements, ou « secondaires », résultant de la fragmentation des macro-déchets plastiques. Les phénomènes de dégradation sont le résultat de forçages mécaniques (vague), de conditions hydrologiques (température, salinité) et de rayonnements UV (Ter Halle et al., 2017). Cette contamination est omniprésente dans tous les compartiments marins (Bergmann et al., 2019), de la surface (De Haan et al., 2019) jusqu'aux sédiments benthiques (Harris, 2020), rendant les MP accessibles à une large gamme de biotes occupant différents habitats (Giani et al., 2019). L'origine marine des micro-plastiques concerne les déchets qui sont directement (accidentellement ou volontairement) rejetés dans la mer par des activités maritimes, par exemple le transport maritime, la pêche, pisciculture, conchyliculture, les installations offshore... L'origine terrestre des micro-plastiques concerne les activités qui provoquent des déchets sur la côte, comme le tourisme balnéaire, mais peut également faire référence aux déchets générés dans des zones plus éloignées, comme les villes et les sites industriels, et emportés par le vent ou les eaux vers la mer. Les déchets qui pénètrent dans l'environnement par les égouts ou les rejets de stations d'épuration sont considérés comme ayant une origine terrestre, même si la plupart de ces rejets sont situés dans des rivières ou se déversent parfois directement dans les lagunes ou dans la mer. De même, les déchets fluviaux sont parfois considérés comme d'origine terrestre, même si certains déchets peuvent être jetés par des bateaux et des navires naviguant sur les rivières (Veiga, et al., 2016). Environ 75 % de la pollution plastique marine provient de sources terrestres et 25 % provient des activités marines (Thushari et Senevirathna, 2020). Cependant, les micro-plastiques constituent une fraction particulièrement difficile des déchets marins plastiques en termes de détermination de leurs origines et de leurs voies d'entrée. Ils peuvent provenir de plusieurs sources et pénétrer par différentes voies. Les principales sources comprennent la fragmentation d'éléments plus volumineux dans l'environnement, la libération d'additifs abrasifs provenant de cosmétiques et d'autres produits, la libération de fibres provenant du lavage des textiles et le déversement de granulés ou de poudres de préproduction qui sont en transit ou en cours de traitement avant d'être transformés en articles en plastique du quotidien (Veiga, et al., 2016). En plus des micro-plastiques, il a récemment été suggéré qu'il pourrait également y avoir des apports substantiels d'autres particules synthétiques, par exemple en conséquence de l'usure des pneus sur les routes (Essel et al., 2015).

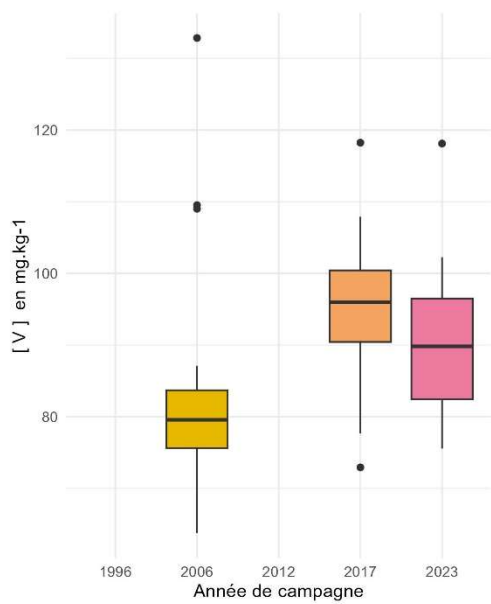
8.5 Annexe 5 : Teneurs en contaminants par campagnes

8.5.1 métaux

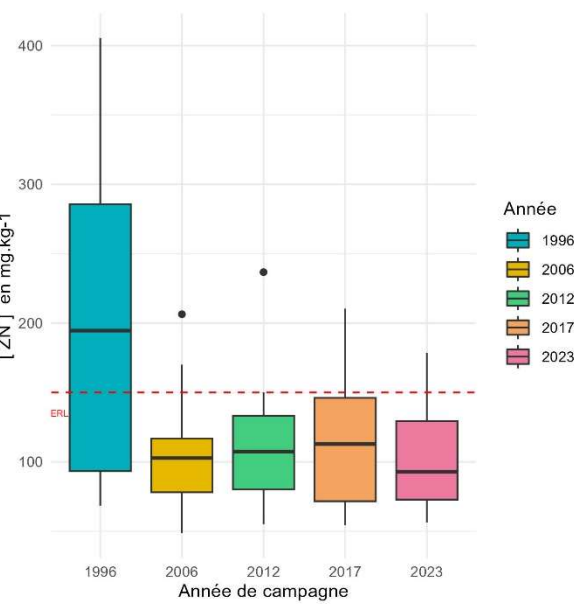
Distributions des concentrations en métaux des échantillons de sédiment des campagnes ROCCHSED 1996, 2005-2006, 2012, 2017 et 2023



cobalt



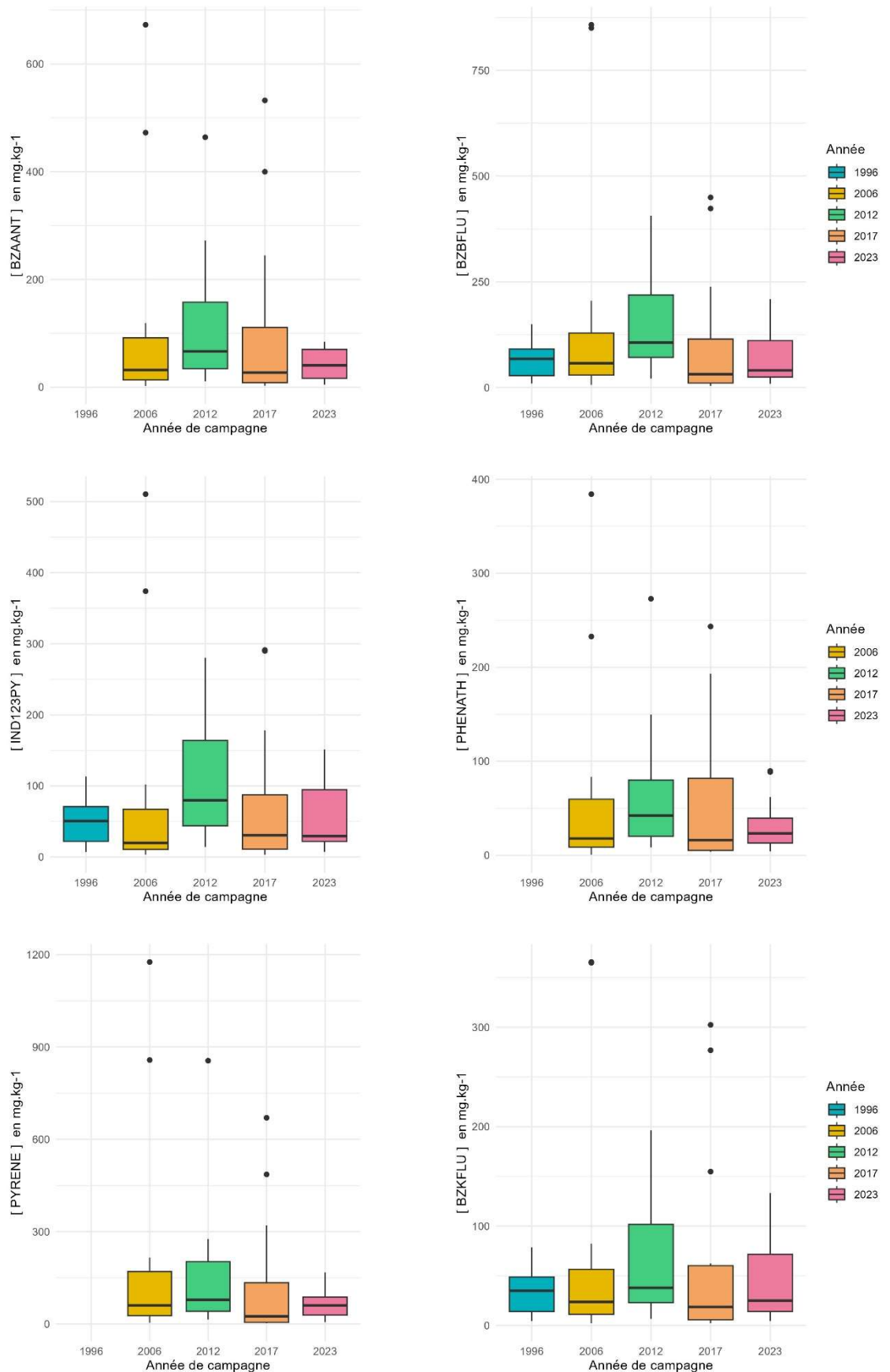
chrome



vanadium

zinc

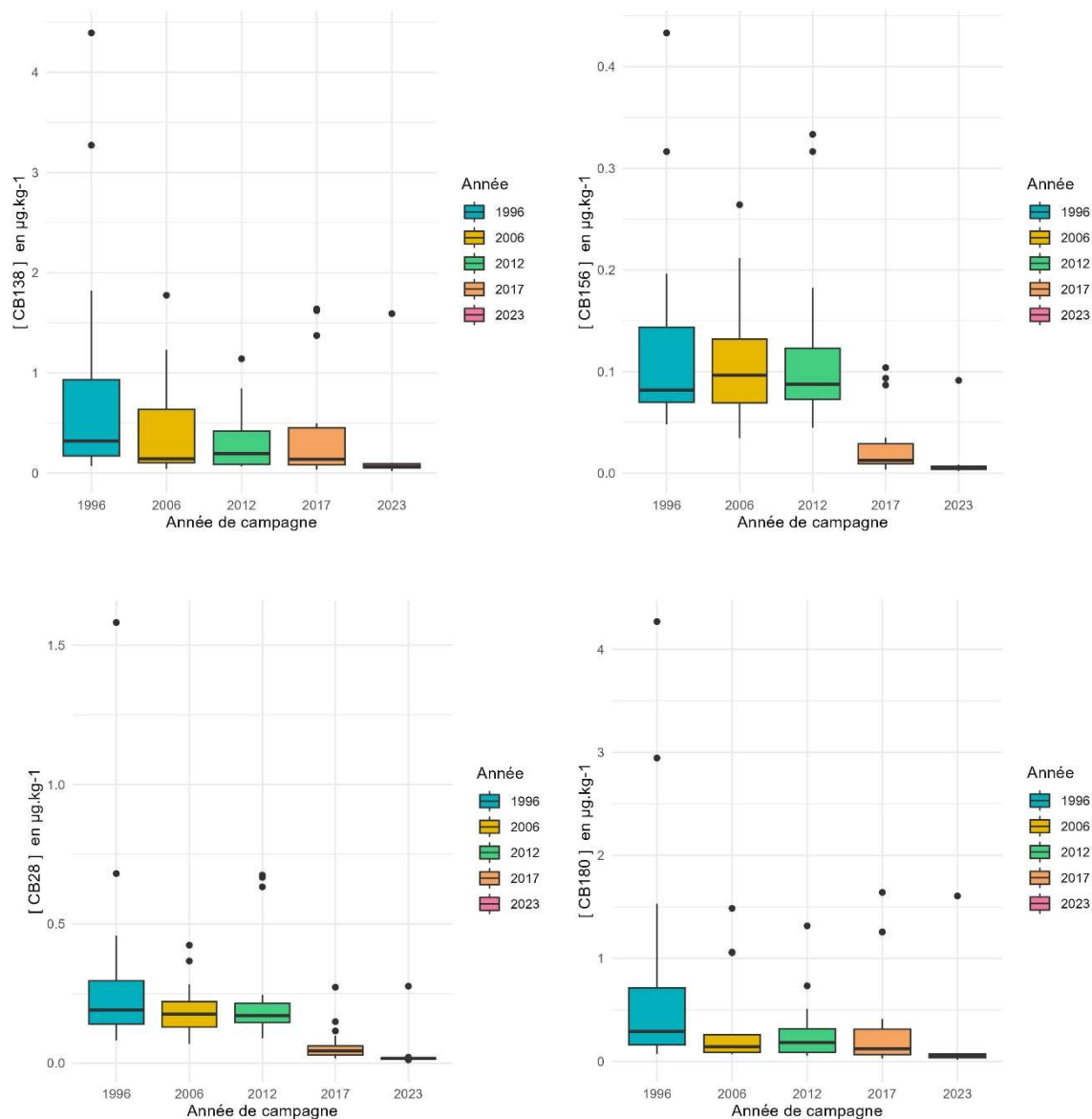
## 8.5.2 HAP

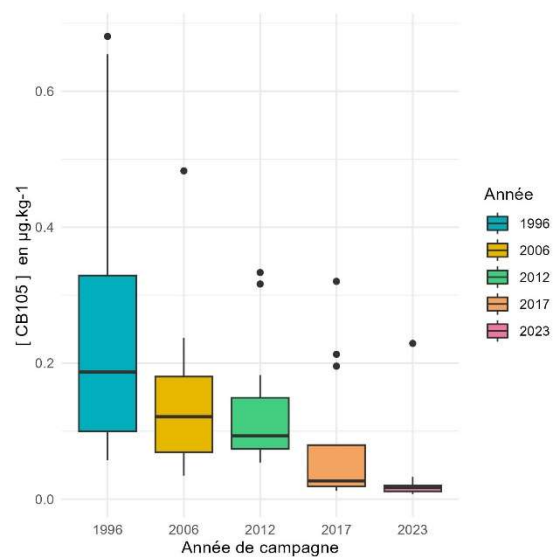


Distributions des concentrations en HAP des 17 échantillons de sédiment des campagnes ROCCHSED 1996, 2005-2006, 2012, 2017 et 2023

### 8.5.3 PCB

Distributions des concentrations en PCB des échantillons de sédiment des campagnes ROCCHSED 1996, 2005-2006, 2012, 2017 et 2023





## 8.6 Annexe 6 : Bilan des dépassements de seuils de référence par point pour les contaminants métalliques

| N° | Libellé Stations 2023 :                | CD   | CU   | HG     | PB   | ZN   | AG   | CR   | NI   |
|----|----------------------------------------|------|------|--------|------|------|------|------|------|
| 1  | Etang de Canet - centre                | -    | >ERL | -      | -    | -    | -    | -    | -    |
| 2  | Leucate 9 - Anse de la Roquette        | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | -    |
| 3  | Leucate 3 - Sud parcs                  | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 4  | LEN 4 - Anse du Paurel                 | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 5  | Etang de La Palme Nord                 | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 6  | Etang de Bages - Sud                   | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 7  | Etang de Bages - Ile de L'Aute         | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 8  | BGM - Bages milieu                     | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 9  | BGM 15                                 | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 10 | BGN 11                                 | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | -    |
| 11 | Etang de Bages - Sud Bages             | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | -    |
| 12 | Etang de Bages - La Nautique           | -    | >ERL | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 13 | Etang de l'Ayrolle 1                   | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | -    |
| 14 | Etang de l'Ayrolle - devant Campagnol  | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | -    |
| 16 | Etang de Gruissan                      | -    | >ERL | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 17 | Grazel - cardinale                     | -    | >ERL | inf LQ | -    | -    | -    | -    | -    |
| 18 | Thau - Marseillan 2                    | -    | >ERL | -      | >ERL | >ERL | -    | -    | >ERL |
| 20 | TW - Thau Ouest                        | -    | >ERL | -      | >ERL | >ERL | -    | -    | >ERL |
| 21 | Marseillan est                         | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | >ERL | -    | -    | >ERL |
| 22 | TE - Thau Est                          | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | >ERL | -    | -    | >ERL |
| 23 | TE 67 - Tables Bouzigues               | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | >ERL | -    | -    | >ERL |
| 24 | TE 65 - Thau petit étang               | -    | >ERL | >ERM   | >ERL | >ERL | -    | >ERL | >ERL |
| 25 | Thau - crique de l'Angle 2             | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | >ERL | -    | -    | >ERL |
| 26 | Etang de La Peyrade - l'îlou           | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | >ERL | -    | -    | >ERL |
| 27 | Etang de La Peyrade - StMartin         | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | >ERL | -    | >ERL | >ERL |
| 28 | Pointe d'Ingril                        | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| 29 | Etang d'Ingril - cordon dunaire        | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 30 | VIC - Vic                              | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| 31 | Etang de Vic 1                         | -    | >ERL | -      | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| 32 | ARN 5                                  | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | -    | >ERL | -    | >ERL |
| 33 | Etang de L'Arnel 1                     | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | -    | >ERL | -    | >ERL |
| 34 | Etang du Prévost - Ouest               | -    | >ERL | >ERL   | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 35 | Etang du Prévost - Est                 | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | -    | >ERL | >ERL | >ERL |
| 36 | MEW - Méjean Ouest                     | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | -    | >ERL | -    | >ERL |
| 37 | Etang de Pérols Centre 2               | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL |
| 38 | MEE - Méjean Est                       | -    | >ERL | >ERL   | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| 39 | Etang de Pérols Est 2                  | -    | >ERL | >ERL   | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 40 | ORW 2                                  | -    | >ERL | -      | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| 41 | Etang de l'Or - Est piste aéroport     | -    | >ERL | -      | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| 42 | ORW 9                                  | -    | >ERL | -      | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| 43 | Etang de l'Or - Pte du Salaison        | -    | >ERL | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 44 | ORE 19                                 | -    | >ERL | -      | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| 45 | Etang de l'Or - Pte Estenove           | -    | >ERL | -      | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| 46 | ORE 29                                 | -    | >ERL | -      | >ERL | -    | -    | -    | >ERL |
| 47 | D8-Vaccarès                            | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 48 | VCS-Vaccarès                           | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 49 | Berre - station fixe GIPREB            | -    | -    | >ERL   | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 50 | Etang de Berre Nord - Face Beau Rivage | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 51 | Etang du Bolmon - Esteou               | >ERL | >ERL | >ERL   | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL | >ERL |
| 52 | BIN - Biguglia nord                    | -    | -    | -      | -    | -    | -    | >ERM | >ERM |
| 53 | Biguglia embouchure Mormorana          | -    | >ERL | -      | -    | -    | -    | >ERM | >ERM |
| 54 | D8bis-Diana                            | -    | -    | -      | -    | -    | -    | >ERL | >ERM |
| 55 | D14-Diana                              | -    | -    | -      | -    | -    | -    | >ERL | >ERM |
| 56 | Diana centre                           | -    | -    | -      | -    | -    | -    | >ERL | >ERM |
| 57 | D17-Diana                              | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |
| 58 | Etang d'Urbino - Centre                | -    | -    | -      | -    | -    | -    | >ERL | >ERM |
| 60 | Palu                                   | -    | -    | -      | -    | -    | -    | -    | >ERL |

Légende du tableau cf §3.2.2.3.2

## 8.7 Annexe 7 : Médianes des concentrations sédimentaires issues des dernières campagnes ROCCH-SED sur le littoral français

### Métaux

| Médianes :   | Ag                  | Cd                  | Co                  | Cr                  | Cu                  | Hg                  | Li                  | Mn                  | Ni                  | Pb                  | V                   | Zn                  |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|              | mg.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup> |
| Nationale    | 0,12                | 0,17                | 7,48                | 59,90               | 11,85               | 0,05                | 51,42               | 417,48              | 20,16               | 32,65               | 79,23               | 84,52               |
| Méditerranée | 0,11                | 0,16                | 7,86                | 70,16               | 22,30               | 0,07                | 49,78               | 439,61              | 30,76               | 26,96               | 88,12               | 80,35               |
| Lagunes      | 0,11                | 0,28                | 8,31                | 71,62               | 28,99               | 0,07                | 48,61               | 463,50              | 32,88               | 27,58               | 88,76               | 80,56               |

### HAP

| Médianes :   | Acéna-<br>phtè.     | Acéna-<br>phty.     | Anthr.              | Bza-<br>Ant.        | Bza-<br>Pyr.        | Bzb-<br>Flu.        | Bzghi-<br>Per.      | Bzk-<br>Flu.        | Chry.               | DBzah-<br>Ant.      | Fluora<br>nt.       | Fluorè<br>ne        | Ind123<br>-Pyr      | Napht.              | Phen.               | Pyr.                |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|              | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> |
| Nationale    | 2,08                | 1,91                | 9,13                | 19,9                | 19,4                | 26,3                | 21,2                | 15,2                | 20,4                | 5,74                | 33,7                | 4,01                | 22,9                | 8,64                | 29,6                | 26,9                |
| Méditerranée | 1,41                | 1,85                | 8,65                | 25,0                | 7,42                | 15,2                | 12,9                | 12,0                | 36,2                | 6,82                | 36,9                | 3,49                | 12,0                | 7,61                | 22,0                | 35,6                |
| Lagunes      | 0,31                | 0,39                | 3,53                | 8,38                | 9,52                | 13,6                | 9,61                | 6,58                | 9,14                | 1,98                | 19,9                | 1,54                | 9,91                | 6,47                | 8,72                | 14,1                |

### PCB

| Médianes :   | CB28                | CB52                | CB118               | CB138               | CB153               |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|              | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> | µg.kg <sup>-1</sup> |
| Nationale    | 0,07                | 0,08                | 0,21                | 0,15                | 0,44                |
| Méditerranée | 0,06                | 0,05                | 0,14                | 0,11                | 0,34                |
| Lagunes      | 0,03                | 0,02                | 0,08                | 0,26                | 0,34                |