

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer  
et de l'Aménagement du Littoral**



**Mémoire de Fin d'Études**

**En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Sciences de la Mer**

**Option : Environnement**

**Thème :**

*Contribution à l'étude de l'impact  
de la pollution chimique  
sur l'herbier à Posidonie  
dans la baie de Bou-Ismaïl*

**Présenté par : M. TARMOUL FATEH**

**Soutenu le 27 Septembre 2010, devant le jury composé de :**

**Mme. HAMDI S.**

**Présidente**

**Mme. GHALMI R.**

**Promotrice**

**Mlle. AMROUCHE L.**

**Examinatrice**

**M. LOURGUIOUI H.**

**Examineur**

**Promotion 2009/2010**

# Remerciements

*Avant tout, je remercie notre dieu, Allah, le Miséricordieux, l'Unique, le Puissant ... pour sa protection et son guide.*

*Je tiens à remercier vivement Mme GHALMI R., ma promotrice, pour l'aide scientifique et morale qu'elle a su m'apporter tout au long de ce mémoire.*

*Je remercie également, Mme Hamdi S., Mlle Amrouche L. et M. Lourguioui H. qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir constituer mon jury de thèse.*

*Mes remerciements vont aussi, à Mme Azzag N., Mlle Ghalmi F. et Mlle Yacoubi K. de l'École Nationale Supérieure Vétérinaire (ENSV) ; à Mlle Boulekraouet S., Mlle Ikhlef M., M. Mouali M., M. Houass O. et M. Tireche T. de l'Observatoire Nationale de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD) ;*

*à Mme Meziane Y., Mme Medjahed F., Mlle Daas S. et M. Ouahmed K. ainsi que tout le personnel du Centre National des Ressources Biologiques (CNDRB) À M. Oussaïd M. et tout le personnel de la bibliothèque du Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques (MPRH) qui m'ont tous si bien accueilli et aimablement aidé ;*

*Un grand merci, à Mme Aledalia N., Mlle Ounadi F., M. Boudjellal Y. et M. Boukrina M. du laboratoire de Sidi-Fredj mais surtout mon ami M. Azzouz M. qui n'ont ménagé aucun effort pour m'assister durant mon travail ainsi que pour leur hospitalité et leurs encouragements.*

*Je ne saurais remercier Mlle Lamouti S., M. Ben Yahia W. et les frères Akmoum A. & R. pour leurs précieuses aides en apnée et plongée autonome.*

*Je tiens à exprimer toute ma gratitude à mes parents qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours et sans lesquels je n'aurais probablement pas fait ce mémoire.*

*Enfin, je tiens à remercier de tout cœur mon frère et mes sœurs pour leur soutien de tous les instants...*

*Que tous mes amis et ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma réussite, puissent trouver ici, toute ma reconnaissance et mes plus vifs remerciements.*

*Fateh*

# Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>01</b>
---------------------------	-----------

## **Chapitre 1 : Généralités**

1.1. Présentation de la Posidonie .....	03
1.2. Systématique .....	03
1.3. Description et distribution .....	03
1.4. Écologie .....	07
1.5. La vie dans l'herbier : L'oasis de vie .....	08
1.6. Importance et rôle .....	10
1.7. La posidonie en Algérie .....	11
1.8. Menaces sur l'herbier .....	12
1.8.1. Les pollutions industrielles et urbaines .....	12
1.8.2. La turbidité .....	13
1.8.3. Les arts traînants .....	13
1.8.4. Les aménagements .....	14
1.8.5. Les explosifs .....	14
1.8.6. La compétition avec des espèces introduites .....	14
1.8.7. Pollutions biologiques .....	14
1.9. Mesures de protection de l'herbier à posidonie .....	14

## **Chapitre 2 : Matériels et Méthodes**

2.1. Présentation de la baie de Bou-Ismaïl .....	15
2.1.1. Géomorphologie .....	15
2.2.2. Hydrographie .....	15

2.2.3. Sédimentologie .....	15
2.2.4. Température .....	17
2.2.5. Salinité .....	17
2.2.6. Régime des vents et des houles .....	17
2.2. État actuel de la pollution dans la baie .....	17
2.3. Description et choix des zones d'étude .....	20
2.4. Prélèvement et conservation des échantillons .....	24
2.5. Analyses et modes opératoires .....	25
2.5.1. Paramètres insitu .....	25
2.5.1.1. Paramètres physicochimiques .....	25
2.5.1.2. Paramètres descriptifs de l'herbier .....	25
2.5.2. Paramètres mesurés au laboratoire .....	26
2.5.2.1. Dosage des métaux lourds .....	26
2.5.2.1.1. Prélèvement et conservation des échantillons .....	26
2.5.2.1.2. Traitement des échantillons .....	26
2.5.2.1.3. Nettoyage des instruments .....	27
2.5.2.1.4. Minéralisation des échantillons .....	27
2.5.2.1.5. Analyse des échantillons par la méthode de la SAA .....	30
2.5.2.2. Analyse microbiologique .....	33
2.5.2.2.1. Prélèvement .....	33
2.5.2.2.2. Recherche et dénombrement des coliformes : colimétrie .....	33
2.5.2.2.3. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux .....	36
2.5.2.2.4. Origine de la pollution fécale .....	38
2.5.2.3. Dosage des sels nutritifs .....	38
2.5.2.3.1. Dosage de l'ammonium .....	39
2.5.2.3.2. Dosage des nitrites .....	39
2.5.2.3.3. Dosage des nitrates .....	39
2.5.2.3.4. Dosage des orthophosphates .....	40
2.5.2.3.5. Dosage du silicium dissout .....	40
2.5.2.3.6. Étalonnage, mesure et calcul .....	40

## **Chapitre 3 : Résultats & discussions**

3.1. Caractérisation de la pollution dans la baie de Bou-Ismaïl .....	42
3.1.1. Métaux lourds .....	42
3.1.1.1. État de contamination du sédiment .....	42
3.1.1.2. État de contamination de la posidonie .....	47
3.1.1.3. État de contamination des oursins .....	51
3.1.1.4. Traitement statistique des données (Analyse en Composantes Principales -ACP) .....	56
3.1.2. Sels nutritifs .....	61
3.1.2.1. L'azote .....	61
3.1.2.2. Le phosphore .....	64
3.1.2.3. Le silicium .....	65
3.1.3. Paramètres bactériologiques .....	67
3.1.3.1. Les coliformes .....	67
3.1.3.2. Les streptocoques .....	69
3.1.3.3. Origine de la pollution bactériologique et qualité de l'eau .....	70
3.2. Discussion générale .....	72
3.2.1. Densité, vitalité et état général de l'herbier .....	72
3.2.2. Observations sur la faune et la flore associées .....	73
3.2.3. Nouvelle menace : <i>Caulerpa racemosa</i> .....	73

<b>Conclusion .....</b>	<b>75</b>
-------------------------	-----------

<b>Perspectives et recommandations .....</b>	<b>76</b>
--	-----------

## **Bibliographie**

## **Annexes**

# Liste des tableaux et des figures

<b>Tableau 2.1 :</b> Les activités polluantes en baie de Bou-Ismaïl.....	<b>18</b>
<b>Tableau 2.2 :</b> Critères de sélection des stations de prélèvement en baie de Bou-Ismaïl .....	<b>20</b>
<b>Tableau 2.3 :</b> Origine de la pollution fécale selon le rapport CF/SF .....	<b>38</b>
<b>Tableau 3.1 :</b> Statistiques des concentrations maximales en métaux lourds dans le sédiment de la zone 2 (en g/kg p.s excepté pour le mercure en mg/kg p.s .....	<b>42</b>
<b>Tableau 3.2 :</b> Statistiques des concentrations maximales en métaux lourds dans les rhizomes de posidonie de la zone 2 (en g/kg p.s excepté pour le mercure en mg/kg p.s .....	<b>48</b>
<b>Tableau 3.3 :</b> Statistiques des concentrations maximales en métaux lourds dans les gonades de l'oursin commun de la zone 2 (en g/kg p.s excepté pour le mercure en mg/kg p.s .	<b>53</b>
<b>Tableau 3.4 :</b> Matrices de corrélation entre les métaux dans chaque compartiment .....	<b>57</b>
<b>Tableau 3.5 :</b> Matrices de corrélation entre les compartiments pour chaque métal .....	<b>60</b>
<b>Tableau 3.6 :</b> Résultats d'analyses des coliformes dans les trois zones d'étude .....	<b>67</b>
<b>Tableau 3.7 :</b> Résultats d'analyses des streptocoques dans les trois zones d'étude .....	<b>69</b>
<b>Tableau 3.8 :</b> Origine de la pollution bactériologique dans les trois zones d'étude .....	<b>71</b>
<b>Tableau 3.9 :</b> Qualité bactériologique dans les trois zones d'étude .....	<b>71</b>
<b>Tableau 3.10 :</b> Présence de <i>Caulerpa racemosa</i> .....	<b>74</b>
<hr/>	
<b>Figure 1.1 :</b> Aspect général d'un herbier à <i>Posidonia oceanica</i> .....	<b>03</b>
<b>Figure 1.2 :</b> Distribution géographique de <i>Posidonia oceanica</i> en méditerranée .....	<b>04</b>
<b>Figure 1.3 :</b> Un rhizome plagiotrope de <i>Posidonia oceanica</i> portant des racines ainsi que des rhizomes orthotropes avec des faisceaux de feuilles à leurs extrémités .....	<b>04</b>
<b>Figure 1.4 :</b> Structure d'un faisceau de feuilles de <i>Posidonia oceanica</i> .....	<b>05</b>
<b>Figure 1.5 :</b> Consolidation du rhizome par les écailles .....	<b>05</b>
<b>Figure 1.6 :</b> Aspect général de la matre constituée par les rhizomes et le sédiment (d'après BOUDOURESQUE <i>et al</i> , 2006) .....	<b>06</b>

<b><u>Figure 1.7</u></b> : Floraison de <i>Posidonia oceanica</i> .....	<b>06</b>
<b><u>Figure 1.8</u></b> : Aegagropiles : pelotes de fibres (écailles et rhizomes) roulées par la mer .....	<b>07</b>
<b><u>Figure 1.9</u></b> : La vie dans l’herbier à Posidonie (d’après Toni Llobet <i>et al</i> , 2008) .....	<b>08</b>
<b><u>Figure 1.10</u></b> : Invertébrés filtreurs dans l’herbier à Posidonie .....	<b>09</b>
<b><u>Figure 1.11</u></b> : Échinodermes dans l’herbier à Posidonie .....	<b>09</b>
<b><u>Figure 1.12</u></b> : Mollusques dans l’herbier à Posidonie .....	<b>10</b>
<b><u>Figure 1.13</u></b> : Poissons dans l’herbier à Posidonie .....	<b>10</b>
<b><u>Figure 2.1</u></b> : Localisation géographique de la baie de Bou-Ismaïl (Google Earth, 2010) .....	<b>15</b>
<b><u>Figure 2.2</u></b> : Sédimentologie générale de la baie de Bou-Ismaïl (d’après LECLAIRE, 1972 - modifiée) .....	<b>16</b>
<b><u>Figure 2.3</u></b> : Principaux points de rejet d’eaux usées dans la baie de Bou-Ismaïl .....	<b>19</b>
<b><u>Figure 2.4</u></b> : Localisation des zones d’étude dans la baie de Bou-Ismaïl .....	<b>22</b>
<b><u>Figure 2.5</u></b> : Stratégie d’échantillonnage et localisation des stations de prélèvement dans les trois zones d’étude .....	<b>23</b>
<b><u>Figure 2.6</u></b> : Matrices choisies pour les analyses .....	<b>24</b>
<b><u>Figure 2.7</u></b> : Voies d’accumulation et de transfert d’un toxique dans trois maillons de la chaîne trophique : la posidonie, l’oursin commun et l’homme .....	<b>25</b>
<b><u>Figure 2.8</u></b> : Procédure de digestion du sédiment et du matériel biologique pour la détermination du mercure total par CV-AAS .....	<b>28</b>
<b><u>Figure 2.9</u></b> : Procédure de digestion du sédiment et du matériel biologique pour la détermination de l’aluminium, du fer, du cuivre, du zinc et du manganèse par AAS .....	<b>29</b>
<b><u>Figure 2.10</u></b> : Droite d’étalonnage du mercure pour la matrice sédiment .....	<b>31</b>
<b><u>Figure 2.11</u></b> : Droite d’étalonnage du mercure pour les matrices biologiques .....	<b>31</b>
<b><u>Figure 2.12</u></b> : Droite d’étalonnage de l’aluminium pour la matrice sédiment .....	<b>31</b>
<b><u>Figure 2.13</u></b> : Droite d’étalonnage de l’aluminium pour les matrices biologiques .....	<b>31</b>
<b><u>Figure 2.14</u></b> : Droite d’étalonnage du fer pour la matrice sédiment .....	<b>31</b>
<b><u>Figure 2.15</u></b> : Droite d’étalonnage du fer pour les matrices biologiques .....	<b>31</b>
<b><u>Figure 2.16</u></b> : Droite d’étalonnage du cuivre pour la matrice sédiment .....	<b>32</b>

<b><u>Figure 2.17</u></b> : Droite d'étalonnage du cuivre pour les matrices biologiques .....	<b>32</b>
<b><u>Figure 2.18</u></b> : Droite d'étalonnage du zinc pour la matrice sédiment .....	<b>32</b>
<b><u>Figure 2.19</u></b> : Droite d'étalonnage du zinc pour les matrices biologiques .....	<b>32</b>
<b><u>Figure 2.20</u></b> : Droite d'étalonnage du manganèse pour la matrice sédiment .....	<b>32</b>
<b><u>Figure 2.21</u></b> : Droite d'étalonnage du manganèse pour les matrices biologiques .....	<b>32</b>
<b><u>Figure 2.22</u></b> : Méthode de dénombrement des Coliformes fécaux et <i>Escherichia coli</i> dans l'eau de mer .....	<b>35</b>
<b><u>Figure 2.23</u></b> : Méthode de dénombrement des Streptocoques Fécaux dans l'eau de mer .....	<b>37</b>
<b><u>Figure 2.24</u></b> : Réactifs de GRIESS pour le dosage des nitrites .....	<b>39</b>
<b><u>Figure 2.25</u></b> : Droite d'étalonnage de l'ammonium .....	<b>41</b>
<b><u>Figure 2.26</u></b> : Droite d'étalonnage des nitrites .....	<b>41</b>
<b><u>Figure 2.27</u></b> : Droite d'étalonnage des nitrites + nitrates .....	<b>41</b>
<b><u>Figure 2.28</u></b> : Droite d'étalonnage des orthophosphates .....	<b>41</b>
<b><u>Figure 2.29</u></b> : Droite d'étalonnage du silicium dissout .....	<b>41</b>
<b><u>Figure 3.1</u></b> : Concentrations du mercure en mg/kg (p.s) dans le sédiment des trois zones d'étude .....	<b>43</b>
<b><u>Figure 3.2</u></b> : Concentrations de l'aluminium (Al) et du fer (Fe) en g/kg (p.s) dans le sédiment des trois zones d'étude .....	<b>44</b>
<b><u>Figure 3.3</u></b> : Concentrations du manganèse (Mn), du zinc (Zn) et du cuivre (Cu) en g/kg (p.s) dans le sédiment des trois zones d'étude .....	<b>44</b>
<b><u>Figure 3.4</u></b> : Distribution des concentrations de mercure en mg/kg (p.s), d'aluminium et de fer en g/kg (p.s) dans le sédiment de la zone 2 .....	<b>45</b>
<b><u>Figure 3.5</u></b> : Distribution des concentrations de cuivre, de zinc et manganèse en g/kg (p.s) dans le sédiment de la zone 2 .....	<b>46</b>
<b><u>Figure 3.6</u></b> : Concentrations du mercure en mg/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie des trois zones d'étude .....	<b>47</b>
<b><u>Figure 3.7</u></b> : Concentrations de l'aluminium en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie des trois zones d'étude .....	<b>47</b>
<b><u>Figure 3.8</u></b> : Concentrations du fer en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie des trois zones d'étude .....	<b>47</b>
<b><u>Figure 3.9</u></b> : Concentrations du cuivre du zinc et du manganèse en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie des trois zones d'étude .....	<b>48</b>

<b><u>Figure 3.10</u></b> : Distribution des concentrations de mercure en mg/kg (p.s) et d'aluminium en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie de la zone 2 .....	<b>49</b>
<b><u>Figure 3.11</u></b> : Distribution des concentrations du cuivre, du zinc et du manganèse en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie de la zone 2 .....	<b>50</b>
<b><u>Figure 3.12</u></b> : Distribution des concentrations de manganèse en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie de la zone 2 .....	<b>51</b>
<b><u>Figure 3.13</u></b> : Concentrations du mercure en mg/kg (p.s) dans les gonades de l'oursin commun des trois zones d'étude .....	<b>51</b>
<b><u>Figure 3.14</u></b> : Concentrations de l'aluminium en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie des trois zones d'étude .....	<b>52</b>
<b><u>Figure 3.15</u></b> : Concentrations du fer en g/kg (p.s) dans les gonades de l'oursin commun des trois zones d'étude .....	<b>52</b>
<b><u>Figure 3.16</u></b> : Concentrations du zinc et manganèse en g/kg (p.s) dans les gonades de l'oursin commun des trois zones d'étude .....	<b>52</b>
<b><u>Figure 3.17</u></b> : Distribution des concentrations du mercure en mg/kg, de l'aluminium et du fer en g/kg (p.s) dans les gonades de l'oursin commun de la zone 2 .....	<b>53</b>
<b><u>Figure 3.18</u></b> : Distribution des concentrations de l'aluminium, du fer et du cuivre en g/kg (p.s) dans les gonades de l'oursin commun de la zone 2 .....	<b>54</b>
<b><u>Figure 3.19</u></b> : Distribution des concentrations de zinc et de manganèse en g/kg (p.s) dans les gonades de l'oursin commun de la zone 2 .....	<b>55</b>
<b><u>Figure 3.20</u></b> : Cercles de corrélation entre les concentrations métalliques dans les trois compartiments étudiés .....	<b>58</b>
<b><u>Figure 3.21</u></b> : Représentations des 6 métaux et 9 stations dans chaque compartiment étudié .....	<b>59</b>
<b><u>Figure 3.22</u></b> : Distribution des concentrations d'ammonium $[\text{NH}_4^+]$ en $\mu\text{mol/l}$ dans la zone 2 .....	<b>61</b>
<b><u>Figure 3.23</u></b> : Histogramme des concentrations en ammonium dans les trois zones d'étude .....	<b>62</b>
<b><u>Figure 3.24</u></b> : Distribution des concentrations de nitrites $[\text{NO}_2^-]$ en $\mu\text{mol/l}$ dans la zone 2 .....	<b>62</b>
<b><u>Figure 3.25</u></b> : Distribution des concentrations de nitrates $[\text{NO}_3^-]$ en $\mu\text{mol/l}$ dans la zone 2 .....	<b>63</b>
<b><u>Figure 3.26</u></b> : Histogramme des concentrations en nitrates dans les trois zones d'étude .....	<b>63</b>
<b><u>Figure 3.27</u></b> : Histogramme des concentrations en nitrites dans les trois zones d'étude .....	<b>64</b>
<b><u>Figure 3.28</u></b> : Histogramme des concentrations en orthophosphates dans les trois zones d'étude .....	<b>65</b>
<b><u>Figure 3.29</u></b> : Distribution des concentrations d'orthophosphates $[\text{PO}_4^{3-}]$ en $\mu\text{mol/l}$ dans la zone 2 .....	<b>65</b>
<b><u>Figure 3.30</u></b> : Histogramme des concentrations en silicium dissout dans les trois zones d'étude .....	<b>66</b>

<b><u>Figure 3.31</u></b> : Distribution des concentrations du silicium dissout [SiO <sub>2</sub> ] en µmol/l dans la zone 2 ..	<b>66</b>
<b><u>Figure 3.32</u></b> : Concentrations des coliformes dans les trois zones d'étude .....	<b>67</b>
<b><u>Figure 3.33</u></b> : Distribution des concentrations en coliformes dans la zone 2 .....	<b>68</b>
<b><u>Figure 3.34</u></b> : Concentrations des Streptocoques dans les trois zones d'étude .....	<b>69</b>
<b><u>Figure 3.35</u></b> : Distribution des concentrations en coliformes dans la zone 2 .....	<b>70</b>
<b><u>Figure 3.36</u></b> : Schéma approximatif de la colonie de <i>Caulerpa racemosa</i> dans la zone 2 .....	<b>74</b>



# *Introduction*

# Introduction



C'est près de la côte que la vie sous-marine se développe le plus. Et c'est dans cet endroit précis, que l'on rencontre l'écosystème le plus important de la Méditerranée (Boudouresque et Meinesz, 1982), l'herbier à Posidonie, principal réservoir de biodiversité de cette mer où près de 20 % de toutes les espèces connues en Méditerranée sont signalées. Cependant, c'est un écosystème biologiquement fragile et très sensible à la pollution.

Cette sensibilité aux impacts humains fait de cet écosystème l'indicateur biologique par excellence des impacts de la pollution en milieu côtier (Lacaze, 1993 ; Pergent *et al*, 1995 ; Charbonnel *et al*, 2003 ; Lafabrie, 2007). Il rend compte, par sa présence et sa vitalité de la qualité des eaux qui dérivent au dessus de lui. De plus, sa très large distribution en Méditerranée permet des études comparatives aux échelles les plus diverses, depuis un secteur de côte particulier jusqu'à l'échelle du bassin méditerranéen dans son ensemble. Selon Pergent (1995), de nombreux paramètres sont à même d'être enregistrés par l'herbier notamment les polluants stables dont les teneurs sont mémorisées et concentrés au cours du temps.

En effet, Les polluants tels que les métaux lourds (mercure, plomb, cadmium, arsenic...), les organochlorés (pesticides) et les hydrocarbures (substances à base de pétrole) sont charriés, via les effluents industriels, urbains et agricoles, vers le milieu marin, devenu, par la force des choses, le réceptacle universel de tous les déchets humains. Très stables en eau de mer, tous ces produits toxiques s'adsorbent sur le sédiment et les tissus de *Posidonia oceanica* (Baroli et al, 2001) et s'accumulent dans les organes (graisse, cerveau, gonades, foie, squelette...) des organismes vivants qui la consomment.

*Posidonia oceanica* est donc considérée comme un bio-indicateur fiable de la contamination métallique des écosystèmes littoraux. Dans le cadre de ce travail, il semble intéressant de vérifier cette hypothèse en comparant ses potentialités de bio-indicateur par rapport à d'autres matrices. À cet effet nous comparerons les concentrations métalliques mesurées dans les tissus de *Posidonia oceanica* à celles mesurées dans le sédiment et les gonades de l'oursin commun *Paracentrotus lividus*. Le choix de ces matrices pour l'évaluation de la qualité du milieu marin réside dans :

- Leur capacité de rétention et d'accumulation des micropolluants difficilement détectables directement dans l'eau de mer ;
- Leur intérêt dans le suivi spatial et temporel de la contamination du milieu marin ;
- Le suivi de la contamination de la chaîne alimentaire dont les applications se traduisent en termes de santé publique mais également en termes d'impacts écologiques de la contamination du milieu ;
- La sélection d'espèces à différents niveaux trophiques permettant d'appréhender le transfert des micropolluants dans la chaîne trophique.

Les métaux lourds les plus souvent considérés comme poisons pour l'homme sont le mercure, le plomb, le cadmium et l'arsenic. D'autres comme le cuivre, le zinc, le chrome pourtant nécessaires à l'organisme en petites quantités, peuvent devenir toxiques à doses plus importantes.

Le mercure est probablement l'un des éléments les plus étudiés en raison de sa très grande toxicité due à son accumulation et son caractère persistant tant dans l'environnement que dans le biote (Clarkson, 1998) ; c'est pourquoi son étude reste prioritaire dans notre travail.

L'objectif principal de ce travail consiste donc à étudier la mémorisation des métaux lourds : mercure, zinc, manganèse, cuivre, fer et l'aluminium par la magnoliophyte *Posidonia oceanica*, dans le sédiment où viennent s'enraciner ses rhizomes et les gonades des oursins *Paracentrotus lividus* récoltés directement sur cette dernière au niveau de trois sites soumis à des conditions d'anthropisation différentes : (i) une zone de référence située à l'OUEST de la baie de Bou-Ismaïl, la plage de la corne d'or et l'anse du CET ; (ii) une zone fortement anthropisée, lieu de déversement de rejets industriels, située au niveau de la ville de Bou-Ismaïl (au centre de la baie) ; (iii) un site à priori considéré intermédiaire à l'extrême EST de la baie, la plage de la Thalassothérapie.

Le choix de la région d'étude s'est porté sur la baie de Bou-Ismaïl qui est une région à vocation touristique, fortement anthropisée et qui subit de fortes pressions urbaines ces dernières décennies notamment en période estivale. La profondeur des zones d'étude est comprise entre la surface et -10 m dans le but de travailler au niveau de la limite supérieure de l'herbier à posidonie ; là où ce dernier est le plus sensible aux rejets directs surtout en mode calme.

Cette étude viendra enrichir, un tant soit peu, les données déjà acquises au niveau national ainsi que dans différentes localités du bassin méditerranéen et contribuera à une meilleure connaissance de la pollution chimique et ses impacts sur les herbiers à posidonie (premier écosystème à faire face aux nuisances humaines) dans notre pays.

L'analyse des sels nutritifs, des paramètres physico chimiques et bactériologiques : coliformes thermotolérants, streptocoques fécaux, *Escherichia coli*, nous permettra de mettre en évidence le type et l'origine de la pollution que subit la posidonie dans la baie de Bou-Ismaïl, et d'essayer ainsi de mieux comprendre l'impact de l'environnement anthropisé sur la vitalité de l'herbier à *Posidonia oceanica* au niveau des trois sites d'étude.

# Chapitre 1



# Généralités

## 1.1. Présentation de la Posidonie

La Posidonie est une phanérogame marine, descendant de magnoliophytes continentales retournées dans le milieu marin, au crétacé, il y a 120 à 100 millions d'années (Ma) ; lesquelles avaient quitté ce même milieu pour partir à la conquête des continents il y a 475 Ma, à l'ordovicien (ère primaire) (Boudouresque et Meinez, 1982 ; Wellman *et al.*, 2003).

Il s'agit plus exactement d'une plante angiosperme monocotylédone sous-marine. Comme toutes les plantes à fleurs, elle a des racines, une tige rhizomateuse, et des feuilles rubanées. Elle fleurit en automne et produit au printemps des fruits flottants communément appelés « olive di mare » (« olives de mer ») en Italien.

La posidonie forme de vastes herbiers entre la surface et 40 m de profondeur et constitue l'écosystème majeur de Méditerranée notamment par son rôle très important dans la protection des côtes contre l'érosion. Il est également bien connu que beaucoup d'organismes, animaux et végétaux, viennent y trouver protection et alimentation.

## 1.2. Systématique

Il existe 12 genres et 59 espèces de phanérogames marines dans le monde (Green et Short, 2003) (voir annexe 1). En méditerranée, on en recense uniquement 5 espèces : *Cymodocea nodosa* (la Cymodocée), *Zostera marina* (la zostère marine) *Zostera noltii* (la zostère naine), *Halophila stipulacea* (espèce lessepsienne) et la plus abondante de tous, *Posidonia oceanica* (la posidonie).

En 1735, Linné décrit l'espèce dans son *Systema Naturae*<sup>1</sup>, l'appelant *Zostera oceanica*. En 1813, Delile la renomme *Posidonia oceanica*, d'où le nom scientifique complet de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 selon la nomenclature binomiale.

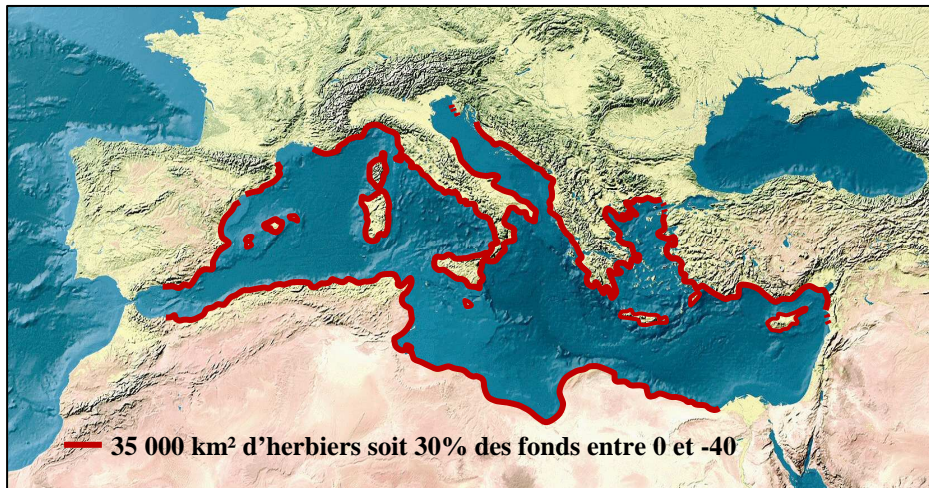
## 1.3. Description et distribution

La posidonie est une espèce endémique de la méditerranée. Elle constitue entre 0 et 30-40m de profondeur, des peuplements très denses nommés herbiers (figure 1.1) qui forment un liseré presque continu tout autour des deux bassins de la méditerranée (figure 1.2) dont le rôle est comparable à celui de la forêt (Lacaze, 1993).



**Figure 1.1** : Aspect général d'un herbier à *Posidonia oceanica*

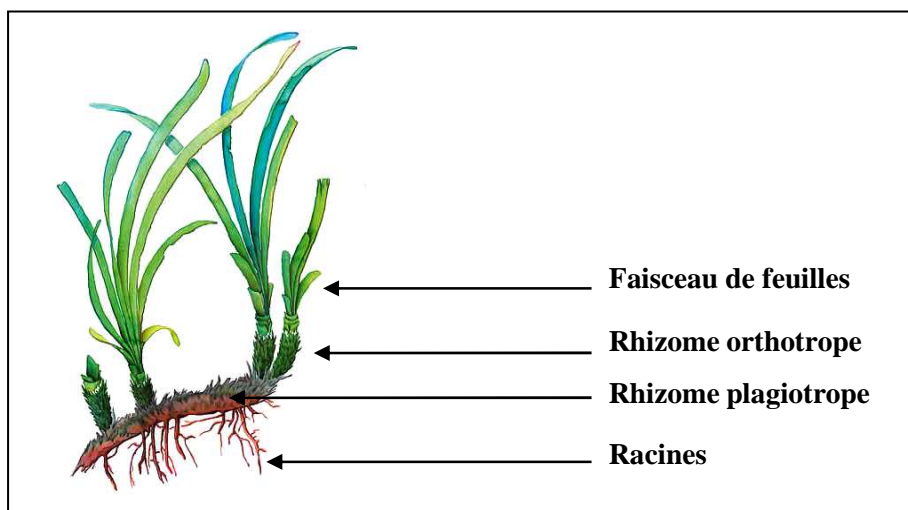
<sup>1</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Systema\\_Naturae](http://fr.wikipedia.org/wiki/Systema_Naturae)



**Figure 1.2 :** Distribution géographique de *Posidonia oceanica* en méditerranéenne

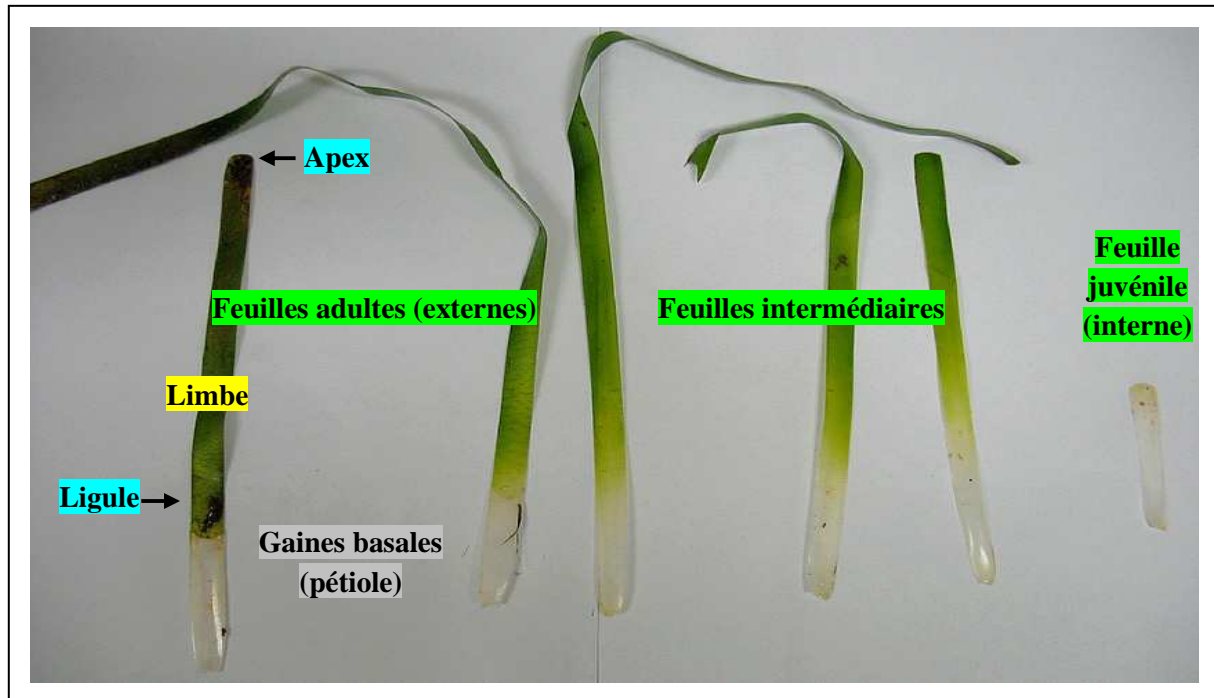
À l'Ouest, elle disparaît un peu avant le détroit de Gibraltar, vers Calaburros au Nord et Melilla au Sud (Conde Poyales, 1989). À l'Est, elle est absente des côtes d'Égypte (à l'Est du delta du Nil), de Palestine, d'Israël et du Liban (Por, 1978). Elle ne pénètre pas en mer de Marmara ni en mer Noire. Enfin, elle est rare ou absente dans l'extrême Nord de l'Adriatique (Zalokar, 1942 ; Gamulin-Brida *et al.*, 1973 ; Gamulin-Brida, 1974) et le long des côtes languedociennes, entre la Camargue et Port-la-Nouvelle (Boudouresque et Meinesz, 1982).

La plante est constituée de tiges rampantes ou dressées, généralement enfouies dans le sédiment, que l'on nomme *rhizomes*. Les rhizomes rampants, de croissance horizontale, sont dits *plagiotropes*, et les rhizomes dressés, de croissance verticale, sont dits *orthotropes*. En fonction de l'espace disponible, un rhizome orthotrope peut devenir plagiotrope, et vice-versa (Caye, 1980). Les rhizomes se terminent par des groupes de 4-8 feuilles (faisceaux), larges de 8-11mm et longues de 20-80cm. Cette longueur peut toutefois atteindre 156cm. Les rhizomes portent également des *racines*, qui peuvent descendre jusqu'à 70cm dans le sédiment (Boudouresque *et al.*, 2006).



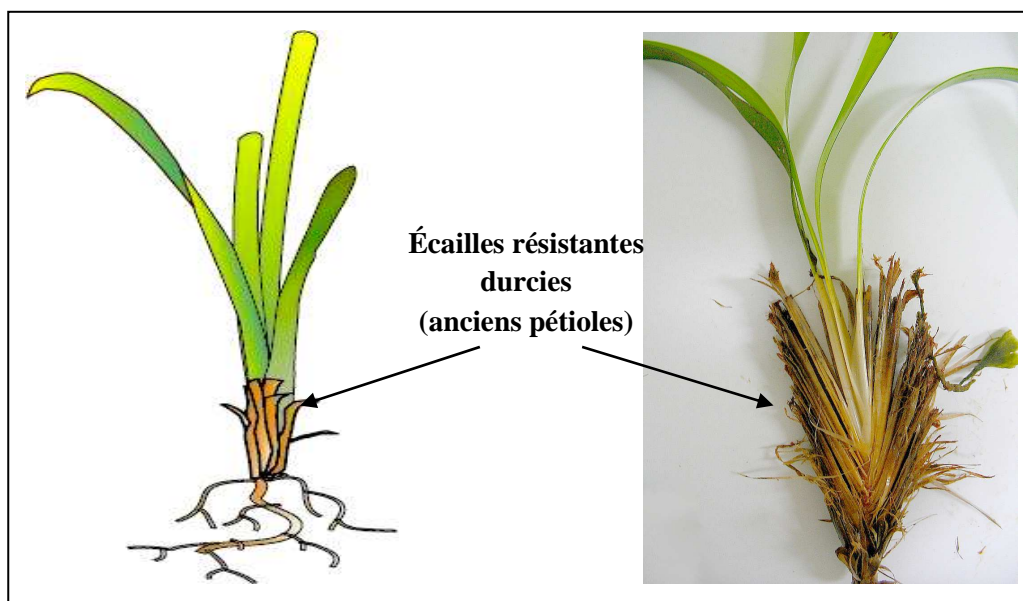
**Figure 1.3 :** Un rhizome plagiotrope de *Posidonia oceanica* portant des racines ainsi que des rhizomes orthotropes avec des faisceaux de feuilles à leurs extrémités

On nomme *feuilles juvéniles* les feuilles de moins de 5cm de longueur et *feuilles intermédiaires*, les feuilles de plus de 5cm sans *gaine basale* (pétiole) ; lorsque la croissance est terminée, une gaine basale se met en place : la feuille est alors dite *adulte* (figure 1.4).



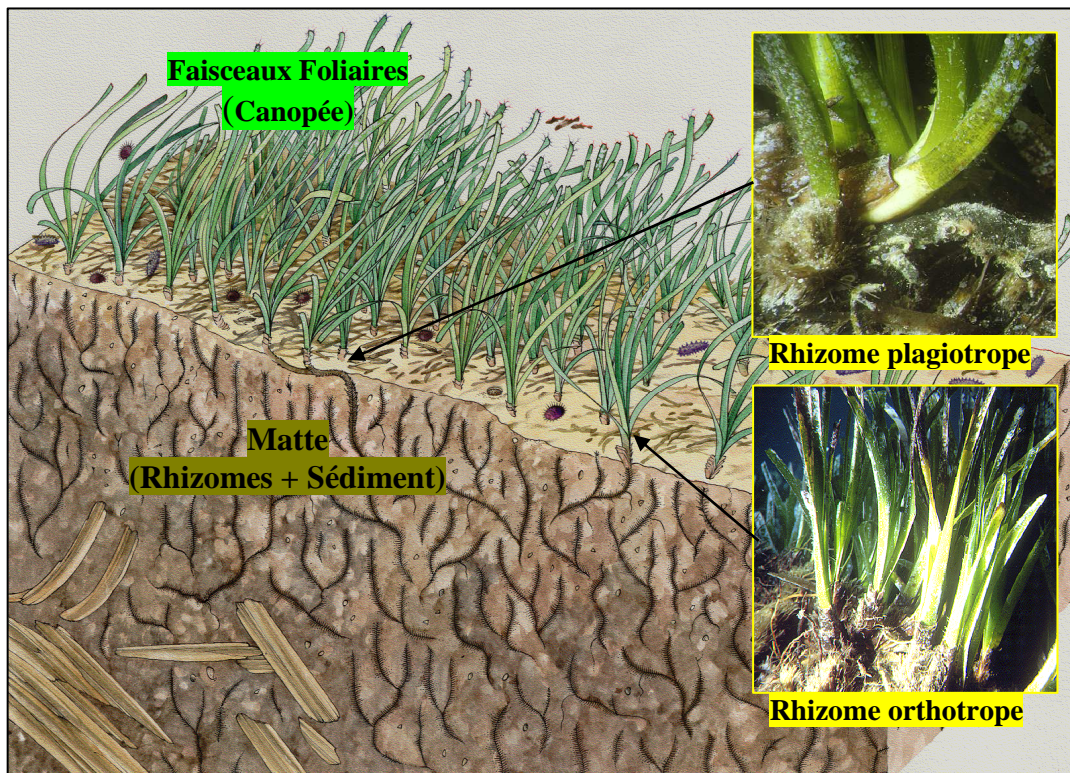
**Figure 1.4 :** Structure d'un faisceau de feuilles de *Posidonia oceanica*

Les feuilles mortes se détachent du rhizome en laissant sur ce dernier une *écaille* résistante (ancien pétiole), qui contribue à le consolider (Figure 1.5).



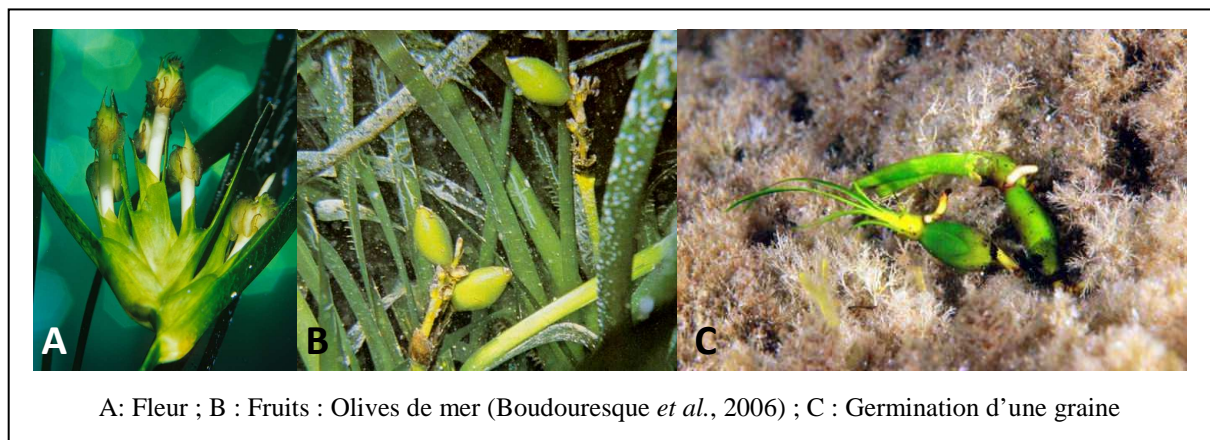
**Figure 1.5 :** Consolidation du rhizome par les écailles

On nomme *matte* le lacs de rhizomes peu putrescibles (Boudouresque, 1983), et le sédiment piégé.



**Figure 1.6 :** Aspect général de la matte constituée par les rhizomes et le sédiment (d'après Boudouresque *et al.*, 2006)

À la fin de l'été ou en automne se produit la floraison, phénomène relativement difficile à observer. Les *fleurs* (figure 1.7 : A) sont hermaphrodites et donnent des *fruits* appelés *olives de mer* (figure 1.7 : B) qui se détachent quand ils ont mûri et sont dispersés dans la mer par les vagues et les courants, tombent sur un lieu favorable, germent (figure 1.7 : C) et donnent lieu à une nouvelle plante.



A : Fleur ; B : Fruits : Olives de mer (Boudouresque *et al.*, 2006) ; C : Germination d'une graine

**Figure 1.7 :** Floraison de *Posidonia oceanica*

On trouve sur les plages des petites pelotes de fibres appelées *aegagropiles* provenant de la décomposition physique de la plante dont les fragments, imputrescibles, sont roulés par les courants et s'agglomèrent entre eux.



**Figure 1.8 :** Aegagropiles : pelotes de fibres (écailles et rhizomes) roulées par la mer

#### 1.4. Écologie

En mode calme, *Posidonia oceanica* peut se développer très près du niveau moyen de la mer : ses feuilles s'étalent alors à la surface. La **profondeur** maximale dépend de la transparence de l'eau : dans le Var et en Corse, des touffes isolées de *P. oceanica* ont été observées jusqu'à 45-48m de profondeur (Augier et Boudouresque, 1979 ; Boudouresque *et al.*, 1990).

La **lumière** constitue l'un des facteurs les plus importants pour sa répartition et sa densité (Elkalay *et al.*, 2003).

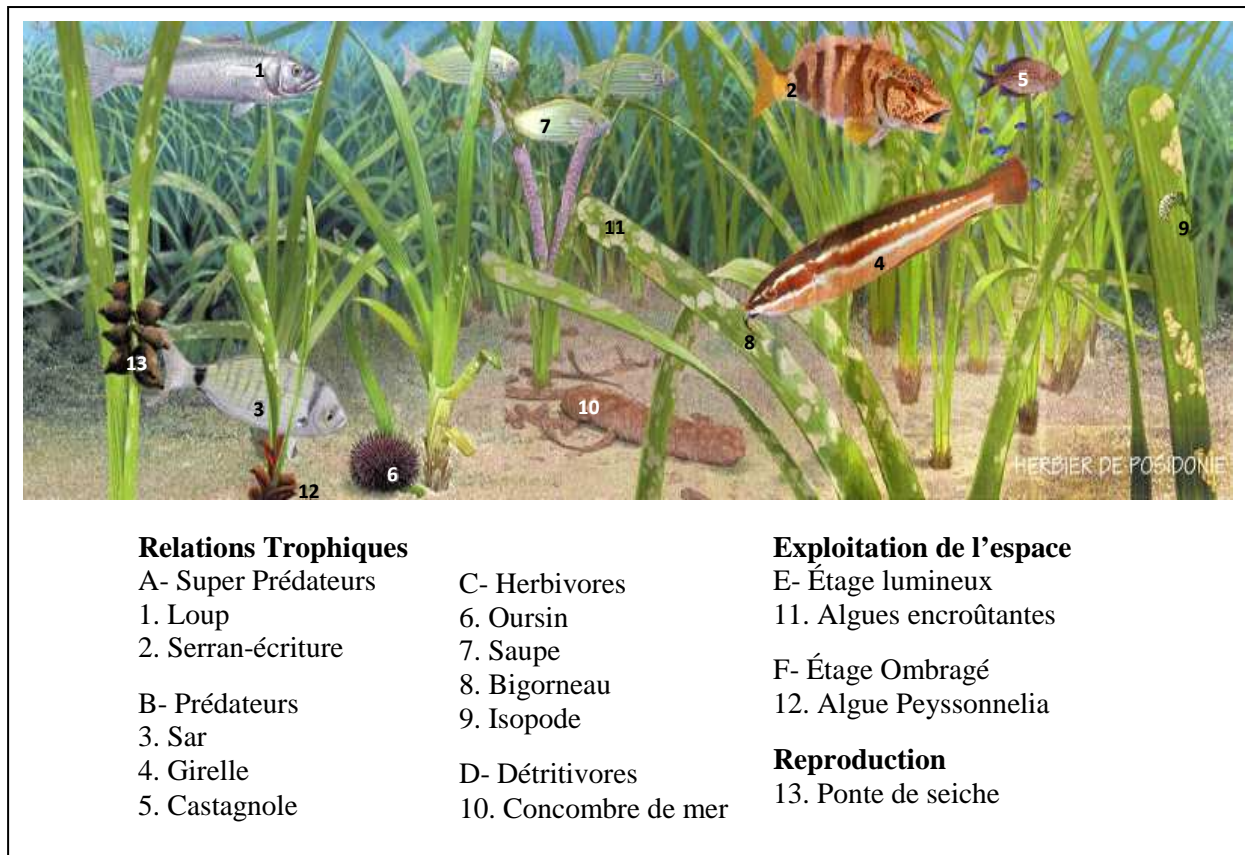
Les **températures** extrêmes mesurées dans un herbier à *P. oceanica* sont 9,0 et 29,2°C (Augier *et al.*, 1980 ; Robert, 1988). Il est possible toutefois que les températures basses (moins de 10°C) et hautes (plus de 28°C) ne soient supportées qu'exceptionnellement (Boudouresque *et al.*, 2006).

Elle craint la **dessalure**, il ya dépérissement immédiatement en dessous de 33‰ (Ben Alaya, 1972). C'est la faible salinité qui l'élimine de la mer de Marmara (21-27‰), des étangs saumâtres de la côte languedocienne et du voisinage de l'embouchure des fleuves côtiers. L'absence de *P. oceanica* de la partie centrale de nombreuses plages pourrait correspondre à la zone de résurgence d'une nappe phréatique (LERICHE, 2004). L'espèce semble mieux résister aux salinités élevées, bien que Ben Alaya (1972) ait indiqué que 41‰ constitue sa limite supérieure de tolérance.

Elle craint un **hydrodynamisme** trop intense. Les tempêtes arrachent des faisceaux de feuilles, dont certains constitueront des boutures. Elles peuvent éroder la "matte", soit directement, soit en la vidant de son sédiment, ce qui la fragilise. C'est la raison pour laquelle, en mode battu, l'herbier ne s'approche pas à plus de 1 ou 2m de la surface (Boudouresque *et al.*, 2006).

### 1.5. La vie dans l'herbier : L'oasis de vie

La Posidonie multiplie la surface initialement disponible au sol par 20 à 50 fois. Ainsi, sur 1 m<sup>2</sup> de sol, les végétaux et animaux fixés disposent de 20 à 50 m<sup>2</sup> pour s'accrocher. De plus elle présente la particularité de croître non seulement horizontalement mais aussi verticalement, pour échapper à l'enfouissement causé par la sédimentation. Ce mode de croissance est à l'origine de la formation de mattes anfractueuses qui sont le siège de nombreux abris (Khoury, 1984).

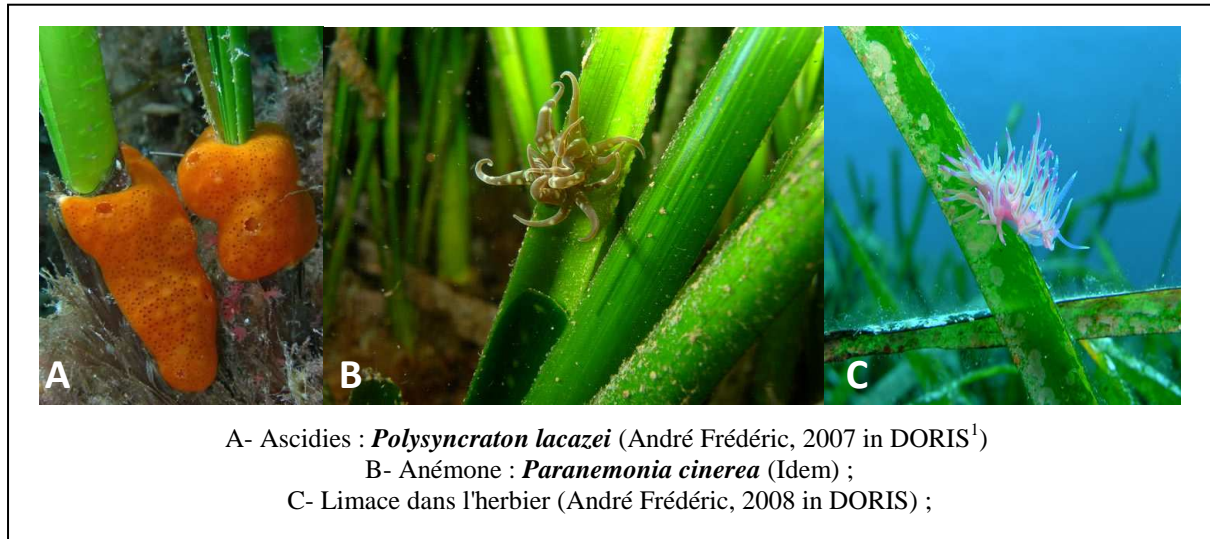


**Figure 1.9 :** La vie dans l'herbier à Posidonie (d'après Toni Llobet *et al.*, 2008)

Les feuilles sont couvertes de petites algues qui accèdent ainsi à la lumière et de petits invertébrés filtreurs fixés (ascidies, anémones, vers, bryozoaires, ... etc.) (figure 1.10). Ils sont ainsi exposés à la masse d'eau et filtrent les particules en suspension. Ces organismes fixés sur les feuilles, animaux et végétaux, constituent les *épiphytes*.

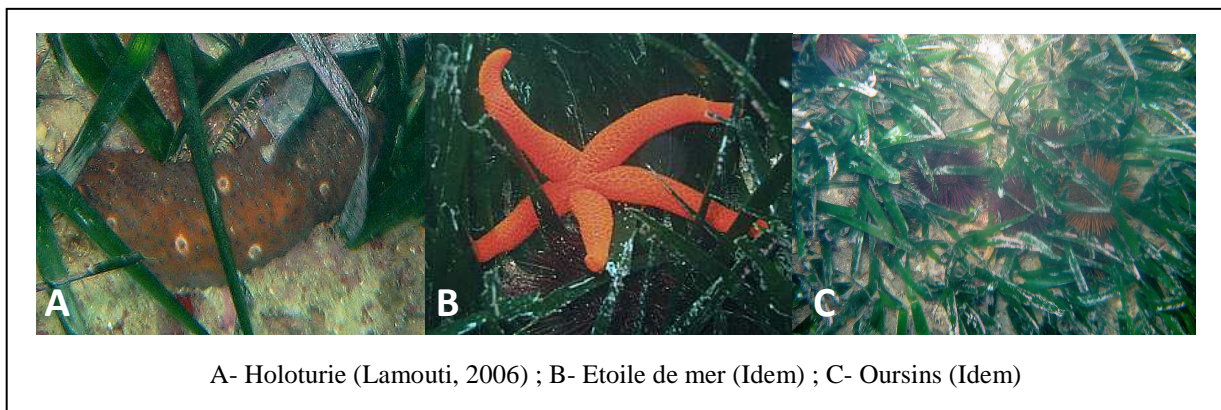
Les algues épiphytes et parfois les filtreurs sont la proie d'autres petits invertébrés qui se déplacent sur les feuilles et les rhizomes en broutant les épiphytes. C'est notamment le cas de petits gastéropodes et de crustacés (Guitouninouninou et Palluy, 2001).

*Des éponges* se rencontrent fréquemment, encroûtant les rhizomes de la plante et se nourrissant par filtration (*idem*).



**Figure 1.10 :** Invertébrés filtreurs dans l'herbier à Posidonie

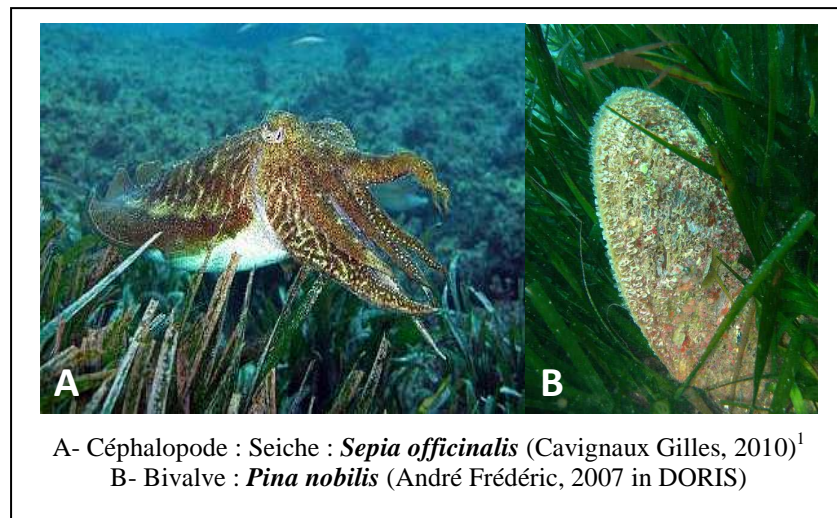
Les échinodermes (figure 1.11) sont très bien représentés dans l'herbier. On trouve plusieurs espèces d'étoiles de mer et les oursins sont nombreux. L'oursin comestible (*Paracentrotus lividus*) mange les feuilles et tout ce qui est fixé dessus, tandis que le gros oursin violet (*Sphaerechinus granularis*) préfère les rhizomes et les racines de la Posidonie. Les concombres de mer (holoturies) se nourrissent de leurs excréments et des déchets. En effet, les feuilles de Posidonies sont coriaces et ne sont jamais digérées entièrement du premier coup (Guitouninouninou et Palluy, 2001).



**Figure 1.11 :** Échinodermes dans l'herbier à Posidonie

Les mollusques sont également bien représentés, en particulier par les plus évolués d'entre-eux : les céphalopodes (poulpes et seiches) (figure 1.12 : A). La grande nacre : *Pinna nobilis* (figure 1.12 : B), est un autre mollusque remarquable ; sa forme (en jambon) lui permet de se planter dans la matre.

<sup>1</sup> DORIS est l'acronyme de : Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et de la flore Subaquatiques : <http://doris.ffessm.fr/accueil.asp>



**Figure 1.12 :** Mollusques dans l'herbier à Posidonie

Les poissons (carnivores ou omnivores pour la plupart) sont très nombreux. L'herbier constitue pour eux un garde-manger opulent, un gîte et pour certaines espèces une nurserie pour les jeunes (Guitouninouninou et Palluy, 2001). Les poissons les plus représentatifs sont les Syngnathes, les hippocampes, les scorpenidés tel que les rascasses brune et surtout les labridés qui sont presque strictement liés à ce milieu (Santa et Simonet, 1966).



**Figure 1.13 :** Poissons dans l'herbier à Posidonie

## 1.6. Importance et rôle

Les prairies à posidonie constituent un élément fondamental pour la qualité des milieux littoraux (Boudouresque et Meniez, 1982 ; Videau et Merceron, 1992). Ils représentent un écosystème pivot et un pôle de biodiversité remarquable. En effet, ils permettent de :

<sup>1</sup> <http://pagesperso-orange.fr/christian.coudre/seiche.html>

<sup>2</sup> <http://www.mareblunet.it/kbp.asp?idp=2&sez=Biologia%20marina>

- Produire d'énormes quantités d'oxygène - sous produit de la photosynthèse - entre 4 et 20 litres d'oxygène par 24 heures (Bay, 1978) ;
- Offrir des habitats variés à de très nombreuses espèces de vertébrés et d'invertébrés (abris, frayères, nurseries) (Pergent, 1993) ;
- Fournir de la nourriture à un grand nombre d'espèce, et exporter les surplus de production vers d'autres fonds moins propices à la vie (Lacaze, 1993) ;
- Fixer les fonds, protéger les plages de l'érosion et agir comme un régulateur des vagues, courants et houle. par un double effet de l'atténuation de leur force par les banquettes, et le piégeage du sédiment par les feuilles et le lacis serré de leurs rhizomes (Blanc et Jeudy De Grissac, 1978 ; Boudouresque et Jeudy De Grissac, 1983 et Gambi *et al.*, 1989) ;
- Rendre compte par leur présence et leur vitalité de la qualité des eaux du milieu environnant (Pergent, 1991) en fonctionnant à différents niveaux (Pergent, 1993) :
  - **Au niveau de la population** : d'une part, la limite supérieure nous renseigne sur les conséquences des rejets urbains et industriels et les aménagements littoraux, ... etc., et d'autre part, la limite inférieure de l'herbier nous renseigne sur la turbidité moyenne des eaux qui dérivent au-dessus de lui. La présence de structures érosives (inter-mattes, chenaux,...) au sein de l'herbier témoigne de la présence de courants et de la pêche destructive ;
  - **Au niveau de l'individu** : les modifications lépidochronologiques et phénologiques nous permettent de connaître l'évolution des paramètres caractéristiques du milieu et de suivre la pollution à des périodes données ;
  - **Au niveau anatomique** : les cellules à tanin, qui sont des cellules riches en acide phénolique, et les enzymes de détoxification semblent augmenter en réponse à l'état de stress de la plante.

C'est pour toutes ces raisons que les herbiers à posidonie sont devenus, au cours de ces dernières années, un objectif majeur de protection et de gestion du milieu marin en Méditerranée (Pergent, 1991a ; Boudouresque *et al.*, 1995 ; Anonyme, 2000 ; Pergent-Martini, 2000 ; Anonyme, 2001 ; Boudouresque, 2003 ; Procaccini *et al.*, 2003).

## 1.7. La posidonie en Algérie

*Posidonia oceanica* est l'espèce de phanérogames la plus répandue des côtes algériennes ; elle colonise la quasi-totalité de l'étage infralittoral et forme de riches herbiers entre 0,5 et 30m de profondeur ; toutefois les surfaces occupées restent modestes, en raison de l'étroitesse du plateau continental, particulièrement accentuée au niveau des caps.

La seule cartographie à grande échelle des herbiers à *Posidonia oceanica* d'Algérie disponible est celle établie par Vaissière et Fredj (1963). Elle indique que les herbiers étaient particulièrement bien développés dans le golfe d'Annaba, la Baie de Bou-Ismaïl et le golfe d'Arzew. Dans ce dernier, ils descendent jusqu'à l'isobathe 30m, tandis que dans le golfe d'Annaba et la baie de Bou-Ismaïl ils ne dépassent pas l'isobathe 25m. À ce travail s'ajoutent l'ensemble des études ponctuelles portant sur les différents aspects liés à l'écosystème à *Posidonia oceanica* qui viennent préciser cette répartition (Braïk, 1989 ; Semroud, 1993 ; Boumaza, 1995).

En 2006, Lamouti décrit l'herbier à *Posidonia oceanica* dans la plage de la thalassothérapie à Sidi-Fredj, au niveau de la baie de Bou-Ismaïl, et réussit à estimer son occupation à 4275m<sup>2</sup> tout en apportant de précieuses informations.

À proximité des côtes et en mode calme, la croissance en hauteur de l'herbier conduit à la formation de récifs barrières, séparé de la côte par un lagon. En Algérie, ce type de paysage est signalé à El-Kala (vers l'entrée du chenal menant au lac mellah) ; à l'anse de Kouali à Tipaza (Le Gall, 1996 ; Boumaza, 1995) où il constitue l'un des plus prospères des récifs barrières des côtes algériennes et en 1953, Molinier et Picard signalent l'existence de petits récifs entre Bou-Ismaïl et Sidi-Fredj et dans les secteurs de Jijel (banc des kabyles) et de Bejaia (l'actuel parc national de Gouraya) (Boumaza, 2003).

## 1.8. Menaces sur l'herbier :

En Algérie, des phénomènes de destruction ou de régression des herbiers sont souvent rapportés, aux alentours des grands centres urbains, industriels et portuaires : Alger, Annaba, Oran. En effet, du fait de leur localisation très côtière, les herbiers de phanérogames marines sont directement soumis aux impacts engendrés par les activités humaines. Dans la baie d'Alger, les herbiers à *Posidonia oceanica* ne s'étendent guère au-delà de 8m de profondeur, ceux qui subsistent sont dans un état de forte dégradation (Boumaza, 2003).

Les principales causes de régression des herbiers sont:

**1.8.1. Les pollutions industrielles et urbaines :** La pollution, considérée globalement, constitue la principale menace : la disparition des herbiers autour des sources de pollution en témoigne (Boudouresque, 2003). En effet, Depuis de nombreuses années les herbiers à *Posidonia oceanica* présentent des régressions massives à proximité des grands centres urbains et industriels. L'origine de ces régressions a souvent été imputée à l'action de polluants chimiques (Bellan-Santini *et al.*, 1994 ; Pergent-Martini *et al.*, 1995). Parmi les contaminants chimiques émis par les rejets terrestres et nocifs pour la Posidonie, citons les métaux lourds comme le Mercure, les sels nutritifs, les détergents, les HAPs (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), les pesticides, et le TBT (Tributylétain), ancien composant des peintures antisalissure des coques, qui réduisent la vitalité des herbiers à *Posidonia oceanica* (Pérès et Picard, 1975 ; Augier *et al.*, 1987).

L'effet des substances solubles est rapide, mais les substances insolubles peuvent également avoir un impact très négatif ; en effet, étant relativement stables, elles peuvent s'accumuler jusqu'à des concentrations toxiques pour la flore et la faune. La présence d'une concentration élevée de contaminants peut déterminer l'altération de la biosynthèse des pigments photosynthétiques : le long d'un gradient de pollution croissante, la teneur des feuilles de *P. oceanica* en pigments photosynthétiques diminue (Augier et Maudinas, 1979).

Les détergents (tensio-actifs) s'accumulent dans le sédiment, contaminant les racines, les rhizomes et les feuilles (Pérès et Picard, 1975). Augier *et al.* (1984) ont montré que leur présence à de faibles concentrations peut favoriser la photosynthèse mais qu'à de plus importantes concentrations, une diminution significative du métabolisme par blocage de la photosynthèse est observée chez la Posidonie ainsi que des altérations morphologiques et histologiques des tissus foliaires.

Les nutriments déterminent la prolifération des épiphytes des feuilles de *P. oceanica*, ce qui a pour conséquence la réduction de la croissance des feuilles, puis la diminution de la densité des faisceaux de feuilles (Pergent et Pergent-Martini, 1995 ; Pergent-Martini *et al.*, 1996).

Le mercure est absorbé par le système racinaire et les études réalisées en laboratoire confirment que la teneur de *P. oceanica* en mercure est corrélée à sa concentration dans le sédiment (Cristiani, 1980). L'accumulation du mercure dans les tissus foliaires détermine de graves désordres physiologiques chez la plante, allant jusqu'à des nécroses cellulaires et l'arrêt de la croissance des feuilles.

De plus, les différentes formes de mercure rejetées par l'homme dans les eaux littorales sont transformées par les bactéries anaérobies contenues dans les sédiments en *méthylmercure* très stable et fort toxique qui s'accumule dans la posidonie contaminée pour se retrouver après dans le système nerveux des vertébrés. Ces derniers, en tant que ressources naturelles vivantes, sont consommés par l'homme ! Mais contaminés, ces fruits de mer posent un véritable problème de santé. Rappelons la maladie de Minamata, au Japon, qui a donné la première alerte mondiale contre les résidus à base de mercure déversés dans les mers : entre 1950 et 1960, de nombreux pêcheurs d'un village de l'île de Kyushu ont été victimes des sels de mercure concentrés dans le poisson qu'ils ont pêchés et consommés. Fait qui pourrait facilement se produire dans notre pays (en Algérie) si aucune étude de surveillance n'est faite et la méconnaissance des écosystèmes marins persiste.

En plus d'une bonne résistance à la contamination métallique par sa persistance au voisinage de sources importantes, la capacité de *P. oceanica* à accumuler des quantités élevées de métaux lourds, proportionnelles aux teneurs présentes dans le milieu (Augier, 1985 ; Capiomont *et al.*, 2000 ; Pergent Martini et Pergent, 2000 ; Baroli *et al.*, 2001), en particulier dans ses feuilles et ses rhizomes (Baroli *et al.*, 2001), fait de cette espèce un bioindicateur intéressant (Boudouresque *et al.*, 2006) capable de mémoriser, au sein de ses tissus, les teneurs anciennes qui alliées aux possibilités de datation offerte par la lépidochronologie, ouvrent des perspectives uniques dans le suivi au cours du temps de la pollution (Calmet *et al.*, 1988, 1991 ; Carlotti *et al.*, 1992 ; Pergent-Martini, 1998 ; Pergent et Pergent et Pergent-Martini, 1999) et permettant ainsi de disposer de véritables archives biologiques à même de nous renseigner sur l'évolution temporelle d'une pollution.

**1.8.2. La turbidité :** la diminution de la transparence de l'eau, sous l'effet de la turbidité ou de l'eutrophisation et du développement du plancton qui en résulte, réduit la quantité de lumière en profondeur. La limite inférieure de l'herbier remonte alors (Boudouresque, 2003) ;

**1.8.3. Les arts traînants :** l'utilisation des arts traînants constitue la principale menace directe sur les herbiers. En effet, bien que la législation algérienne interdise l'utilisation de ces engins sur les fonds de moins de 50m ou à proximité des côtes, ils n'en restent pas moins utilisés (Boumaza, 2003) ;

**1.8.4. Les aménagements :** le recouvrement par les aménagements littoraux et la modification des flux sédimentaires (exploitation des sables ou aménagement littoral) sont d'importantes menaces sur l'herbier ;

**1.8.5. Les explosifs :** Pratique interdite par la législation nationale, mais continue d'être utilisée dans certains secteurs;

**1.8.6. La compétition avec des espèces introduites :** La *Caulerpa taxifolia* qui colonise presque tous les types de substrats, en particulier les mattes mortes et les prairies à *P. oceanica* ; notamment les herbiers stressés ou dégradés dont elle peut accentuer le recul (Boudouresque *et al.*, 1995). *Caulerpa racemosa*, la deuxième chlorophyte introduite en Méditerranée, et dont l'expansion est extraordinairement rapide, puisqu'elle est aujourd'hui présente dans la plus grande partie de cette mer (Verlaque *et al.*, 2004, Piazzini *et al.*, 2005).

**1.8.7. Pollutions biologiques :** d'après Bernard et Gravez (2003), membres de la fondation GIS posidonie (Groupement d'Intérêt Scientifique)<sup>1</sup>, la pollution par les micro-organismes n'est pas à écarter des causes de régression de la posidonie : les germes (bactéries, virus, champignons, etc.) provenant des égouts peuvent proliférer à leur arrivée dans le milieu marin, même s'il est vrai qu'il s'agit d'un milieu qui ne favorise pas la vie de la plupart des agents pathogènes.

## 1.9. Mesures de protection de l'herbier à posidonie :

Face aux nuisances qu'ils endurent, plusieurs mesures de protection des herbiers ont été adoptées notamment dans la convention de Rio de 1992, la directive habitat de 1992 de l'union européenne, et la convention de Barcelone de 1999. Ces mesures sont axées sur (Lamouti, 2006) :

- L'installation de réseaux de surveillance de l'état de santé de l'herbier et son utilisation comme indicateur biologique de la qualité de l'eau ;
- L'installation de réseaux de surveillance des espèces invasives ;
- L'interdiction de la pratique du chalutage sur les 3 premiers milles des côtes (France, Italie, Tunisie) ou à moins de 50m de profondeur (Algérie) ;
- L'interdiction de l'ancrage des navires dans les zones où se trouve la posidonie ;
- La création d'aires marines protégées ;
- La sensibilisation des usagers de la mer ;
- La réimplantation de *Posidonia oceanica*.

En Algérie, les herbiers sous-marins sont classés parmi les sites d'intérêt écologique ou de valeur scientifique sur le littoral et sont préservés de l'occupation et l'utilisation des sols littoraux par la Loi relative à la protection et à la valorisation du littoral : n° 02-02 du 22 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 5 février 2002 (parue au Journal Officiel n° 10 du 12 février 2002)<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> <http://www.com.univ-mrs.fr/gisposi/spip.php?article4>

<sup>2</sup> [www.joradp.dz/](http://www.joradp.dz/)

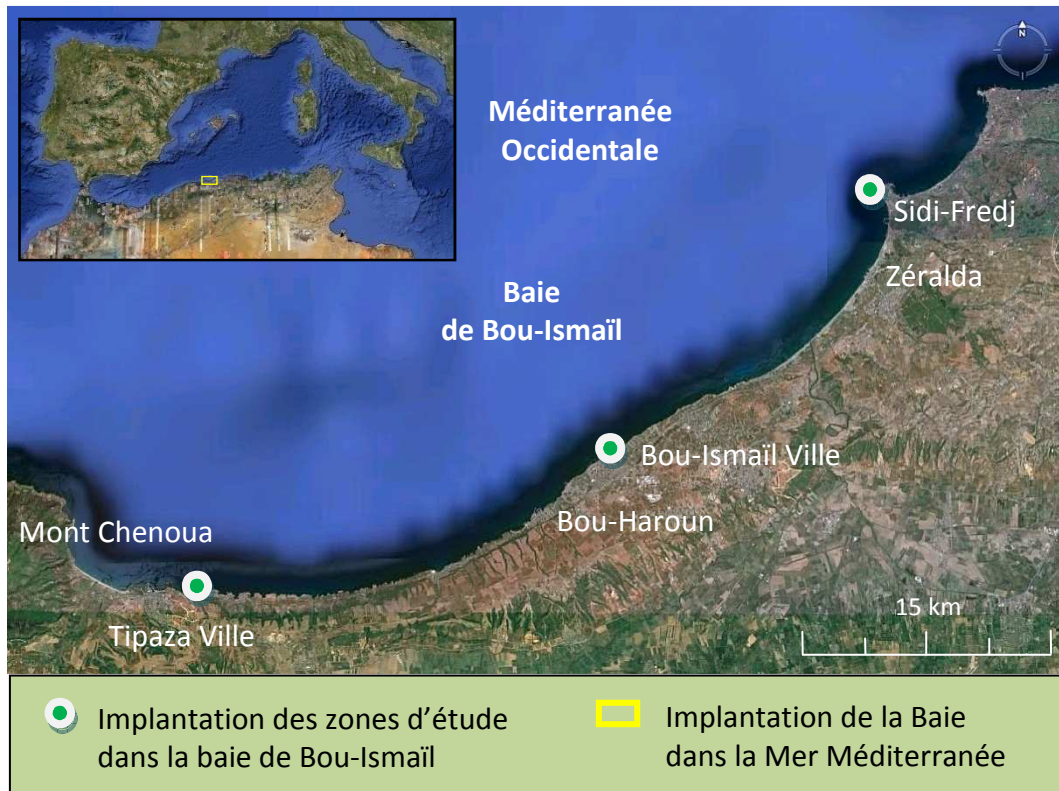
## Chapitre 2



# Matériels & Méthodes

## 2.1. Présentation de la baie de Bou-Ismaïl :

Située entre 2° 24' E et 2° 54' E et avec un linéaire de plus de 60 km et une ouverture de l'ordre de 48 Km, la baie de Bou-Ismaïl (ex-Castiglione) se loge dans la wilaya de Tipaza à 30 Km à l'Ouest d'Alger. Cette baie est l'une des plus importantes de la côte algérienne. Son rivage, orientée N 60°, est soumis à l'influence des houles d'Ouest et Nord-Ouest. Elle est délimitée par le cap du mont Chenoua à l'Ouest, Ras-Acrata à l'Est, la plaine de la Mitidja au Sud et la Méditerranée occidentale au Nord (voir figure 2.1).

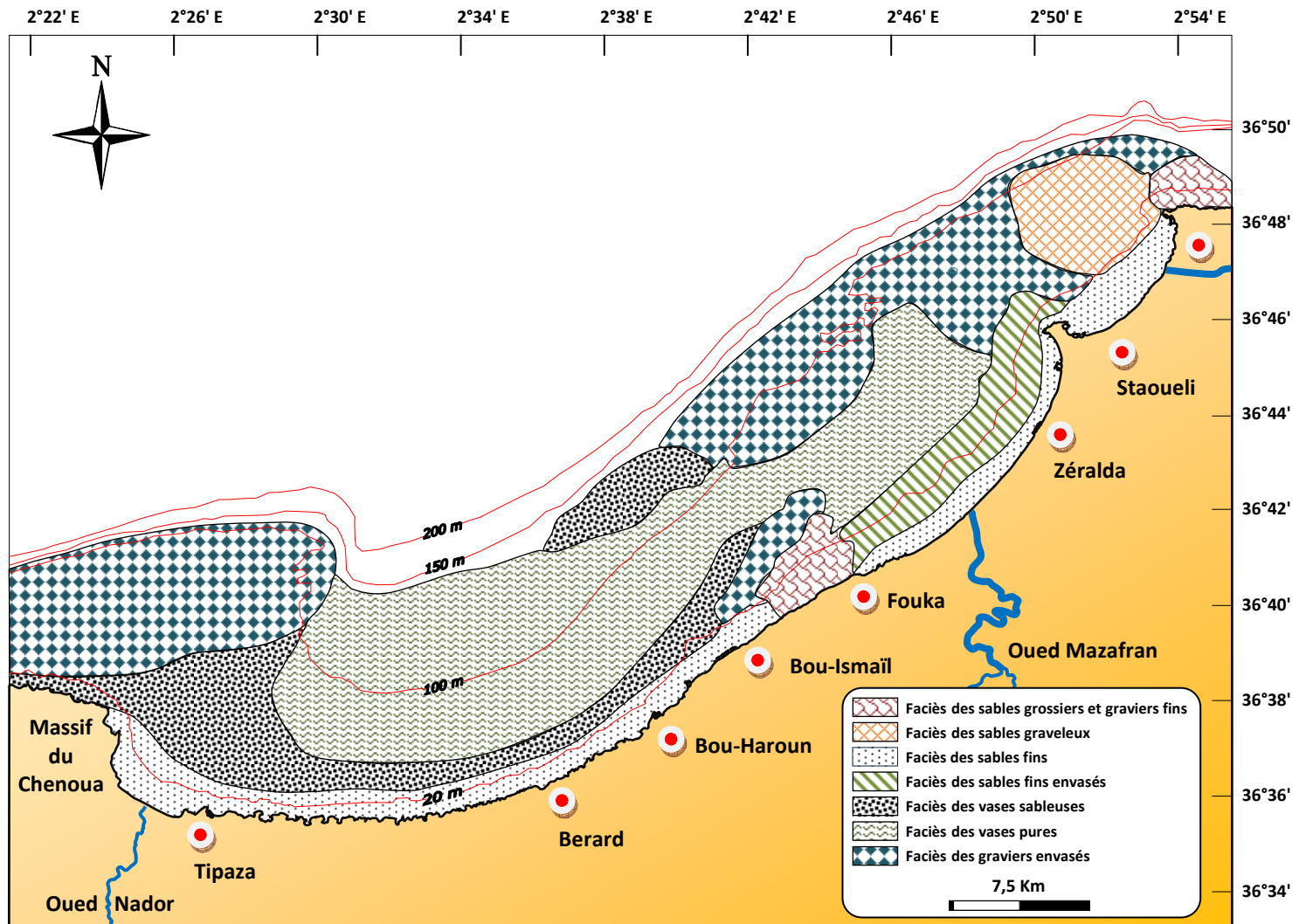


**Figure 2.1 :** Localisation géographique de la baie de Bou-Ismaïl (Google Earth, 2010)

**2.1.1. Géomorphologie :** Le plateau continental de la baie est étroit aux alentours des caps et massifs : 8 km au niveau de Chenoua et un peu plus de 3 km en face de Ras Acrata. Il s'élargit au milieu de la baie : 14 Km en face du Mazafran.

**2.1.2. Hydrographie :** Le réseau hydrographique débouchant dans la baie est essentiellement constitué des oueds, perpendiculaires à la côte, Mazafran et Nador qui, malgré leur régime irrégulier, jouent un rôle important dans la sédimentologie de la baie (Le Gall, 1969 ; Ait-Kaci et Pauc, 1981, 1983).

**2.1.3. Sédimentologie :** En raison des apports terrigènes, de l'hydrodynamisme et de l'activité biologique dans la baie, les sédiments côtiers présentent divers aspects : les sables fins (Dagorne, 1970) qualifiés de très quartzeux d'origine terrigène et bioclastique par Leclair (1792) se chargent progressivement vers le large en matériel argileux détritique pour passer du facies sables vaseux à celui des vases sableuses surtout à l'Est de la baie pour donner des vasières prédominantes à l'Ouest de la baie (Dargone, 1970) (voir figure 2.2).



**Figure 2.2** : Sédimentologie générale de la baie de Bou-Ismaïl (d'après Leclaire, 1972 - modifiée)

Une bordure rocheuse constituée de gré calcaire de Tipaza à Khemisti est mise en évidence par Durand (1952). Sur le prolongement de cette dernière ainsi que de Bou-Ismaïl à Sidi-Fredj, le sable se mêle à des algues calcaires et à des débris de coquilles de mollusques et de tests d'oursins.

Pour ce qui est des principales caractéristiques des facteurs climatiques du milieu dans la baie, nous avons :

**2.1.4. Température :** Facteur prépondérant dans la vie des organismes marins, elle contribue de façon importante à la distribution géographique des espèces marines. La température des eaux superficielles de la baie fluctue en fonction des échanges atmosphère-mer, elle est de l'ordre de 21° à 27°C en moyenne (Lalami-Taleb, 1970). Mouhoub (1986) situe les maxima de la température superficielle d'août à octobre et les minima de la température superficielle de février à mars. Les eaux profondes, resteraient (Mouhoub, 1986) relativement stables. Une homothermie est remarquée en toutes saisons et la température est d'environ 13°C à des profondeurs supérieures à 100 m (Lalami-Taleb, 1970).

**2.1.5. Salinité :** Même si la salinité décroît à l'embouchure des oueds Mazafran et Nador, du point de vue hyalin, une certaine homogénéité des eaux a été notée au niveau de la baie de Bou-Ismaïl. Selon, Lalami-Taleb (1970), la variation de salinité entre la surface et le fond est faible (de 0,1‰ à 0,2‰). Cependant, depuis ce temps, la baie connaît l'installation d'usines de dessalement qui a perturbent sans doute cette homogénéité.

**2.1.6. Régime des vents et des houles :** Le vent est une des forces physiques régissant les courants et les houles. La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une périodicité des vents qui se traduit par une prédominance des vents d'Ouest en hiver et au printemps induisant des houles de grandes amplitudes et des vents d'Est en été et au début de l'automne avec de faibles amplitudes (Asso, 1982). Les courants dominants sont de direction Est-Ouest et se retrouvent en face d'un courant opposé diffracté par la côte de Chenoua, créant ainsi un courant de retour à l'Est de l'oued Nador. Des contres courants locaux, en liaison avec les vents dominants, induisent un courant de direction moyenne NE-SW (Kadari-Meziane, 1994).

## 2.2. État actuel de la pollution dans la baie :

La pollution en baie de Bou-Ismaïl a depuis longtemps été de type domestique car les eaux usées rejetées dans la baie provenaient principalement des agglomérations et des villes côtières ainsi que des complexes touristiques (surtout en période estivale).

Cependant, avec le développement démographique et l'extension de l'urbanisation, de l'agriculture et surtout de l'industrie, ces dernières décennies, la charge polluante a tant augmenté en quantité qu'en qualité. Fuyant de la saturation de la capitale, Alger, de nombreuses activités se sont donc installées dans la baie prisée pour son état, longtemps, considéré vierge. De plus l'axe routier Alger-Tipaza (RN.11) a favorisé le développement économique et même touristique puisque la baie est devenue un véritable pôle d'attraction.

L'intensification de l'agriculture, répondant aux besoins d'une densité de population de plus en plus croissante, accentue la pollution chimique par les engrais, très utilisés dans la région, en raison de son sol sableux à argilo-siliceux, dont 50% sont directement lessivés vers la mer selon la direction de l'agriculture.

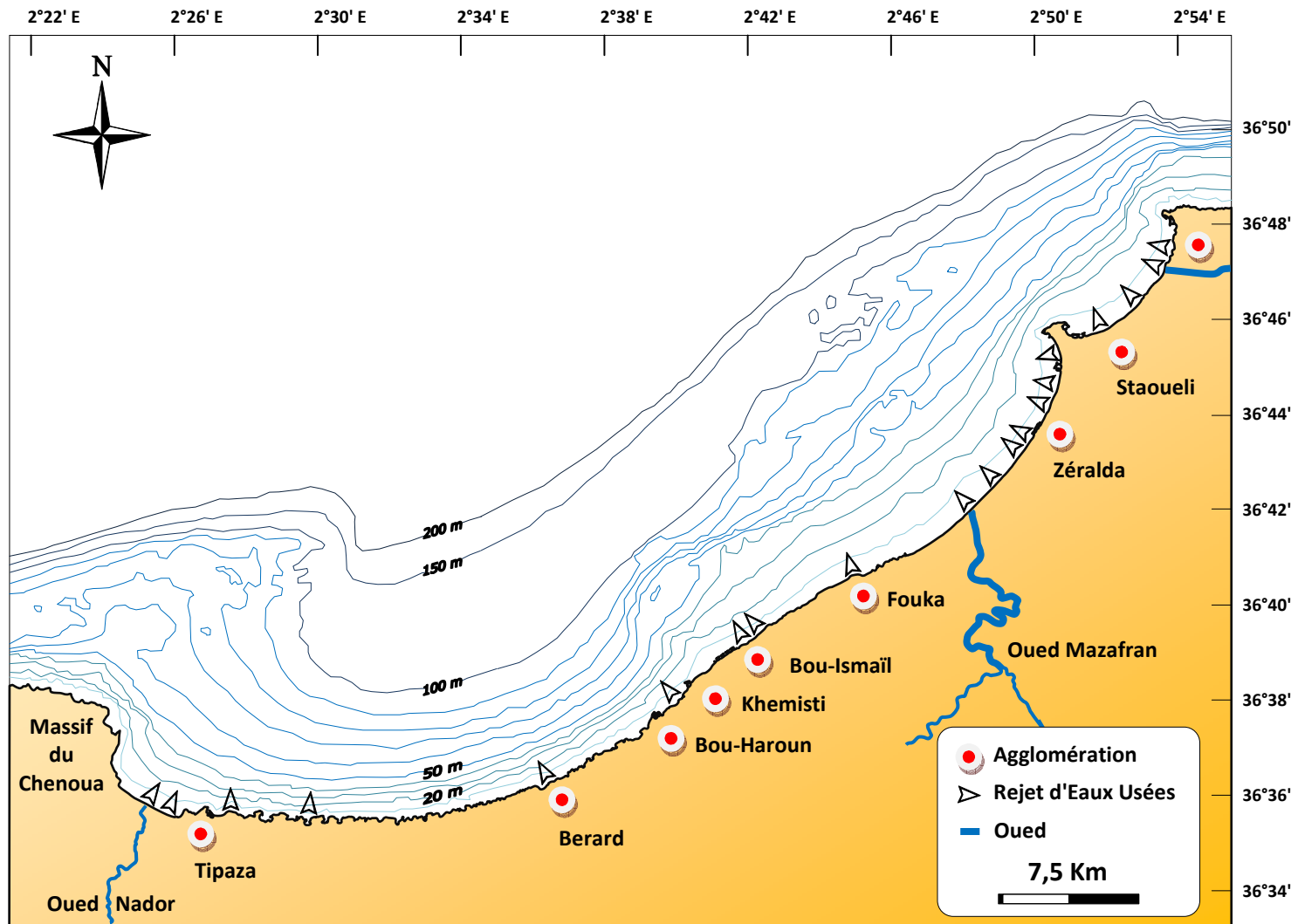
Il faut signaler aussi que la baie a été sujette à de nombreux aménagements côtiers qui causent de notables dégâts sur les herbiers et les communautés benthiques par les remblayages incessants et l'apport de matériaux et produits artificiels. De plus, très peu inventoriée, la pollution biologique, notamment, par *Caulerpa racemosa* n'est plus à négliger puisque cette algue colonise de vastes espaces de l'étage infralittoral dans la baie.

Il ne faut, toutefois, pas oublier les principaux oueds qui se déversent dans la région et qui sont eux aussi des vecteurs de pollution notamment pendant les périodes orageuses. Ils charrient vers la mer les eaux de lessivage des terres agricoles, des eaux usées chargées d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes : huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds. À noter qu'à proximité de l'oued Nador s'implante une décharge sauvage à Khemisti.

D'après des données communiquées par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, on dénombre, rien que pour la commune de Bou-Ismaïl, 07 points de rejets d'eaux usées collectées par le réseau d'assainissement qui se déversent directement en mer sans aucune épuration. Ces rejets ont pour source 12 industriels (installés dans une zone d'activité située au Sud-Ouest du chef-lieu) sur un total de 24 pour toute la wilaya de Tipaza. Le tableau ci-dessous dresse la liste des activités les plus nuisibles et les principaux points de rejets d'eaux usées sont indiqués sur la carte ci-après (voir figure 2.3).

**Tableau 2.1 :** Les activités polluantes en baie de Bou-Ismaïl

Dénomination de l'unité	Nature de l'activité	Nature de la pollution générée
SARL RESITECK	Production de peinture bâtiments	Apports importants de métaux lourds, huiles et lubrifiants
ALUFER	Métallurgie	Chutes d'Aluminium et poussières de Fer
ALUMINAL		
SARL PROCHIMAL	Fabrication de produits d'entretiens	Eaux usées chargées d'éléments chimiques ; rejets de savons, agent de lavage et rinçage caractérisé par une teneur élevée en savons saponifiés et en DBO
PLASTRAM	Transformation Plastique	Eaux de nettoyage
PFIZER	Fabrication des produits vétérinaires	Eaux usées chargées d'éléments chimiques
IMPRIMERIE SHELLIA	Utilisation importante d'encre	Déversement des encres avec les eaux domestiques
TONIC EMBALLAGE	Fabrication de boîte, gobelets, emballage de différentes dimensions	Rejet d'eaux usées domestiques + Chutes de cartons, Papiers + Colorants, Matières Plastiques
TERRA CÉRAMIQUE	Production de céramiques et poteries	Lessivages d'argiles vers la mer
<b>Autres unités :</b> KN Mine Matelot CPKD ECOREP Sarl Irsal Céréales d'or	Eurl CCNBH La sahelienne Sarl SOAL BIC Société Algérie Lumière Intrace	Sarl SAFCF Poterie Sarl Fouka Emballage Touhami Sarl Roxal Sarl Castihygiene Céramique Hippocampe



**Figure 2.3 :** Principaux points de rejet d'eaux usées dans la baie de Bou-Ismaïl

### 2.3. Description et choix des zones d'étude

Étant donné que l'on travaille sur la limite supérieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* qui témoigne le plus sur l'impact direct de la pollution côtière, le choix des 23 stations de prélèvement a été fait de façon à réunir les critères suivants :

- A- Présence de l'herbier ;**
- B- Densité de l'herbier ;**
- C- Sources de pollution :** Rejets d'eaux usées de toutes origines ;
- D- Hydrodynamisme :** Mode calme, zone abritée, moins d'agitation ;
- E- Sédimentologie :** Fonds sableux (sables fins à moyens) ;
- F- Accessibilité de la zone :** Prélèvement sur les premiers mètres < 10m ;
- G- Distribution de *Paracentrotus lividus* (Lamark, 1816) :** Très commun sur les prairies de Posidonies. La période de reproduction s'étend tout au long de l'année (Fiches FAO, 1987) avec un maximum au printemps et en été. Herbivore, il se nourrit d'algues et de Posidonie.

De nombreux autres critères ont été pris en considération, notamment ceux liés aux caractéristiques de la baie, aux facteurs climatiques et hydrologiques mais principalement à l'état actuel de la pollution (voir page 17).

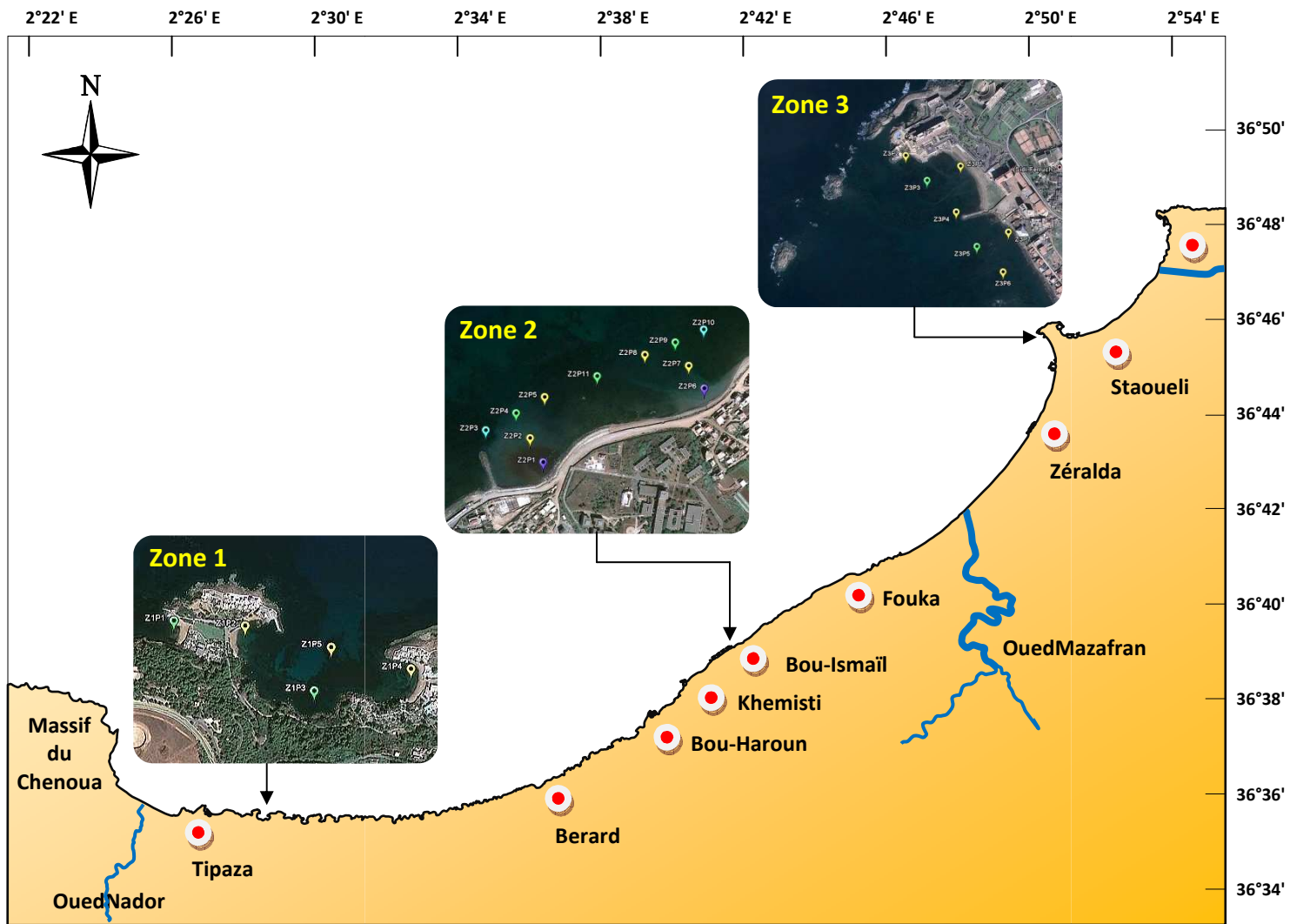
Nous sommes parvenus, en se basant également sur des analyses par télédétection, à trancher sur la sélection des 3 zones les plus intéressantes pour notre étude. Les zones et stations retenues sont regroupées dans le tableau suivant et leur localisation est mise en valeur par les figures 2.4 et 2.5

**Tableau 2.2 :** Critères de sélection des stations de prélèvement en baie de Bou-Ismaïl

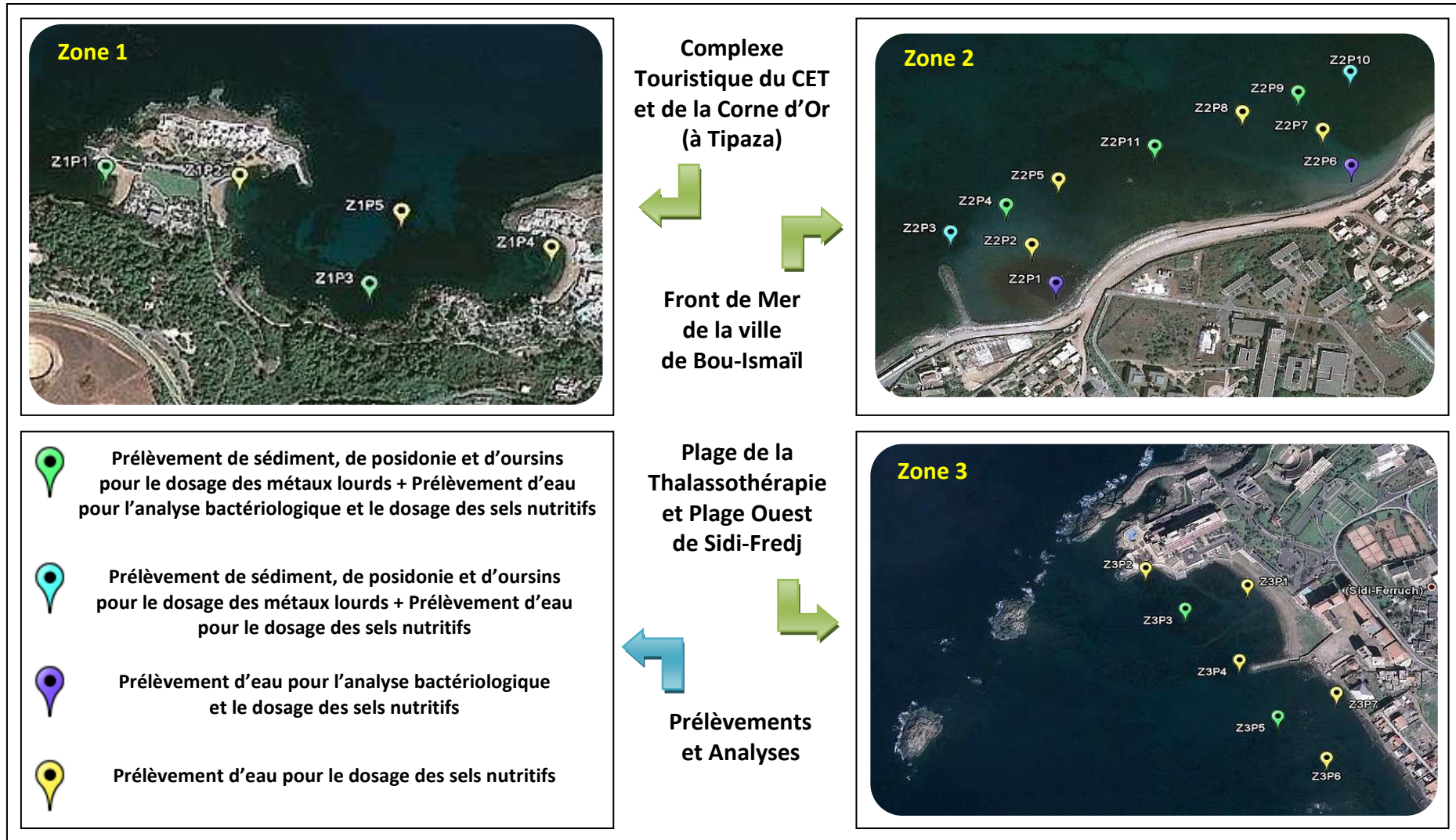
Zones	Localisation des stations		Principaux critères retenus	Remarques
Zone 1	Z1S1	φ : 36°35'37.36"N	A / B / D / E / F / G	Site Touristique de Tipaza : Corne d'Or et Plage du CET  <i>Site caractérisé par :</i> Faible profondeur : Herbier dense en Récif-Barrière  Abondance des oursins  Sédiment Sableux Quartzeux
		λ : 2°28'12.88"E		
	Z1S2	φ : 36°35'36.89"N		
		λ : 2°28'21.63"E		
	Z1S3	φ : 36°35'30.57"N		
λ : 2°28'30.18"E				
Z1S4	φ : 36°35'32.72"N			
	λ : 2°28'41.99"E			
Z1S5	φ : 36°35'35.15"N			
	λ : 2°28'31.62"E			
Zone 2	Z2S1	φ : 36°39'2.77"N	A / C / F	Face du boulevard Front de mer de Bou-Ismaïl où le réseau collecteur de la ville se jette. De graves problèmes de pollution y ont été constatés
		λ : 2°41'41.40"E		
	Z2S2	φ : 36°39'4.55"N		
		λ : 2°41'40.19"E		
Z2S3	φ : 36°39'5.12"N			
	λ : 2°41'36.11"E			

**Tableau 2.3 (suite) :** Critères de sélection des stations de prélèvement en baie de Bou-Ismaïl

Zones	Localisation des stations		Principaux critères retenus	Remarques
Zone 2	Z2S4	φ : 36°39'6.24"N	A / C / F	<p><i>Site caractérisé par :</i> Recul de la limite supérieur à 4-5m de profondeur</p> <p>Pollution chronique et diversifiée</p> <p>Abondance de rhizomes et feuilles mortes sur le rivage</p> <p>Turbidité très élevée</p> <p>Flocons de papier</p> <p>Sédiment sableux à sableux-Rocheux</p>
		λ : 2°41'39.02"E		
	Z2S5	φ : 36°39'7.32"N		
		λ : 2°41'41.65"E		
	Z2S6	φ : 36°39'8.24"N		
		λ : 2°41'56.21"E		
	Z2S7	φ : 36°39'9.95"N		
		λ : 2°41'54.94"E		
Z2S8	φ : 36°39'10.59"N			
	λ : 2°41'50.81"E			
Z2S9	φ : 36°39'11.62"N			
	λ : 2°41'53.65"E			
Z2S10	φ : 36°39'12.59"N			
	λ : 2°41'56.15"E			
Z2S11	φ : 36°39'9.00"N			
	λ : 2°41'46.45"E			
Zone 3	Z3S1	φ : 36°45'39.26"N	A / D / E / F / G	<p>Plage de la Thalassothérapie et plage Ouest de Sidi-Fredj</p> <p><i>Site caractérisé par :</i> Présence confirmée avec cartographie de l'herbier</p> <p>Herbier clairsemé à faible profondeur (0,5m)</p> <p>Récif-barrière</p> <p>Sédiment Sableux Biogène</p>
		λ : 2°50'26.27"E		
	Z3S2	φ : 36°45'40.26"N		
		λ : 2°50'19.79"E		
	Z3S3	φ : 36°45'37.89"N		
		λ : 2°50'22.31"E		
	Z3S4	φ : 36°45'34.89"N		
		λ : 2°50'25.75"E		
Z3S5	φ : 36°45'31.62"N			
	λ : 2°50'28.19"E			
Z3S6	φ : 36°45'29.20"N			
	λ : 2°50'31.29"E			
Z3S7	φ : 36°45'32.98"N			
	λ : 2°50'31.93"E			



**Figure 2.4 :** Localisation des zones d'étude dans la baie de Bou-Ismaïl



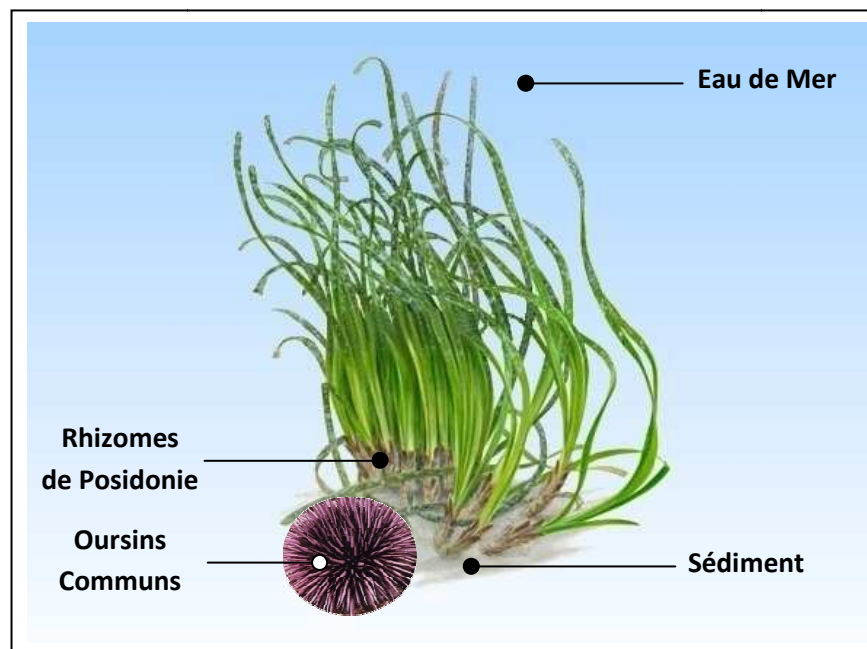
**Figure 2.5 :** Stratégie d'échantillonnage et localisation des stations de prélèvement dans les trois zones d'étude

## 2.4. Prélèvement et conservation des échantillons

L'ensemble des informations recueillis avant le démarrage de l'échantillonnage ont permis de mieux appréhender le terrain. Les prélèvements ont été réalisés durant la période s'étalant de Mars à Juin 2010.

Au niveau de chaque station plusieurs prélèvements ont été effectués (voir figure 2.5) : soit pour l'analyse des métaux lourds dans les matrices: rhizomes de posidonie, sédiment superficiel de la matre et gonades de l'oursin commun *Paracentrotus lividus* ; soit pour l'analyse bactériologique et la mesure des paramètres physico-chimiques et/ou des sels nutritifs dans la matrice eau de mer. Les mesures de la température, du pH, de la salinité et de l'oxygène dissouts ont été faites insitu.

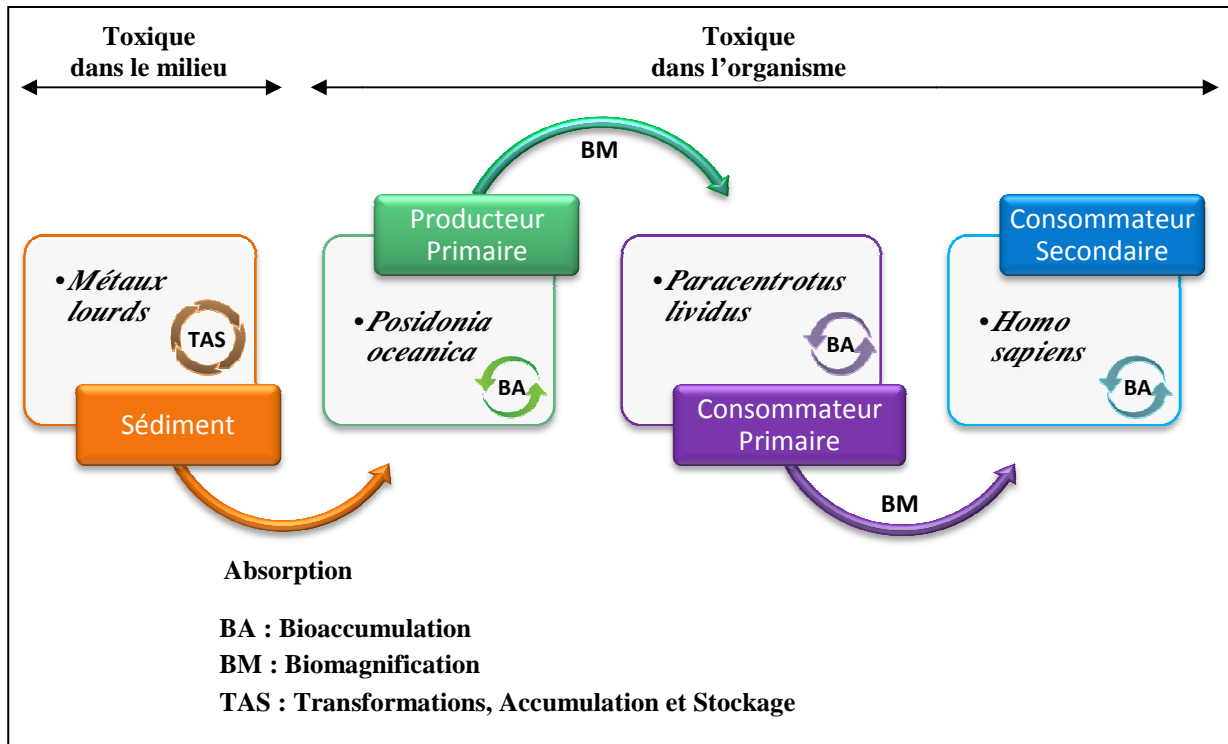
Sur les stations prédéfinies dans chaque zone, toutes ont été échantillonnées. La figure 2.6 suivante illustre les matrices choisies pour les analyses.



**Figure 2.6 :** Matrices choisies pour les analyses

Le choix des matrices à prélever respecte les deux phénomènes écologiques fondamentaux que sont la bioaccumulation et la biomagnification (La bioaccumulation ou bioconcentration est la possibilité pour une espèce donnée de concentrer un toxique à partir du milieu extérieur : contamination directe. La biomagnification ou bioamplification est la possibilité pour un toxique d'être cumulé par une chaîne trophique : contamination indirecte) qui traduisent les voies d'accumulation et de transfert d'un toxique dans trois maillons (principalement considérés dans notre étude) de la chaîne trophique : la posidonie, l'oursin commun et l'homme. La figure 2.7 ci-après schématise ces deux processus.

De plus les espèces à étudier doivent être sédentaires et abondantes de manière à ce que les niveaux de contamination observés soient représentatifs d'une zone géographique précise. C'est ainsi que la posidonie et l'oursin commun ont été retenus.



**Figure 2.7 :** Voies d'accumulation et de transfert d'un toxique dans trois maillons de la chaîne trophique : la posidonie, l'oursin commun et l'homme

## 2.5. Analyses et modes opératoires

Les analyses doivent être faites le plus tôt possible après le prélèvement pour permettre d'avoir des résultats représentatifs. Elles regroupent la mesure de paramètres insitu ainsi que de paramètres au laboratoire.

### 2.5.1. Paramètres insitu

#### 2.5.1.1. Paramètres physicochimiques

Un certain nombre de paramètres physicochimiques de la matrice eau ne peuvent être mesurés que sur terrain car les valeurs peuvent évoluer très rapidement dans les échantillons prélevés. Dans chaque station, le prélèvement de posidonie et de son sédiment est donc accompagné par la mesure de la température de l'eau, du pH, de l'oxygène dissous et de la salinité. L'appareillage utilisé (de la marque Wissenschaftlich Technische Werkstätten « WTW ») est doté de sondes submersibles qui permettent la mesure insitu.

#### 2.5.1.2. Paramètres descriptifs de l'herbier

Les paramètres descriptifs de l'herbier à *Posidonia oceanica* sont nombreux, et certains font l'objet de suivis standardisés (Boudouresque *et al.*, 2006). Ils peuvent être regroupés en deux catégories :

- Les paramètres relatifs aux populations de posidonies : densité de l'herbier, recouvrement, structure, déchaussement, limite inférieure ... etc ;
- Les paramètres relatifs aux individus de posidonies : vitalité, biométrie, ... etc.

Sur terrain, on s'intéresse aux paramètres relatifs aux populations de posidonies : recouvrement et densité. Des observations sur le substrat, la faune et la flore avoisinantes sont également réalisées. Il s'agira alors d'une part, d'indiquer la nature du sédiment et d'autre part de noter la présence d'espèces protégées, remarquables et bioindicatrices caractérisant le milieu.

## 2.5.2. Paramètres mesurés au laboratoire

La contamination du milieu marin par les métaux lourds anthropogènes représente un danger plus important que celui des rejets d'hydrocarbures ou même d'éléments radioactifs. Ainsi les métaux lourds traversent les masses d'eau sous formes dissoutes et particulaire et sont assimilés par les organismes marins. Le mercure a une source anthropogène d'origine certaine et présente avec le plomb et le cadmium un danger certain. Nous nous intéressons donc principalement à son analyse mais aussi à l'aluminium, le fer, le cuivre, le zinc et le manganèse dans les trois matrices : rhizomes de Posidonie, sédiment superficiel de la matre et les gonades de l'oursin *Paracentrotus lividus* brouteur des feuilles de *Posidonia oceanica*. Néanmoins en ce qui concerne la matrice eau on s'intéresse aussi à l'analyse des paramètres bactériologiques et des sels nutritifs.

### 2.5.2.1. Dosage des métaux lourds

**2.5.2.1.1. Prélèvement et conservation des échantillons :** Afin d'éviter tout risque de contamination, les sédiments sont récupérés dans des boites en polyéthylène et renouvelés à chaque prélèvement. Quant-aux rhizomes de posidonie et oursins, une quinzaine de rhizomes et d'individus sont prélevés de chaque station et récupérés dans des sachets en polyéthylène. Comme ils ne peuvent pas être traités rapidement, les échantillons sont fermés, étiquetés et conservés à température basse (congelés) afin d'éviter toute perte ; surtout pour le mercure qui est le plus volatil des métaux lourds.

**2.5.2.1.2. Traitement des échantillons :** La méthode appliquée pour le traitement des échantillons est celle proposée par UNEP/IAEA (1985a, 1985b et 1986) qui s'effectue à partir des opérations suivantes :

Une quantité de sédiment de poids frais (PF) d'environ 100g est prélevée de chaque échantillon et est étalée dans une boite de pétri. Les rhizomes de posidonie et les gonades d'oursins sont soigneusement récupérés aussi. Une fois congelés les échantillons ainsi préparés sont lyophilisés.

**Lyophilisation :** La lyophilisation est une technique permettant la déshydratation de l'échantillon congelé par sublimation à basse température (-55°C) et sous vide (0,1 bar) pendant 48 heures. Au bout de 24 h les échantillons sont retirés du lyophilisateur pour être remués à l'aide d'une spatule en acier inoxydable afin de permettre leur déshydratation complète si nécessaire. La lyophilisation est préférable à la déshydratation à l'étuve car cette dernière entraîne une perte des métaux lourds les plus volatils en particulier le mercure. Les échantillons lyophilisés sont pesés et leur poids sec est noté PS.

**Broyage et tamisage :** Les échantillons lyophilisés de sédiment sont broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine puis tamisés au moyen d'un tamis de 250µm de maille. La fraction inférieure ou égale à 250µm est récupérée et stockée dans des piluliers en verre. Pour le matériel biologique, les échantillons sont broyés en fine poudre à l'aide d'un mortier en agate.

**Homogénéisation :** Le sédiment est constitué de particules diverses l'affinité avec le métal est fonction de la taille et de la nature de la particule sédimentaire ainsi dans le but d'uniformiser la répartition des particules sédimentaires au sein de l'échantillon le lyophilisat ou fraction tamisée est récupéré et homogénéisé pendant 48 heures.

#### 2.5.2.1.3. Nettoyage des instruments

Les métaux lourds se trouvent à l'état de traces dans le milieu marin. Une contamination est plus que probable si les conditions optimales d'hygiène et de propreté de tout instrument et de verrerie utilisés pendant le traitement et le stockage des échantillons ne sont pas réunies. Pour cela tout le matériel utilisé doit subir préalablement les opérations de nettoyages spécifiques détaillées en annexe 2.

#### 2.5.2.1.4. Minéralisation des échantillons

La digestion ou minéralisation est une opération d'extraction et de solubilisation des métaux lourds après décomposition des échantillons qui s'effectue soit :

- en milieu acide : l'opérateur doit nécessairement manipuler sous une hôte aspirante et se munir du matériel de protection adéquat (masque à gaz, lunettes et gants) ;
- à chaud et sous colonne à reflux ;
- par voie humide : celle-ci permet la récupération maximale des métaux lourds en traces (Pinata, 1979).

Afin de réduire encore l'effet de la contamination, nous réalisons l'analyse des métaux lourds au laboratoire de l'ONEDD<sup>1</sup> après leur minéralisation au laboratoire de Sidi-Fredj. Nous avons réalisé quatre différentes minéralisations en milieu acide selon l'élément recherché : mercure et autres métaux traces ; et la matrice étudiée : sédiment et matériaux biologiques comme suit :

#### A- Digestion du sédiment et du matériel biologique pour la détermination du mercure total par CV-AAS<sup>2</sup>

##### **Principe:**

Ces méthodes sont applicables pour des échantillons de sédiment ou de matériel biologique : rhizomes de posidonie et gonades d'oursin commun. La forte digestion acide permet de décomposer les échantillons, ainsi que d'oxyder et convertir toutes les formes de mercure en mercure inorganique.

##### **Réactifs:**

- HNO<sub>3</sub> (65% pour analyse, ISO, Merck) ;
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (95-97%, pour analyse, faible en mercure, Merck) – pour le sédiment ;
- K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (10 %, pour analyse, faible en mercure, Merck) ;
- Eau déionisée Milli-Q (>18 MΩ cm, Millipore).

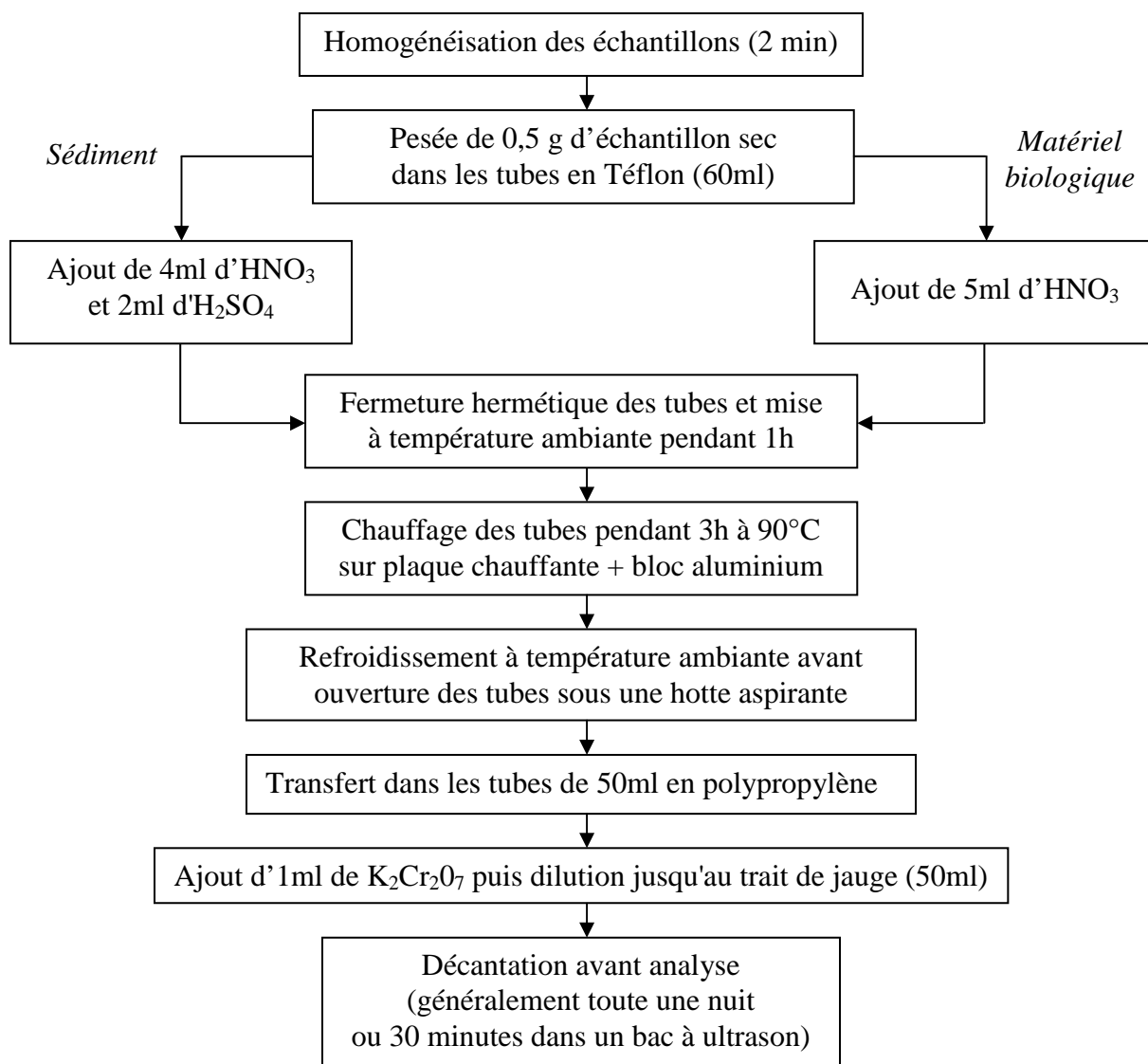
##### **Matériel:**

- Tubes en Téflon avec bouchons (60ml, Savillex) et tubes gradués en polypropylène avec bouchons (50ml, Sarstedt) nettoyés suivant les procédures 1 et 3 (voir annexe 2) ;
- Fiole jaugée de 500ml (classe A) nettoyée suivant la procédure 3 (voir annexe 2) ;

<sup>1</sup>Office National de l'Environnement et du Développement Durable (Laboratoire Régional Centre - LRC)

<sup>2</sup>Spectrophotométrie d'Absorption Atomique avec Système d'Hydrures

- Spatules en plastiques nettoyées suivant la procédure 1 (voir annexe 2) ;
- Balance de précision (Sartorius, MC-210S) et micropipette (Finnpipette) ;
- Plaque chauffante (Ceran 500, 22SR) et bloc en aluminium.

**Procédure:**

**Figure 2.8 :** Procédure de digestion du sédiment et du matériel biologique pour la détermination du mercure total par CV-AAS

### B- Digestion du sédiment et du matériel biologique pour la détermination de l'aluminium, du fer, du cuivre, du zinc et du manganèse par AAS<sup>1</sup>

**Principe:**

Les échantillons sont minéralisés dans des “bombes” en téflon fermées à l'aide de l'acide nitrique pour le matériel biologique et d'une combinaison d'acide fluorhydrique (HF) et d'eau régale pour le sédiment.

<sup>1</sup>Spectrophotométrie d'Absorption Atomique

L'utilisation d'HF est nécessaire pour la décomposition complète des silicates. Pour les métaux étudiés, son utilisation a été substituée par de l'eau régale.

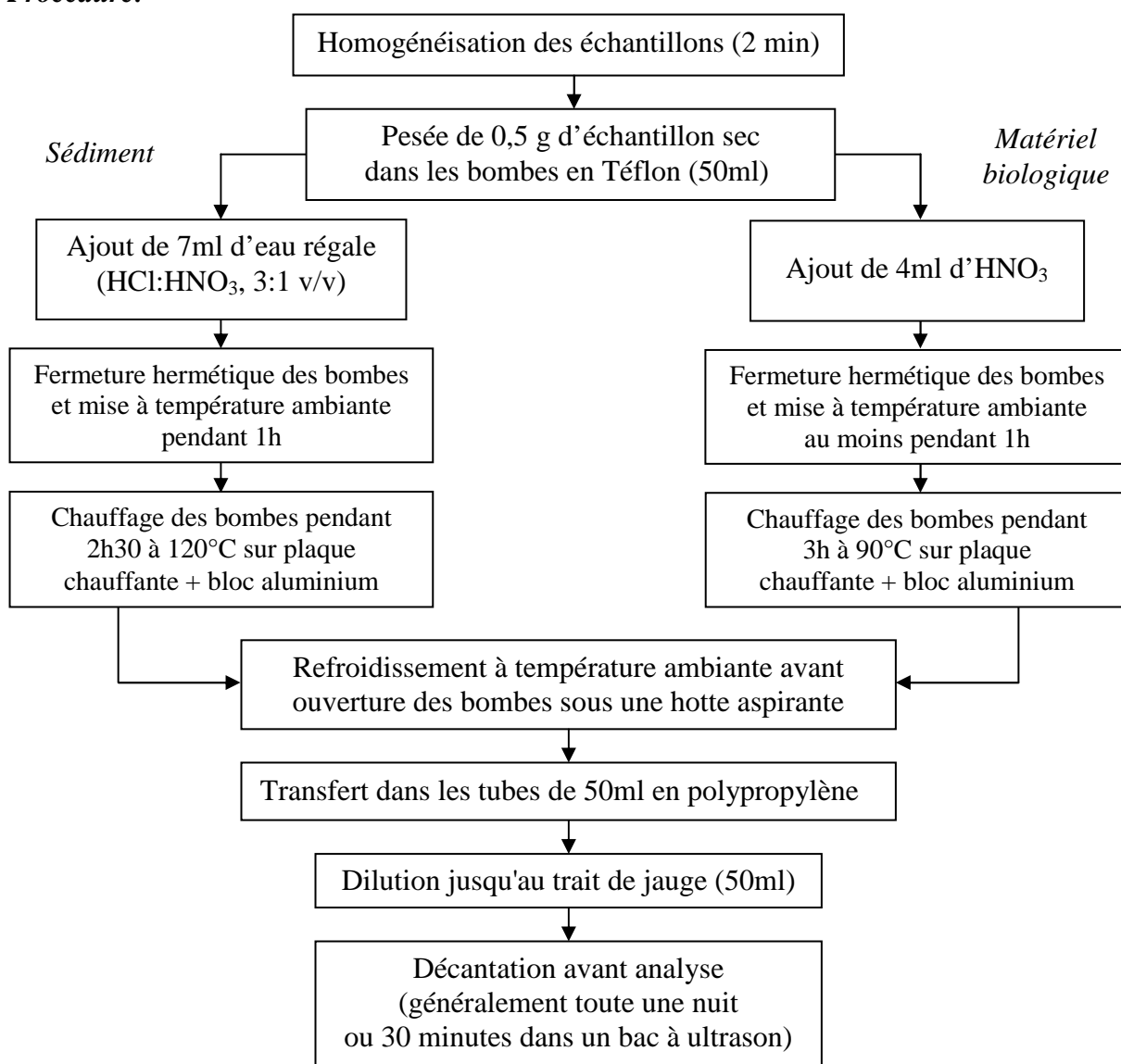
### Réactifs:

- HNO<sub>3</sub> (65% pour analyse, ISO, Merck) ;
- HCL (30%, supra-pur, Merck) – pour le sédiment ;
- Eau déionisée Milli-Q (>18 MΩ cm, Millipore).

### Matériel:

- Bombes en Téflon avec bouchons (50ml, Nalgène) et tubes gradués en polypropylène avec bouchons (50ml, Sarstedt) nettoyés suivant les procédures 1 et 2 (voir annexe 2) ;
- Spatules en plastiques nettoyées suivant la procédure 1 (voir annexe 2) ;
- Balance de précision (Sartorius, MC-210S) et micropipette (Finnpipette) ;
- Plaque chauffante (Ceran 500, 22SR) et bloc en aluminium.

### Procédure:



**Figure 2.9 :** Procédure de digestion du sédiment et du matériel biologique pour la détermination de l'aluminium, du fer, du cuivre, du zinc et du manganèse par AAS

**C- Remarques importantes pour toutes les minéralisations :**

- Des blancs de réactifs doivent être préparés pour chaque série d'analyse. Ils sont préparés de la même manière que les échantillons, excepté qu'aucun échantillon n'est ajouté dans les flacons de digestion.
- Les standards pour la courbe de calibration doivent être préparés en utilisant les mêmes réactifs que pour les échantillons.
- Les échantillons prêts peuvent être conservés plusieurs jours au réfrigérateur (+4°C).

**2.5.2.1.5. Analyse des échantillons par la méthode de la SAA**

La spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) est une méthode analytique permettant de déterminer la concentration d'une substance par l'absorption d'une radiation spécifique à l'élément chimique contenu dans la substance en l'occurrence ici, le mercure, l'aluminium, le fer, le cuivre, le zinc et le manganèse dont le maximum d'absorption se fait respectivement aux longueurs d'ondes 253.7, 309.3, 248.3, 324.8, 213.9 et 279.5 nm.

En effet, lorsque les atomes d'un élément ont été excités, leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission de photons, de fréquence  $F$  bien définie et propre à cet élément qui, dispersé dans un générateur d'atomes possède également la propriété d'absorber tout rayonnement de même fréquence  $F$ . Il en résulte une absorption du rayonnement incident liée à la concentration de l'élément considéré suivant la loi de Beer-Lambert :  $\text{Log} \frac{I_0}{I} = kLC$

Où :  $I_0$  : Intensité de la radiation incidente ;

$I$  : Intensité de la radiation après la traversée de la flamme ou cellule de quartz ;

$k$  : Constante caractéristique de l'échantillon ;

$L$  : Longueur du chemin optique ;

$C$  : Concentration dans la solution de l'élément considéré ;

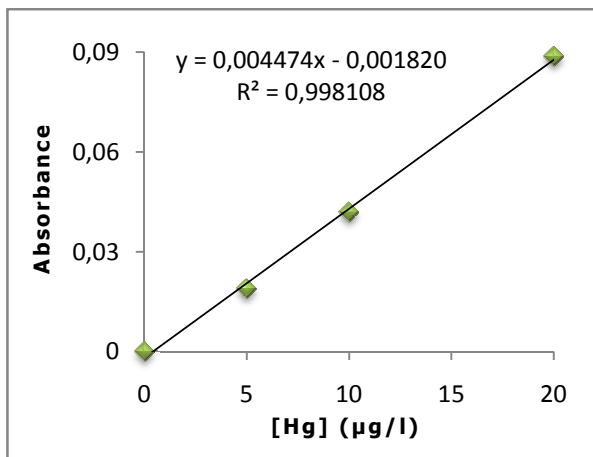
L'appareil utilisé est un Perkin Elmer® AAnalyst 700 constitué d'un générateur de photons, destiné à fournir un flux de photons d'intensité constante dans le temps et de fréquence bien définie correspondant à l'élément à doser. À savoir, des lampes à cathode creuse constituée du métal (ou des métaux) à doser qui est volatilisé et excité par décharge cathodique dans une atmosphère gazeuse (néon ou argon) à très basse pression ; d'un générateur d'atomes ; d'un monochromateur à double faisceau, destiné à la sélection de la longueur d'onde et dont l'un des faisceaux atteint directement le récepteur sans traverser la flamme, permet d'éliminer les fluctuations de la source ; et d'un récepteur constitué par un photomultiplicateur, associé à un amplificateur linéaire et logarithmique.

Il est équipé d'un générateur d'hydrures, d'un four à graphite et un système par flamme avec injecteur automatique (AS 800 Perkin Elmer) et est piloté par le logiciel Winlab 32 pour absorption atomique qui permet de très hautes performances d'analyse.

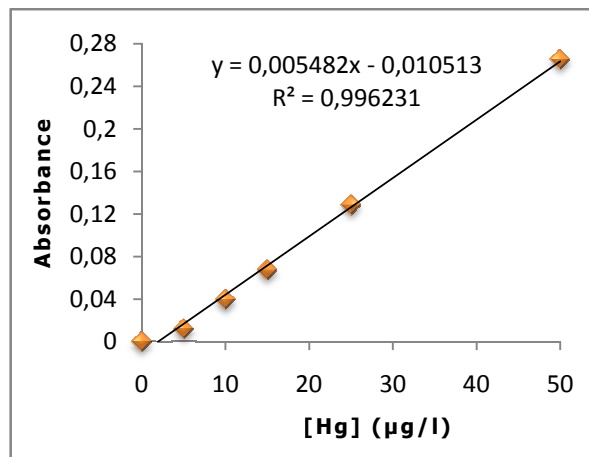
Pour le mercure, les échantillons minéralisés sont analysés avec le système d'hydrures (FIAS 400, Perkin Elmer®) équipé d'un dispositif d'injection (passeur) automatique de l'échantillon (AS-91, Perkin Elmer®) et une cellule de quartz. Une solution "carrier" d' $\text{HNO}_3$  à 5% et une solution réductrice de  $\text{SnCl}_2$  sont utilisées.

Pour les autres métaux étudiés, les échantillons minéralisés sont analysés avec le système par flammes chaudes nécessitant un mélange de gaz air/acétylène ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) et un brûleur de type laminaire muni d'une fente longitudinale de 15cm excepté pour l'aluminium qui mobilise du protoxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) et de l'acétylène et un brûleur de 5cm.

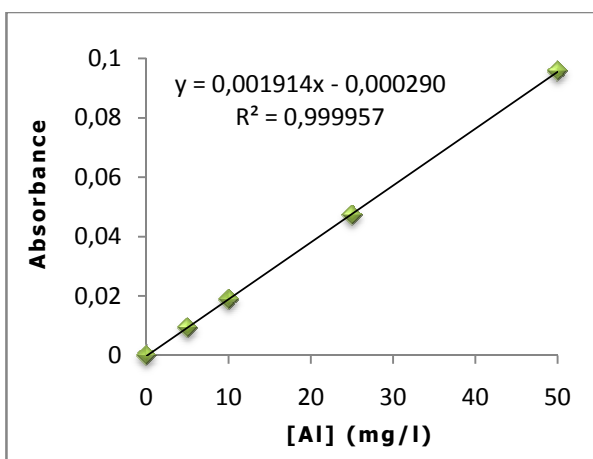
**Étalonnage :** La méthode utilisée est celle des standards seuls. Les gammes étalons (voir annexe 3) sont préparées quelque peu avant l'analyse à partir de solutions mères chacune à 1000 mg/l qui peuvent être conservées une année. Les droites d'étalonnage sont données ci-après.



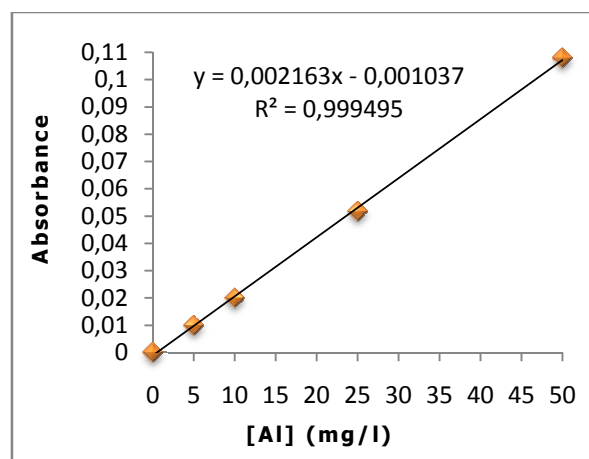
**Figure 2.10 :** Droite d'étalonnage du Mercure pour la matrice sédiment



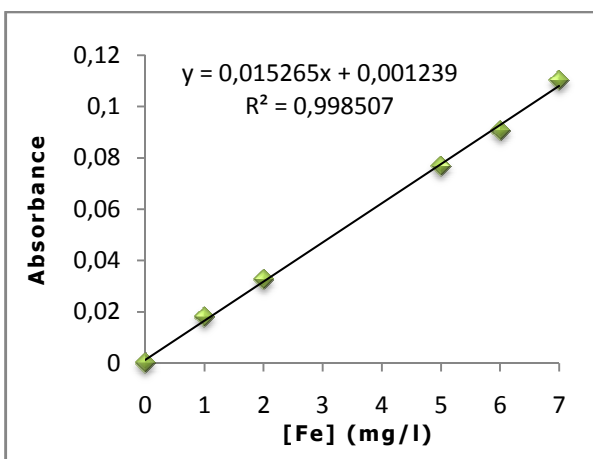
**Figure 2.11 :** Droite d'étalonnage du Mercure pour les matrices biologiques



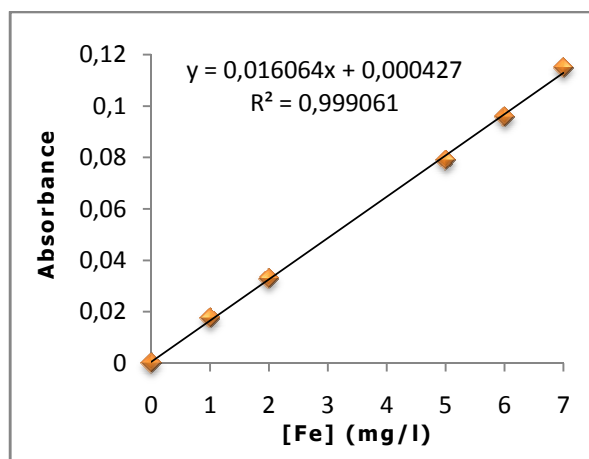
**Figure 2.12 :** Droite d'étalonnage de l'Aluminium pour la matrice sédiment



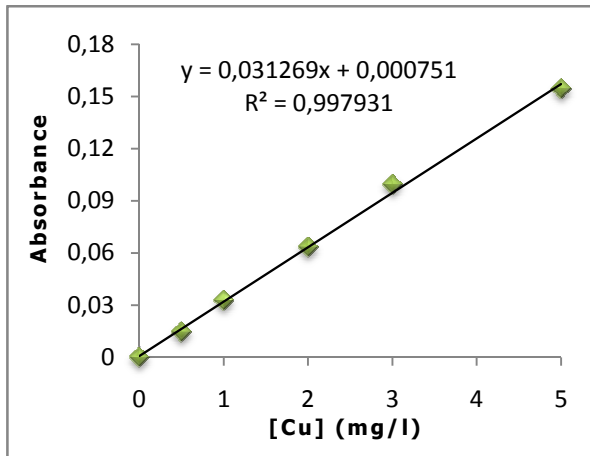
**Figure 2.13 :** Droite d'étalonnage de l'Aluminium pour les matrices biologiques



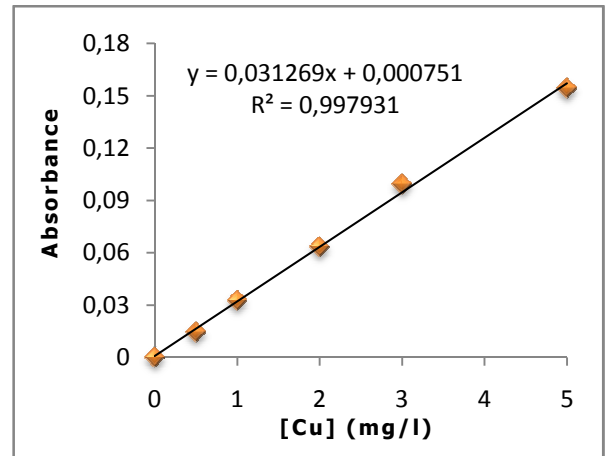
**Figure 2.14 :** Droite d'étalonnage du Fer pour la matrice sédiment



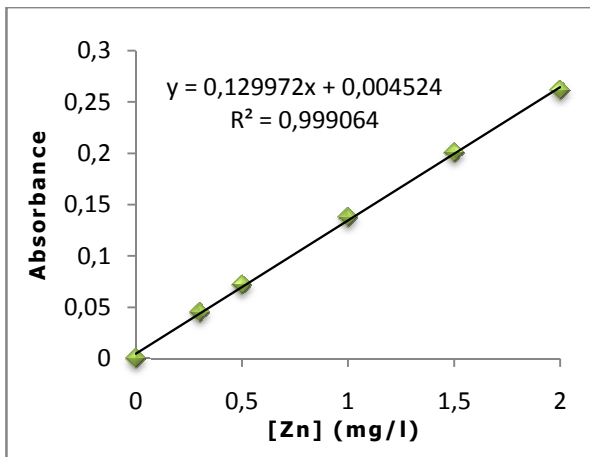
**Figure 2.15 :** Droite d'étalonnage du Fer pour les matrices biologiques



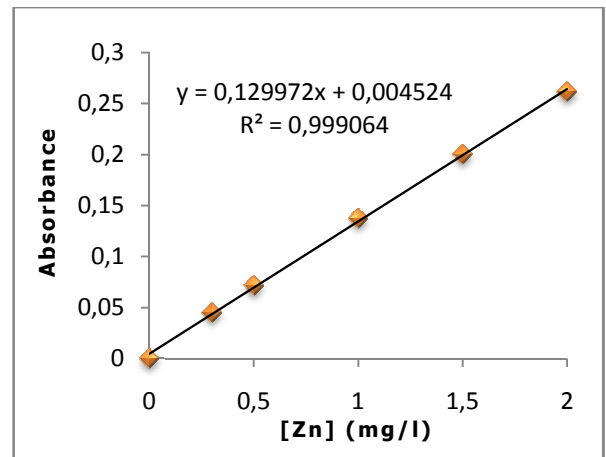
**Figure 2.16 :** Droite d'étalonnage du Cuivre pour la matrice sédiment



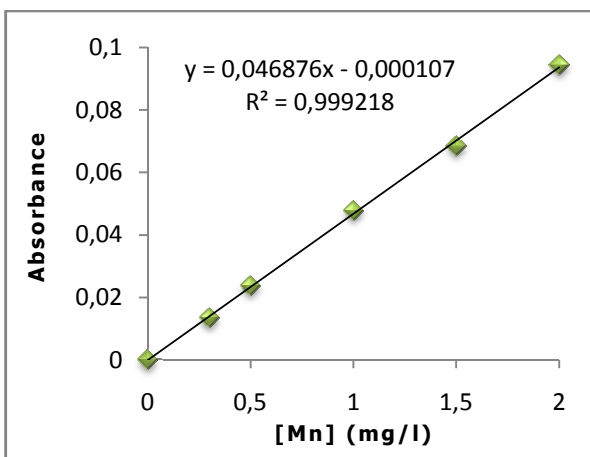
**Figure 2.17 :** Droite d'étalonnage du Cuivre pour les matrices biologiques



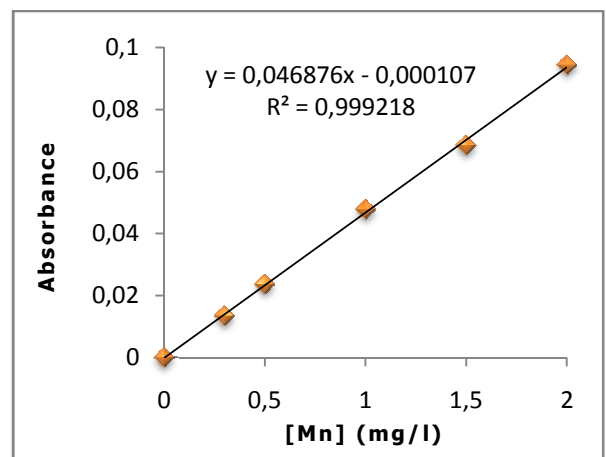
**Figure 2.18 :** Droite d'étalonnage du Zinc pour la matrice sédiment



**Figure 2.19 :** Droite d'étalonnage du Zinc pour les matrices biologiques



**Figure 2.20 :** Droite d'étalonnage du Manganèse pour la matrice sédiment



**Figure 2.21 :** Droite d'étalonnage du Manganèse pour les matrices biologiques

### 2.5.2.2. Analyse microbiologique

Au laboratoire, l'objectif était de mettre en évidence la présence de pollution bactérienne d'origine humaine qui a concerné la recherche et le dénombrement des germes révélateur de contamination fécale, qui selon Figarella *et al.*, 2001 entraînent par leur abondance, la présomption d'une contamination plus dangereuse. Ce sont les conformes totaux, les conformes fécaux, les streptocoques fécaux et *Escherichia coli*. Le dénombrement est effectué par la méthode du nombre le plus probable (NPP) obtenu à l'aide de la table de Mc-Grady (voir annexe 4) (Brisou et Denis, 1980 ; Rodier *et al.*, 1996). Après inoculation de tubes en milieu liquide (Joly et Reynaud, 2003).

#### 2.5.2.2.1. Prélèvement

Un examen bactériologique ne peut être valablement interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé. Le prélèvement des échantillons s'est effectué en surface, au niveau des stations décrites précédemment. Les échantillons d'eau ont été recueillis dans des flacons de verre de 500ml stérilisés (140°C), puis bouchés et soigneusement étiquetés. Si certaines précautions ne sont pas prises, la teneur initiale en germes des eaux risque de subir des modifications dans le flacon après prélèvement. L'évaluation est d'ailleurs assez difficile à prévoir et dépend de nombreux facteurs : température, concurrence bactérienne des espèces présentes, composition chimique de l'eau. C'est pour cela que les échantillons ont été transportés dans des glacières dont la température est comprise entre 4 et 6°C afin de les protéger de la lumière du soleil et de la chaleur jusqu'au moment de l'analyse, 24 après (Aminot et Chaussepied, 1983).

Les analyses bactériologiques ont été faites au niveau du laboratoire de microbiologie de l'ENSV<sup>1</sup> avec l'aide des techniciens en microbiologie.

#### 2.5.2.2.2. Recherche et dénombrement des coliformes : colimétrie

Les coliformes sont des bâtonnets, anaérobies facultatifs, gram (-) non sporulants permettant l'hydrolyse du lactose à 35°C (OMS, 1979) avec dégagement de gaz. Les coliformes regroupent les genres *Echerichia*, *Citrobacter*, *Entérobacter*, *Klébsiella*, *Yersinia*, *Serratia* (Rodier *et al.*, 1996 ; Joly et Reynaud, 2003).

La recherche et le dénombrement de l'ensemble des coliformes (coliformes totaux), sans préjuger de leur appartenance taxonomique et de leur origine, est capital pour la vérification de l'efficacité d'un traitement désinfectant et est d'un intérêt nuancé pour déceler une contamination d'origine fécale (Rodier *et al.*, 1996). La recherche et le dénombrement des coliformes thermotolérants est un examen proposé en raison d'une concordance statistique entre leur présence et l'existence d'une contamination fécale quasi certaine (Rodier *et al.*, 1996). *Escherichia coli* est le type de coliformes d'habitat fécal exclusif ; sa recherche est donc extrêmement importante.

#### A- Principe :

Après ensemencement et incubation, l'aspect du milieu de culture est modifié par les germes (E-coli ou coliformes thermotolérants) dont la présence est ensuite confirmée et le nombre précisé.

---

<sup>1</sup>École Nationale Supérieure Vétérinaire

**B- Mode opératoire :****Exécution des dilutions décimales :**

- Dilution du 1/10 : dans un tube à essai contenant 9ml d'eau physiologique, ajouter 1 ml d'eau à analyser et agiter ;
- Dilution du 1/100 : du tube contenant de l'eau physiologique à la dilution  $10^{-1}$ , prélever 1 ml et le verser dans un tube à essai contenant 9ml d'eau physiologique.

Opérer de la même façon jusqu'à la dilution voulue qui est de  $10^{-4}$  dans notre étude.

Pour les échantillons prélevés dans la zone 2, nous avons effectué des dilutions jusqu'à  $10^{-4}$ , en raison de l'importante concentration apparente en bactéries ; pour les échantillons prélevés dans la zone 1 et 3 nous avons été seulement jusqu'à la dilution  $10^{-2}$ .

La recherche des coliformes nécessite deux tests consécutifs (RODIER *et al.*, 2001) :

**Le test présomptif :** il a été effectué en utilisant le milieu ou bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol (BCPL) double et simple concentration (DC/SC). Après ensemencement des milieux avec la quantité nécessaire (1ml), nous avons agité et homogénéisé sans faire pénétrer de l'air dans la cloche, puis nous avons placé les tubes dans une étuve à 37°C pendant 48 heures. Dans cette phase nous avons utilisé :

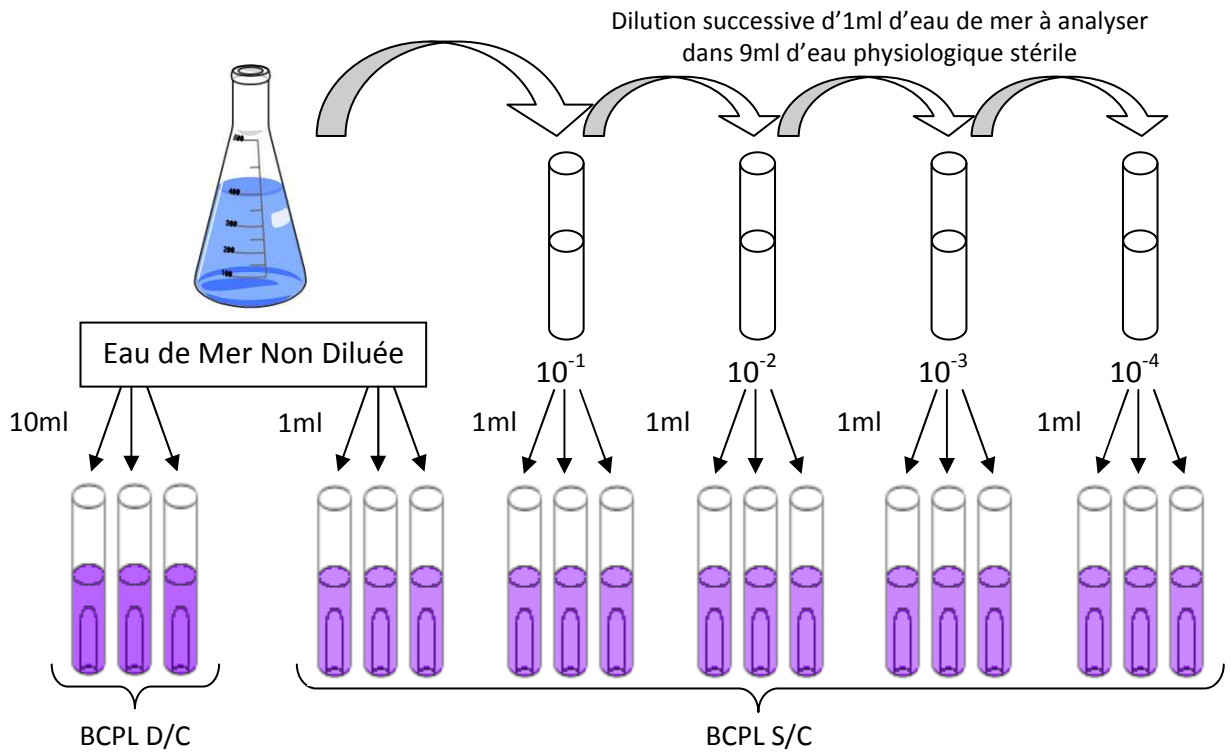
- 3 tubes de BCPL/DC avec 10ml d'eau de mer ;
- 3 tubes de BCPL/SC avec 1ml d'eau de mer ;
- 3 tubes de BCPL/SC pour chaque dilution.
- **La lecture :** Après 48 heures, sont considérés comme positifs, les tubes qui ont viré au jaune et qui présentent du gaz dans la cloche.

**Le test confirmatif ou test de Mac Kenzie (Recherche d'E-coli) :** à partir de chaque tube positif, on repique dans deux nouveaux milieux, le VBL (bouillon lactosé bilié au vert brillant) et de l'eau peptonée exempte d'indole (EPI). On ensemence 4 à 6 gouttes puis on incube à 44°C pendant 24 heures.

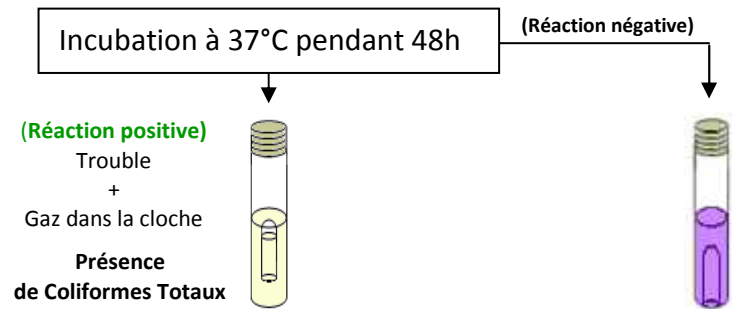
- **La lecture :** les tubes présentant un trouble du gaz dans la cloche et un anneau rouge après addition du réactif de Kovacs indiquant la production d'indole, sont considérés comme positifs et confirment donc la présence d'E-coli.

Nous avons noté le nombre de tubes positifs dans chaque série de dilution et nous nous sommes rapportés à la table de Mc Grady pour obtenir le nombre de coliformes totaux, thermotolérants et d'E-coli présents dans 100ml d'eau.

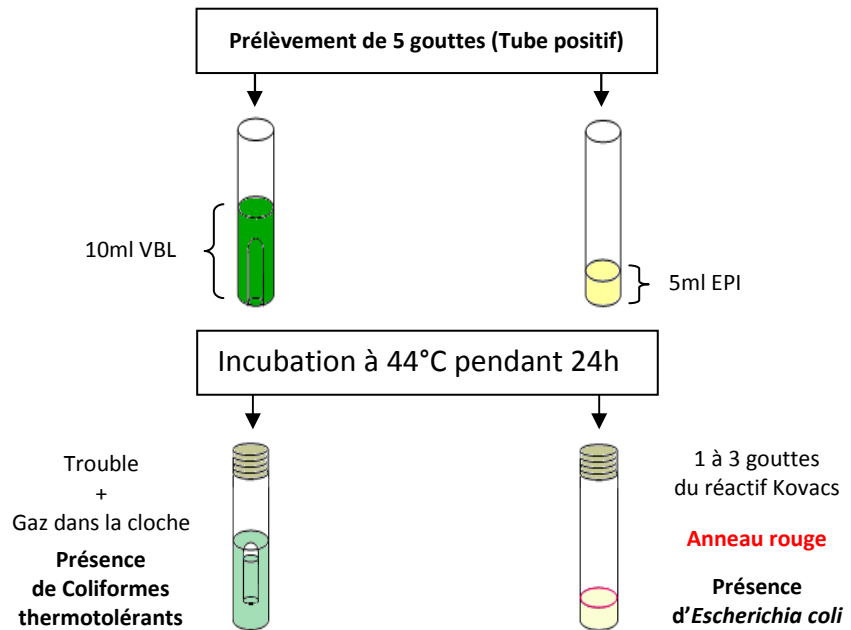
La méthode de dénombrement des coliformes est schématisée dans la figure 2.22



### Test Présomptif



### Test Confirmatif



**Figure 2.22 :** Méthode de dénombrement des coliformes thermotolérants et *Escherichia coli* dans l'eau de mer

### 2.5.2.2.3. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux :

Selon la classification sérologique de Lancefield (1933), 5 espèces sont reconnues parmi les streptocoques fécaux (streptocoques du groupe D). Il s'agit de : *S.bovis*, *S.equinus*, *S.avium*, *S.faecalis* et *S.faecium*, car les autres streptocoques ont une origine fécale douteuse.

Ils sont des témoins de contamination fécale assez résistants, y compris dans les milieux salés (Gaujous, 1995). Ils peuvent aussi se multiplier dans les milieux présentant des pH allant jusqu'à 9.6, on peut par conséquent les utiliser comme indicateurs d'organismes pathogènes qui ont une résistance similaire au pH élevé (OMS, 1979).

Ils présentent une forte résistance vis-à-vis des inhibiteurs bactériens parmi lesquels, l'azide de sodium, relativement bien toléré et fortement inhibiteur de croissance pour les Entérobactériacea. Ce dernier entre dans la composition de presque tous les milieux sélectifs pour streptocoques fécaux.

#### A- Principe :

Les principes généraux de cette méthode sont ceux décrits dans l'exposé de la colimétrie en milieux liquides. Cependant, alors que le tube primaire contient déjà une certaine quantité d'azide de sodium, le repiquage des tubes positifs sur un milieu nettement plus inhibiteur (plus forte concentration en azide de sodium et présence d'éthyl violet) ne laisse se développer que les streptocoques fécaux.

#### B- Mode opératoire :

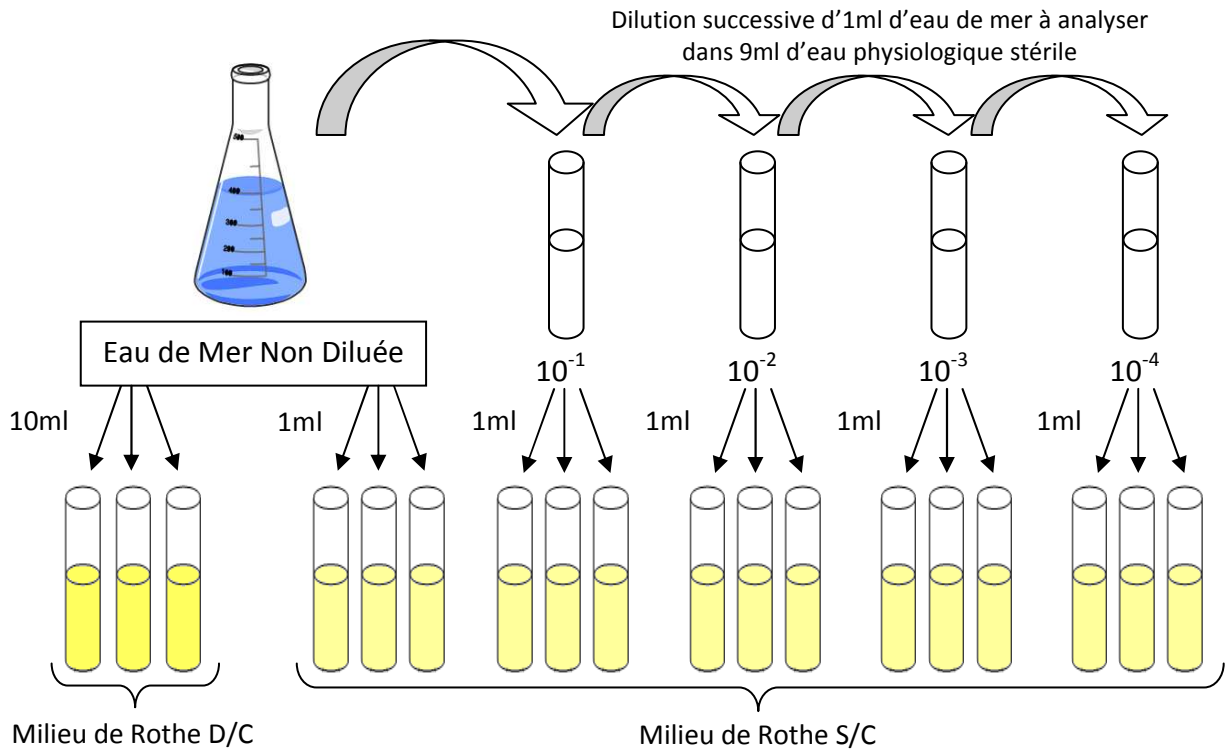
**Le test présomptif :** Après avoirensemencé l'eau d'échantillons dans des tubes multiples de milieu de ROTHE en utilisant 3 tubes de doubles concentrations avec 10 ml d'eau de mer, 3 tubes de simple concentrations avec 1 ml d'eau de mer et 3 tubes de simples concentrations avec 1 ml de chaque dilution, nous les avons incubés à 37°C pendant 48 heures.

- **La lecture :** tous les tubes présentant un trouble sont considérés comme positifs.

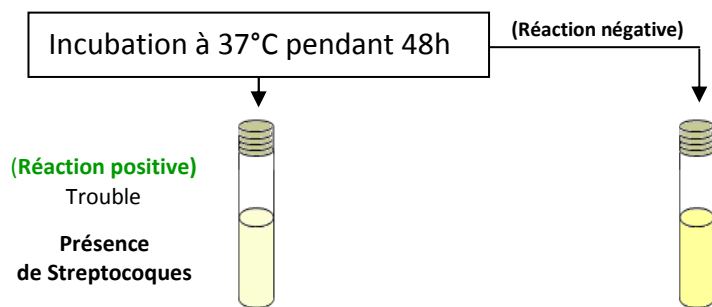
**Le test confirmatif :** après agitation des tubes positifs, nous avons prélevés de chacun d'eau successivement quelques gouttes (4 à 6 gouttes) et nous les avons reportées dans des tubes de milieu de Litsky à l'éthyl violet et azide de sodium (EVA). On incube à 37° pendant 24 heures.

- **La lecture :** les tubes dont le trouble est important (jaune) et/ou présentent une pastille violette au fond sont considérés comme positifs et confirment la présence de *Streptococcus-D-feocalis*.

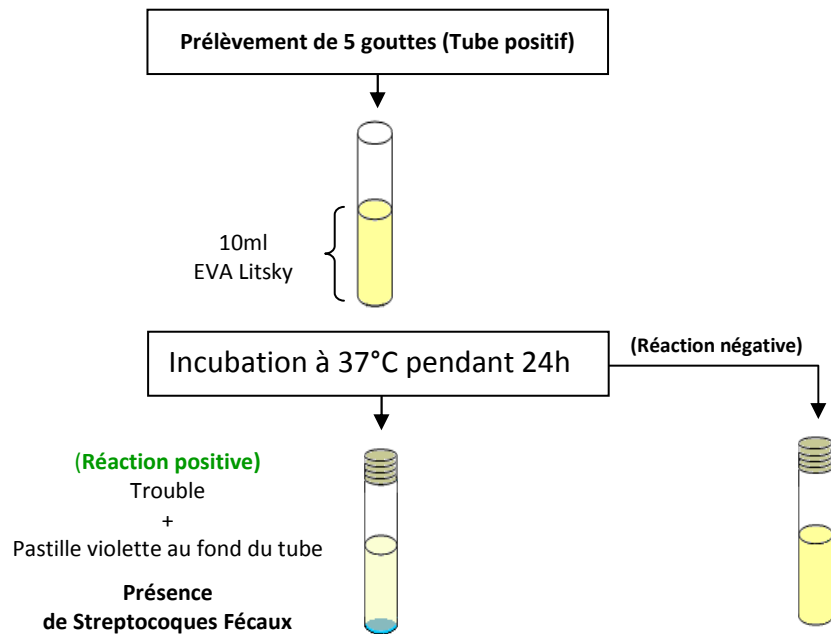
La figure 2.23 récapitule la méthode utilisée.



### Test Présomptif



### Test Confirmatif



**Figure 2.23 :** Méthode de dénombrement des Streptocoques Fécaux dans l'eau de mer

#### 2.5.2.2.4. Origine de la pollution fécale

L'origine de la pollution fécale a été étudiée par Geldreich et Kenner (1968) en utilisant le rapport des coliformes thermotolérants aux streptocoques fécaux (CTH/SF). Le tableau suivant indique la signification des valeurs possibles que l'on peut obtenir.

**Tableau 2.3 :** Origine de la pollution fécale selon le rapport CTH/SF

Rapport CTH/SF	Source de contamination
$R < 0.7$	Principalement ou entièrement d'origine animale
$0.7 < R < 1$	Mixte à prédominance animale
$1 < R < 2$	Origine incertaine
$2 < R < 4$	Mixte à prédominance humaine
$R > 4$	Exclusivement humaine

#### 2.5.2.3. Dosage des sels nutritifs

L'apport de nutriments (sels nutritifs) par les rejets directs sur les herbiers favorise le développement des épiphytes sur les feuilles de **P. oceanica**, épiphytes qui interceptent la lumière et nuisent donc à la photosynthèse de leur hôte. En outre, directement (via l'accroissement de la valeur nutritive des feuilles) et indirectement (via les épiphytes), les nutriments favorisent le broutage de **P. oceanica** par les herbivores (voir page 8) et réduisent la transparence de l'eau (en favorisant le développement du phytoplancton). Il en résulte un impact négatif sur les herbiers à **P. oceanica**.

##### A- Principe :

Le principe de détermination des sels nutritifs est basé sur la formation de complexes spécifiques colorés dont l'absorption de l'énergie lumineuse à une certaine longueur d'onde ( $\lambda$ ) est directement proportionnelle à la concentration du sel nutritif à doser.

La quantité de lumière absorbée par la solution, appelée absorbance (A) ou densité optique (D.O), obéit à la loi de Beer-Lambert.

$$D.O = A = \log(I_0 / I) = \lambda.L.C$$

**I<sub>0</sub> et I :** respectivement intensité lumineuse incidente et émergente du milieu absorbant.

**$\lambda$  :** coefficient d'extinction molaire (fonction de la température et la longueur d'onde).

**L :** longueur du milieu traversé exprimé en cm.

**C :** concentration de la solution absorbante exprimée en mol/l.

**A et D.O :** respectivement absorbance et densité optique de la solution.

##### B- Mode opératoire :

On s'intéresse au dosage des sels nutritifs : ammonium, nitrites, nitrates, ortho-phosphates et silicium dissout. L'analyse est faite par la méthode de colorimétrie à flux continu sur chaîne automatisée SKALAR (Auto-Analyzer SAN PLUS) selon le protocole décrit par le fabricant (SKALAR, 1998). Schématiquement, cet analyseur automatique est composé de 3 éléments : un échantillonneur qui permet d'aspirer les échantillons, une cassette où se déroule le développement des complexes colorés et le spectrophotomètre proprement dit.

Un système de pompe crée un flux continu entre les différents éléments de la chaîne, flux qui entraîne automatiquement l'échantillon au travers du système (voir le circuit analytique pour le dosage de chaque paramètre en annexe 5 et 6) pour son analyse.

Le dosage de chaque paramètre est passé en revue ci-après :

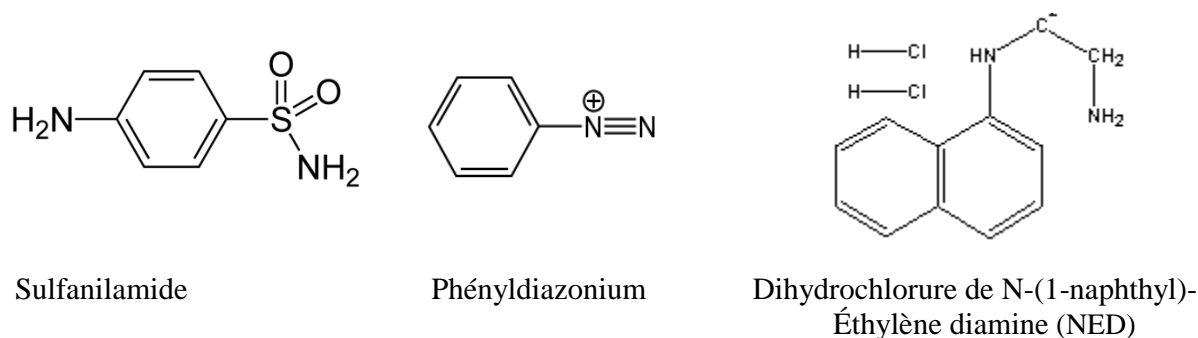
### 2.5.2.3.1. Dosage de l'ammonium

Le dosage de l'ammonium ( $NH_4^+$ ) est réalisé suivant la méthode de Koroleff (1969 *in* Aminot et Chaussepied, 1983). En milieu alcalin ( $8 < \text{pH} < 11,5$ ), l'ammonium dissout réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine. Ce composé, en présence de phénol et d'un excès d'hypochlorite (milieu oxydant) donne lieu à la formation d'un bleu d'indophénol. La réaction est catalysée par le nitroprussiate de sodium. Le maximum d'absorption se fait à une longueur d'onde de 630 nm (Lourguioui, 2007).

### 2.5.2.3.2. Dosage des nitrites

Le dosage des nitrites ( $NO_2^-$ ) est réalisé selon la méthode de GRIESS qui repose sur la formation d'un complexe coloré par réaction de diazotation entre l'ion nitrite, une amine primaire aromatique, la Sulfanilamide et une autre amine aromatique, le Dihydrochlorure de N-(1-naphthyl)-éthylène diamine (NED). En effet, Il s'agit de la réaction de GRIESS, réaction de diazotation spécifique de l'acide nitreux, qui se produit en deux étapes :

L'ion nitrite réagit avec le sulfanilamide (4-H<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>SO<sub>2</sub>NH<sub>2</sub>) pour former un composé diazoïque (sel de diazonium) qui se combine ensuite en milieu acide ( $\text{pH} < 2$ ) avec le NED pour former un composé rosé dont l'absorbance à 540nm (Benschneider et Robinson, 1952 et SKALAR, 1998 *in* lourguioui, 2007) est proportionnelle à la concentration des ions nitrite.



**Figure 2.24** : Réactifs de GRIESS pour le dosage des nitrites

### 2.5.2.3.3. Dosage des nitrates :

Selon Wood *et al.* (1967 *in* Lourguioui, 2007), Le passage des échantillons dans une colonne de cadmium traité au cuivre permet la réduction des nitrates ( $NO_3^-$ ) en nitrites ( $NO_2^-$ ). Ces dernières ( $NO_2^-$  initiaux +  $NO_3^-$  réduits) seront ensuite dosées par colorimétrie selon la méthode précédemment décrite. D'après Rodier *et al.* (1996), les concentrations de nitrates sont obtenues après la soustraction des concentrations de nitrites déterminés, antérieurement, avant le passage des échantillons dans la colonne réductrice.

#### 2.5.2.3.4. Dosage des orthophosphates

Le principe du dosage des orthophosphates selon la méthode de Murphy et Riley (1962) repose sur la réaction de l'anion orthophosphate ( $PO_4^{3-}$ ) avec l'ion molybdate d'ammonium et l'ion oxydrate de potassium (Antimoine) en milieu acide pour la formation de l'acide phosphomolybdique. Cet acide est réduit par l'acide ascorbique en bleu de molybdène dont l'absorbance à 880nm est proportionnelle à la concentration de l'ion orthophosphate présent dans un échantillon.

#### 2.5.2.3.5. Dosage du silicium dissout :

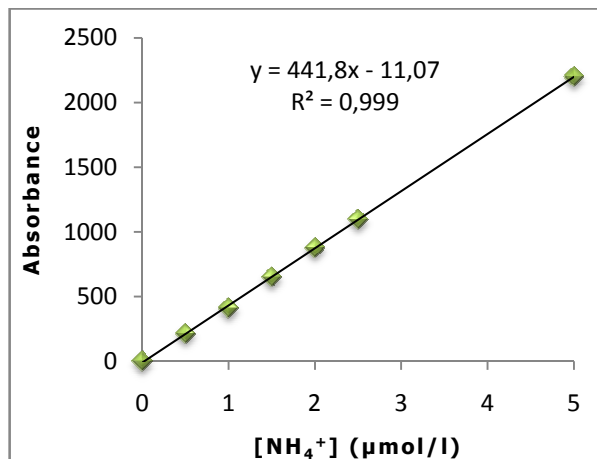
Présent à 95 % sous forme d'acide orthosilicique Si(OH) (Aminot et Chaussepied, 1983 *in* Lourguioui, 2007), le silicium dissous réagit avec le molybdate d'ammonium en milieu acide pour former un complexe silicomolybdique qui réduit par l'acide ascorbique donne un composé coloré en bleu absorbant à 810 nm (Mullin et Riley, 1955 *in* Lourguioui, 2007). L'ajout de l'acide oxalique évite l'interférence des phosphates.

#### 2.5.2.3.6. Étalonnage, mesure et calcul :

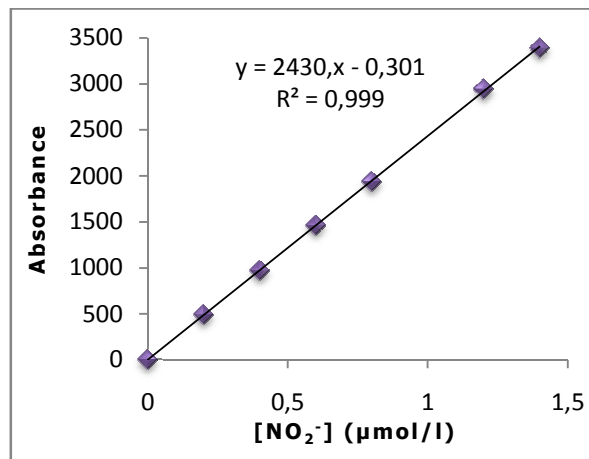
L'étalonnage nécessite, pour chaque sel à doser, la préparation d'une solution mère et d'une solution fille (voir annexes 7 à 10). Une fois la solution fille prête, nous employons le principe de neutralisation pour préparer d'autres solutions filles plus diluées (standards), qui constitueront une gamme-étalons (voir annexe 11).

Le signal d'absorption mesuré en continu par le spectrophotomètre est traduit sous la forme d'un pic sur un ordinateur interfacé. La hauteur du pic est proportionnelle à la concentration du sel dans l'échantillon. La mesure de standards de concentrations connues permet de calculer une droite de régression (de la forme  $Y = aX + b$ ) qui est utilisée pour déterminer les concentrations inconnues. Les pics sont mesurés par rapport à une ligne de base constituée d'eau de mer oligotrophe (épuisée de nutriments).

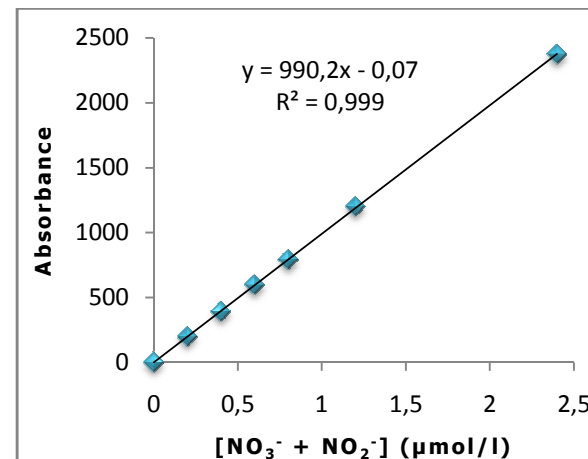
Le logiciel intégré de l'appareil utilisé réalise automatiquement tous les calculs nécessaires pour nous permettre d'obtenir les droites d'étalonnage ci-après.



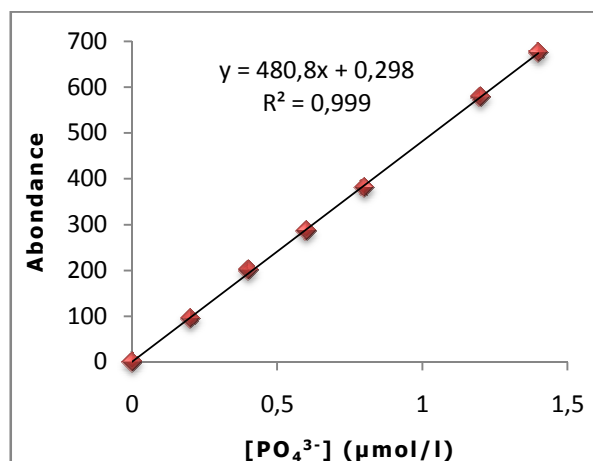
**Figure 2.25 :** Droite d'étalonnage de l'ammonium



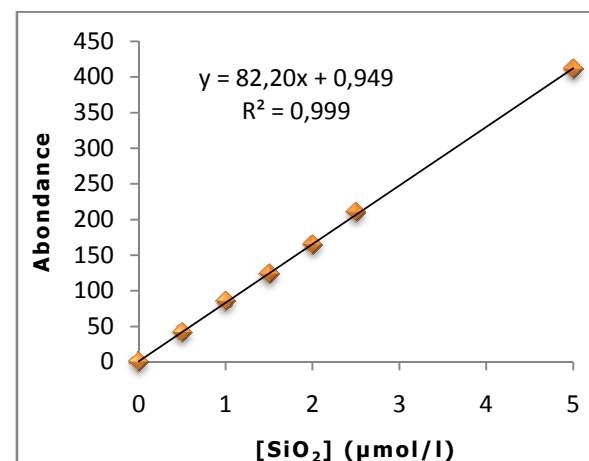
**Figure 2.26 :** Droite d'étalonnage des nitrites



**Figure 2.27 :** Droite d'étalonnage des nitrites + nitrates



**Figure 2.28 :** Droite d'étalonnage des orthophosphates



**Figure 2.29 :** Droite d'étalonnage du silicium dissout

## Chapitre 3



# Résultats & Discussions

### 3.1. Caractérisation de la pollution dans la baie de Bou-Ismaïl

Pour gérer rationnellement et maîtriser la pollution, il est important d'étudier tout ce qui concerne les charges, la distribution et le sort des contaminants ; à compter les métaux lourds qui se déversent dans les écosystèmes aquatiques, Il faut en particulier étudier, du mieux possible, les quantités et les caractéristiques qualitatives, ainsi que les itinéraires qu'ils empruntent quand ils se dispersent et leur destinée avant de voir leurs effets sur le biote. Pour cela nous sommes intéressés en premier lieu à caractériser la pollution dans la baie de Bou-Ismaïl en particulier dans la zone 2 de notre étude. Ce qui facilitera la compréhension de l'effet qu'elle exerce sur l'écosystème à *Posidonia oceanica* en seconde partie de ce chapitre.

L'analyse des métaux lourds s'est portée sur l'élément majeur susceptible d'engendrer des perturbations sur les biocénoses marines, le mercure et 5 autres éléments permettant de renseigner sur l'état des lieux et l'origine éventuelle de la pollution dont les résultats (voir annexe 12) sont présentés ci-après avec discussion.

#### 3.1.1. Métaux lourds

##### 3.1.1.1. État de contamination du sédiment

Les sédiments marins ont une capacité importante de stockage des contaminants. Cette capacité d'enregistrement permet d'obtenir des niveaux de contamination plus fiables que ceux obtenus à partir de mesures sur la colonne d'eau beaucoup plus variables en termes de concentration des éléments.

La comparaison entre les valeurs relevées dans 5 stations de la zone 2 et des valeurs de références : zone 1 et zone 3 met en évidence la présence de contamination métallique dans les sédiments marins du front de mer de Bou-Ismaïl. Les valeurs maximales obtenues après analyse des sédiments sont supérieures aux valeurs de référence ou relevés dans la littérature voir tableau ci-dessous.

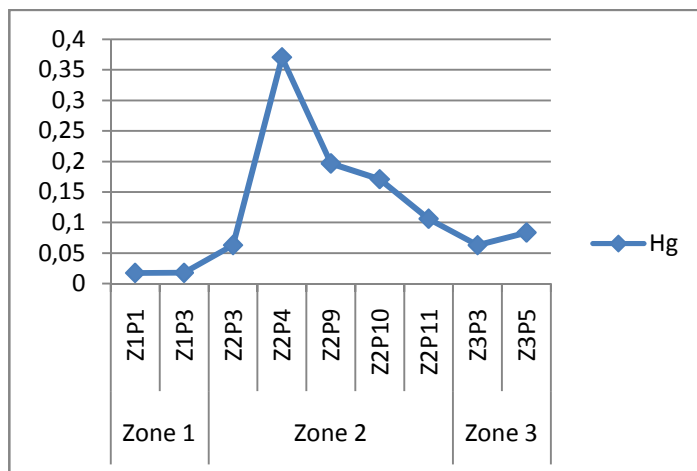
**Tableau 3.1 :** Statistiques des concentrations maximales en métaux lourds dans les sédiments de la zone 2 exprimées en g/kg p.s excepté pour le mercure en mg/kg p.s

Élément	Valeur maximale /Station	Valeurs de référence /Station	Références dans la littérature		
			Valeurs	Station	Réf.
Mercure (Hg)	<b>0,207</b> (Z2P10)	<b>0,098</b> (Z1P3)	[0,1 - 23,3]	Sédiment côtier Golfe de Trieste, Mer Adriatique	Covelli <i>et al.</i> (2003) in Fitzgerald et Lamborg (2003) in Holland <i>et al.</i> (2003)
			<b>0,07 ± 0,04</b>	Porto-Torres (Italie)	Lafabrie <i>et al.</i> (2007)
Aluminium (Al)	<b>13,850</b> (Z2P10)	<b>2,304</b> (Z1P1)	/	/	/
Fer (Fe)	<b>140,159</b> (Z2P10)	<b>11,593</b> (Z1P3)	/	/	/
Cuivre (Cu)	<b>0,167</b> (Z2P9)	<b>0,004</b> (Z1P3)	<b>0,043</b>	Sédiment superficiel marin	Li (2000); Chester (2000) in Callender (2003) in Holland <i>et al.</i> (2003)

**Tableau 3.1 (suite) :** Statistiques des concentrations maximales en métaux lourds dans les sédiments de la zone 2 exprimées en g/kg p.s excepté pour le mercure en mg/kg p.s

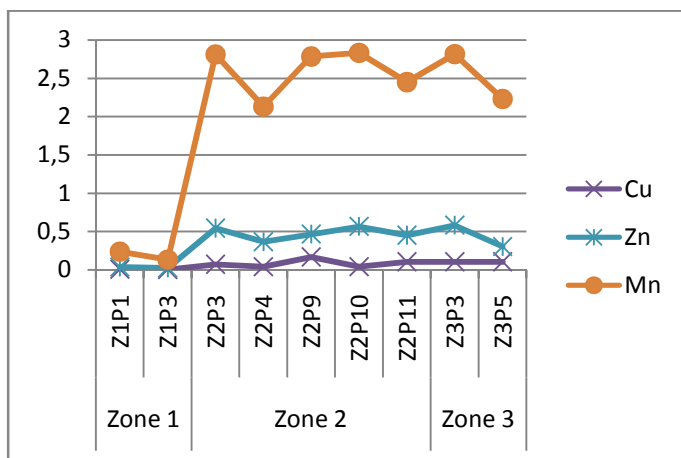
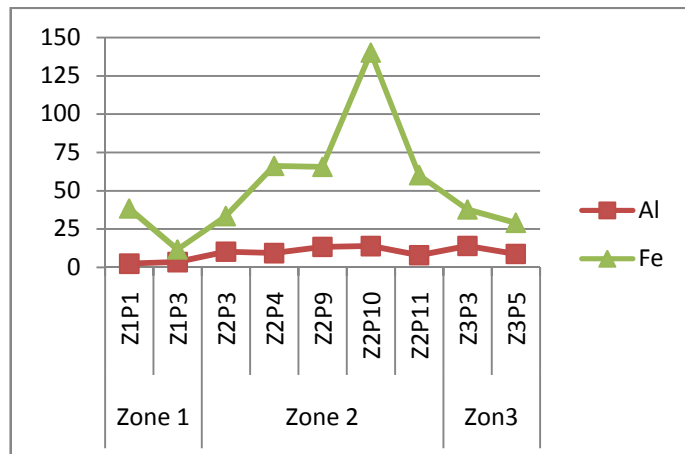
Élément	Valeur maximale /Station	Valeurs de référence /Station	Références dans la littérature		
			Valeurs	Station	Réf.
Cuivre (Cu)	0,167 (Z2P9)	0,004 (Z1P3)	<0,025	Sédiment non pollué	Filgueiras <i>et al.</i> (2004)
			>0,075	Sédiment très pollué	
			[0,0027 – 0,0513]	Sardaigne, Italie	Caredda <i>et al.</i> (1999)
			[0,009 – 0,087]	Baie d’Alger	Benamar <i>et al.</i> (1999)
			[0,014 – 0,083]	Mer Méditerranée, France	Fernex <i>et al.</i> (2001)
Zinc (Zn)	0,564 (Z2P10)	0,022 (Z1P3)	0,111	Sédiment superficiel marin	Li (2000); Chester (2000) in Callender (2003) in Holland <i>et al.</i> (2003)
			[0,198 – 0,324]	Sardaigne, Italie	Caredda <i>et al.</i> (1999)
			[0,058 – 0,274]	Baie d’Alger	Benamar <i>et al.</i> (1999)
			[0,029 – 0,509]	Mer Méditerranée, France	Fernex <i>et al.</i> (2001)
			[0,409 – 6,725]	Sédiment superficiel, Grèce	Galanopoulou <i>et al.</i> (2009)
Manganèse (Mn)	2,832 (Z2P10)	0,132 (Z1P3)	[0,095 – 1,101]	Sédiment superficiel, Grèce	Galanopoulou <i>et al.</i> (2009)
			< 0,3	Sédiment non pollué	Filgueiras <i>et al.</i> (2004)
			> 0,5	Sédiment très pollué	

De plus, pour tous les métaux étudiés excepté le fer dans la station Z1P1 (avec une concentration plus élevée), la zone 1 est incontestablement la zone de référence parmi nos trois sites d’étude, les plus faibles concentrations y sont effectivement trouvées dans le sédiment. Les résultats révèlent, toutefois, à travers les figures 3.1, 3.2 et 3.3 suivantes, que le sédiment de la zone 3 présente des concentrations du même ordre de grandeur que les valeurs obtenus pour tous les métaux dans la zone polluée, la zone 2 ; ce qui ne la classe plus, comme nous avons supposé au départ, comme une zone intermédiairement anthropisée. Ce fait peut être expliqué par (i) les déversements de divers produits chimiques utilisés par le centre de thalassothérapie ; (ii) le mode hydrologique calme dans cette zone confinée notamment par ses deux îlots (voir figure 2.5).



**Figure 3.1 :** Concentrations du mercure (Hg) en mg/kg (p.s) dans le sédiment des trois zones d’étude

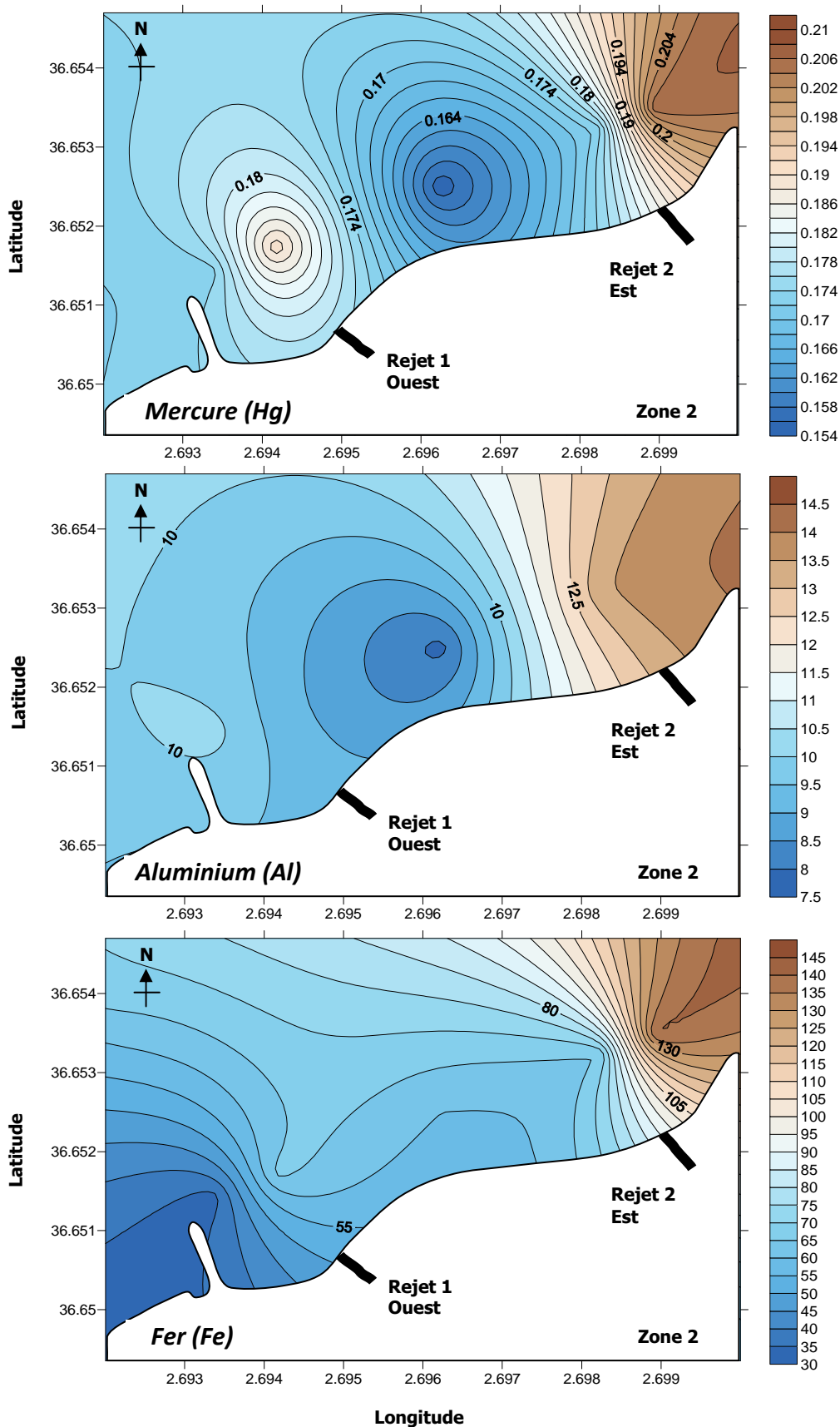
**Figure 3.2 :** Concentrations de l'aluminium (Al) et du fer (Fe) en g/kg (p.s) dans le sédiment des trois zones d'étude



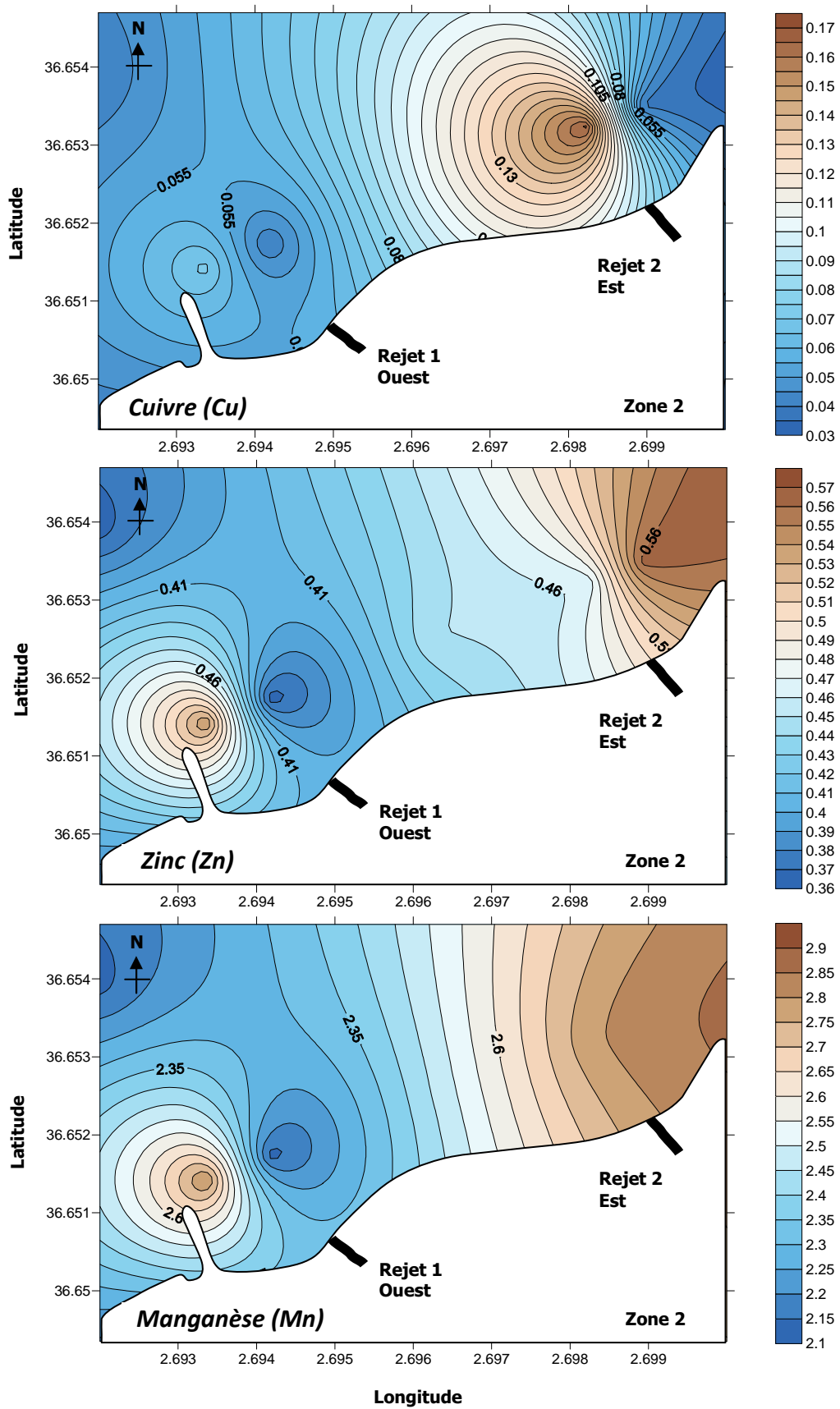
**Figure 3.3 :** Concentrations du manganèse (Mn), du zinc (Zn) et du cuivre (Cu) en g/kg (p.s) dans le sédiment des trois zones d'étude

Si les concentrations restent relativement de même grandeur sauf pour le pic de fer dans la station Z2P10, la délocalisation géographique des stations permet de noter des variations spatiales rencontrées dans la zone 2 qui s'expliquent essentiellement par les différences géologiques et sédimentologiques des substrats mais aussi par le mode hydrologique. En effet, nous constatons grâce aux représentations spatiales (voir figures 3.4 et 3.5) que les contaminations s'orientent davantage vers le côté EST du rejet 2 en raison du régime du courant Nord-Est dominant. Ce sont particulièrement les métaux : Mercure, Aluminium, Fer, Zinc et Manganèse qui sont concernés. Tandis-que pour le Cuivre il semble se concentrer en face du rejet 2 dans la station Z2P9. À noter que dans la station Z2P11 située entre les deux rejets où la profondeur est moins importante, en raison de la présence d'une plateforme, les teneurs sont nettement plus faibles.

Il en ressort clairement aussi de ces représentations que le rejet 2 est nettement plus important en termes d'apports en métaux lourds au sédiment dans l'ordre décroissant suivant : Fe, Al, Mn, Zn, Hg, Cu. Par contre le rejet 1 semble uniquement apporter de légères quantités de mercure, en face du rejet, et des quantités plus significatives de zinc et de manganèse vers l'épi. Ces distinctions, couplées à d'autres informations, notamment, l'implantation des industries dans la zone et la nature de leurs activités (voir tableau 2.1), peuvent servir à identifier le type de rejets déversés et remonter éventuellement aux industries dont ils sont originaires. Nous pouvons par exemple dire que les unités ALUFER et ALUMINAL déversent davantage au niveau du rejet 2 quand SARL RESITECK tendrait plus à évacuer ses eaux usées au niveau du rejet 1.



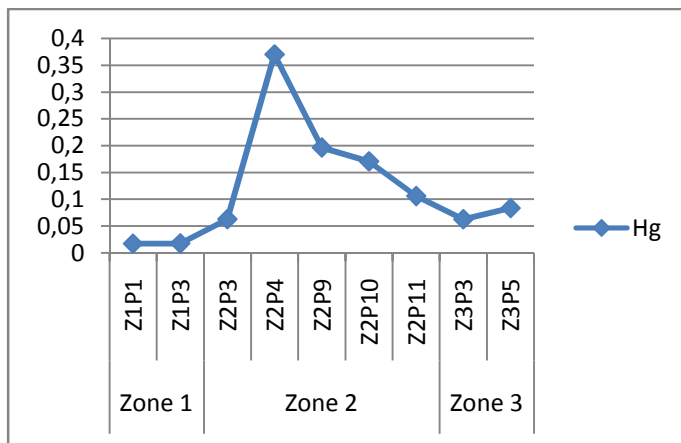
**Figure 3.4 :** Distribution des concentrations de mercure en mg/kg (p.s), d'aluminium et de fer en g/kg (p.s) dans le sédiment de la zone 2



**Figure 3.5 :** Distribution des concentrations de cuivre, de zinc et manganèse en g/kg (p.s) dans le sédiment de la zone 2

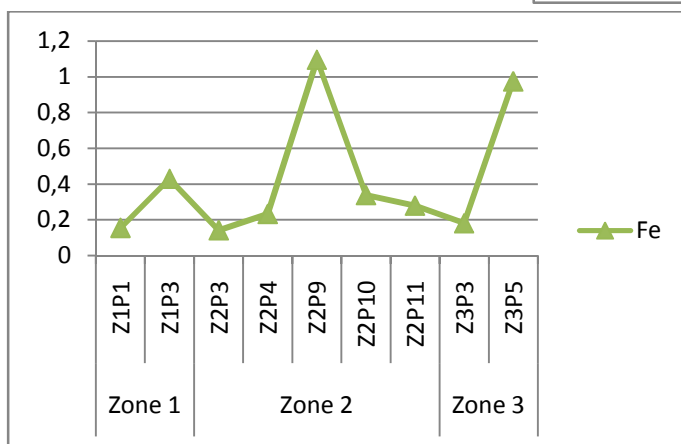
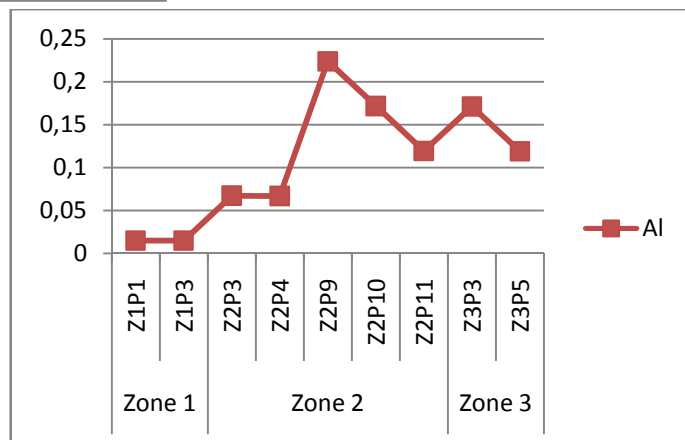
### 3.1.1.2. État de contamination de la posidonie

Si les teneurs très faibles restent en faveur de la zone 1 de référence pour le sédiment, il semble, d'après les résultats obtenus, que pour la posidonie ce ne sont que le mercure et l'aluminium qui gardent cette tendance (figures 3.6 et 3.7) car la concentration des autres métaux est variable d'un site à l'autre comme le montrent les figures 3.8 et 3.9. Néanmoins les maximas restent toujours rencontrés dans la zone 2. Cette variabilité est due à l'utilisation préférentielle des oligo-éléments que sont, le fer, le cuivre, le zinc et le manganèse par la posidonie pour son développement de sorte qu'elle ne mobilise pas du tout le mercure et l'aluminium et se contente de les emmagasiner uniquement. Ce qui explique que leurs teneurs soient correctement "mémoires et retranscrites" par rapport au sédiment.

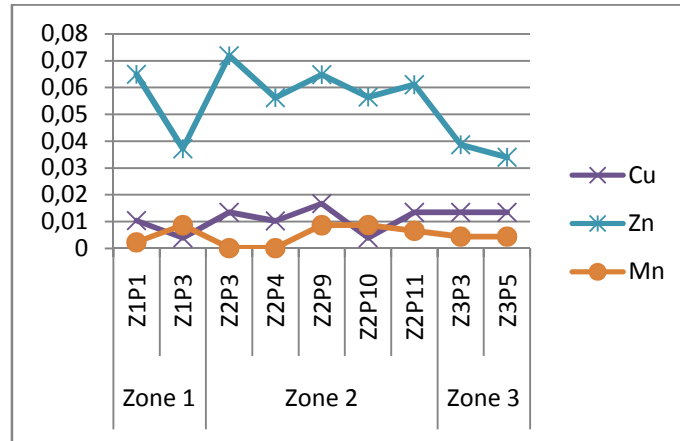


**Figure 3.6 :** Concentrations du mercure en mg/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie des trois zones d'étude

**Figure 3.7 :** Concentrations de l'aluminium en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie des trois zones d'étude



**Figure 3.8 :** Concentrations du fer en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie des trois zones d'étude



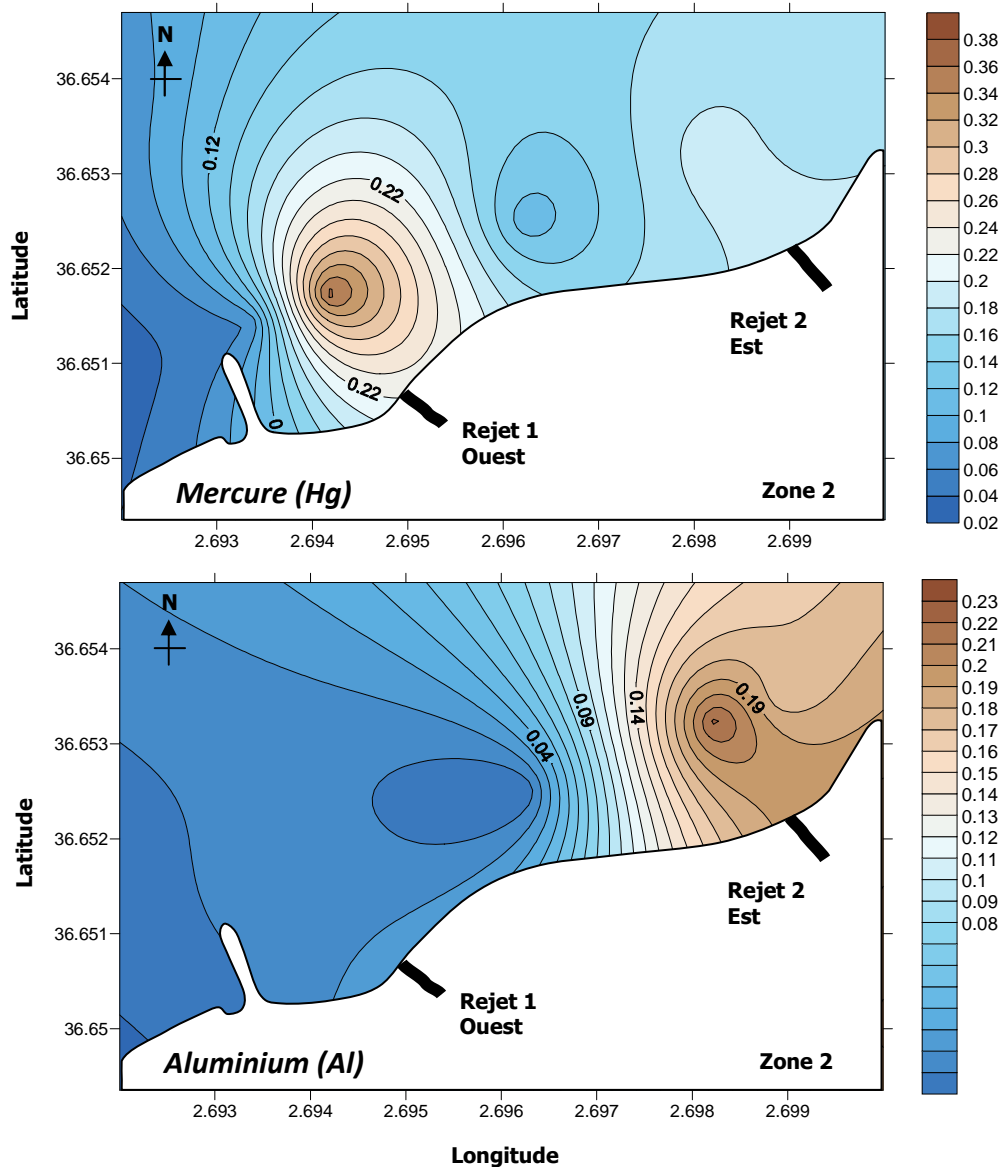
**Figure 3.9 :** Concentrations du cuivre, du zinc et du manganèse en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie des trois zones d'étude

La comparaison entre les valeurs relevées dans la zone 2 et des valeurs de références : zone 1 et zone 3 confirme la contamination métallique de l'herbier à posidonie du front de mer de Bou-Ismaïl. Les valeurs maximales obtenues après analyse des rhizomes sont supérieures aux valeurs de référence et/ou de même ordre de grandeur que ceux relevés dans la littérature regroupées dans le tableau 3.2 ci-dessous.

**Tableau 3.2 :** Concentrations en métaux lourds dans les rhizomes de posidonie reportées dans divers sites méditerranéens (en g/kg p.s sauf pour le mercure en mg/kg p.s)

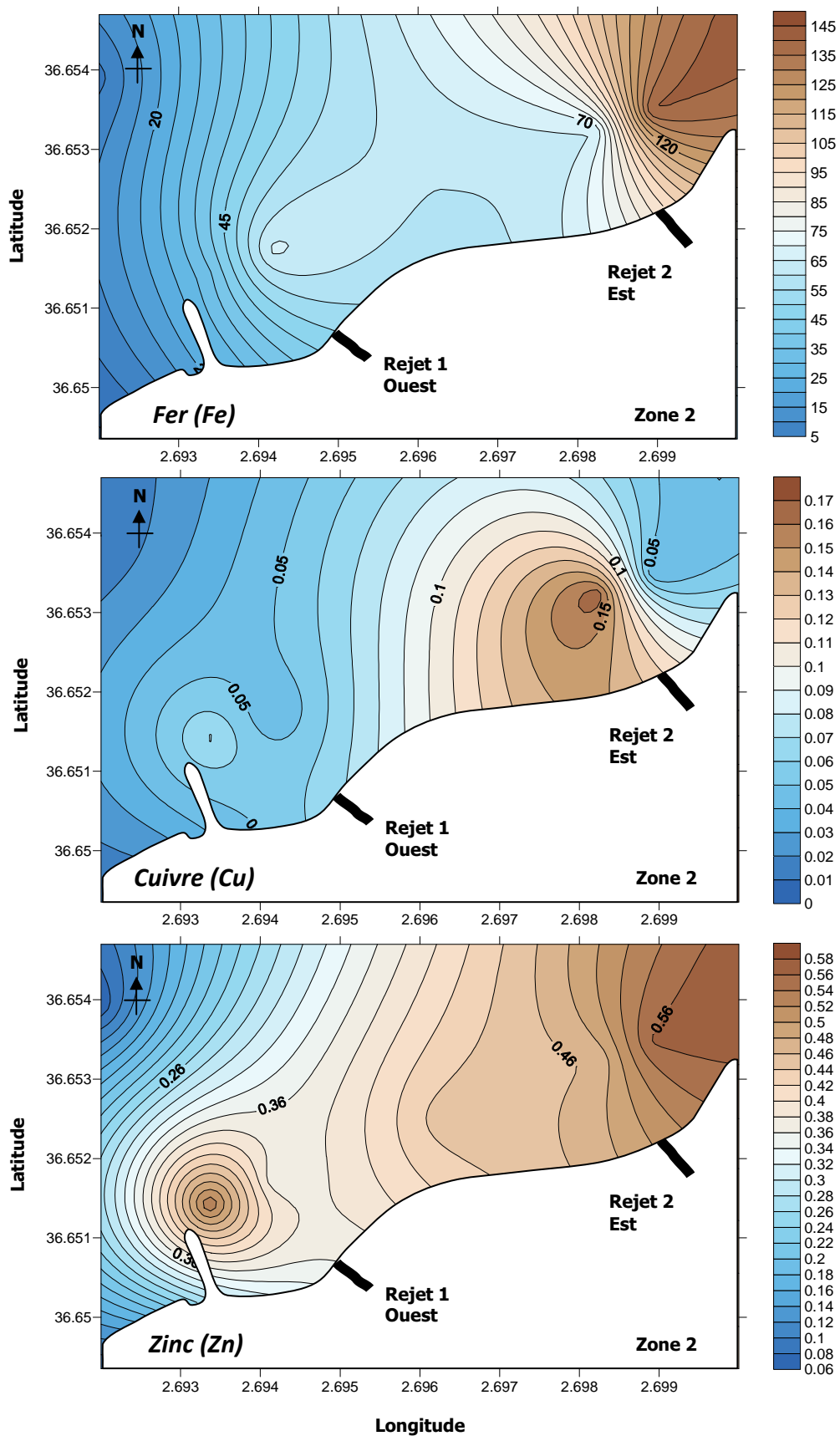
Élément	Valeur maximale /Station	Valeurs de référence /Station	Références dans la littérature		
			Valeurs	Station	Réf.
Mercure (Hg)	<b>0,3701</b> (Z2P4)	<b>0,0173</b> (Z1P1)	<b>0,0301</b>	Calvi	Pergent-Martini (1998) in Pergent et Pergent-Martini (1999)
			<b>0,0479</b>	Ischia	
			<b>0,0522</b>	Marseille	
			<b>0,02</b>	Corse	Maserti <i>et al.</i> (1988)
<b>0,17</b>	Zone industrielle				
Aluminium (Al)	<b>0,2236</b> (Z2P9)	<b>0,0151</b> (Z1P3)	/	/	/
Fer (Fe)	<b>1,0948</b> (Z2P9)	<b>0,1555</b> (Z1P1)	<b>0,649 ± 0,472</b>	Calvi	Warnau <i>et al.</i> (1995)
			<b>1,869 ± 1,243</b>	Ischia	
			<b>0,584 ± 0,317</b>	Marseille	
Cuivre (Cu)	<b>0,0167</b> (Z2P9)	<b>0,0040</b> (Z1P3)	<b>0,00787 ± 0,00339</b>	Calvi	
			<b>0,0124 ± 0,00342</b>	Ischia	
			<b>0,01194 ± 0,00353</b>	Marseille	
			<b>[0,0066 – 0,0153]</b>	Ile Favignana	Campanella <i>et al.</i> (1999)
Zinc (Zn)	<b>0,0718</b> (Z2P3)	<b>0,0372</b> (Z1P3)	<b>0,0949 ± 0,0162</b>	Calvi	Warnau <i>et al.</i> (1995)
			<b>0,103 ± 0,031</b>	Ischia	
			<b>0,0107 ± 0,0043</b>	Marseille	
			<b>[0,041 – 0,14]</b>	Ile Favignana	Campanella <i>et al.</i> (1999)
Manganèse (Mn)	<b>0,0088</b> (Z2P11)	<b>0,0024</b> (Z1P1)	/	/	/

La contamination de la posidonie par le mercure s'opère le plus d'après la figure 3.10 au niveau la station Z2P4 directement à une centaine de mètres de l'embouchure du premier rejet (ouest) dans la zone 2 et moyennement au niveau du deuxième rejet alors que c'est dans ce secteur que les concentrations sont les plus élevées dans le sédiment. Quant à sa contamination en Aluminium elle semble se faire au niveau de la station Z2P9 tout doit au large de l'embouchure du deuxième rejet (est) de la zone polluée et quasiment pas du tout au niveau du premier rejet à l'ouest (voir figure 3.10).

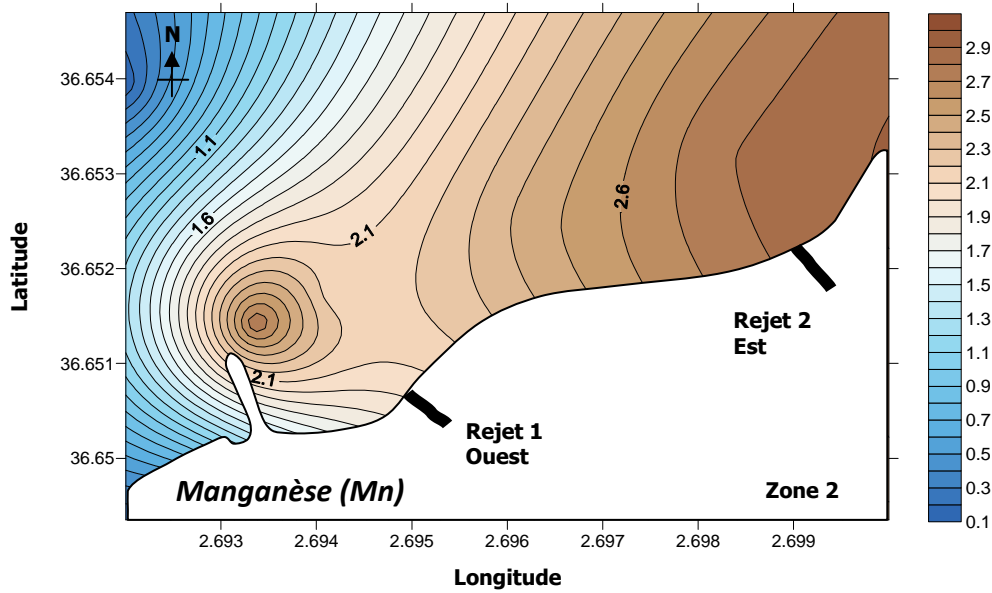


**Figure 3.10 :** Distribution des concentrations de mercure en mg/kg (p.s) et d'aluminium en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie de la zone 2

La concentration du fer et du cuivre par l'herbier se fait surtout à l'EST de la zone 2 mais le zinc et le manganèse sont bien concentrés au niveau de toutes les stations de cette même zone (voir figures 3.11 et 3.12).



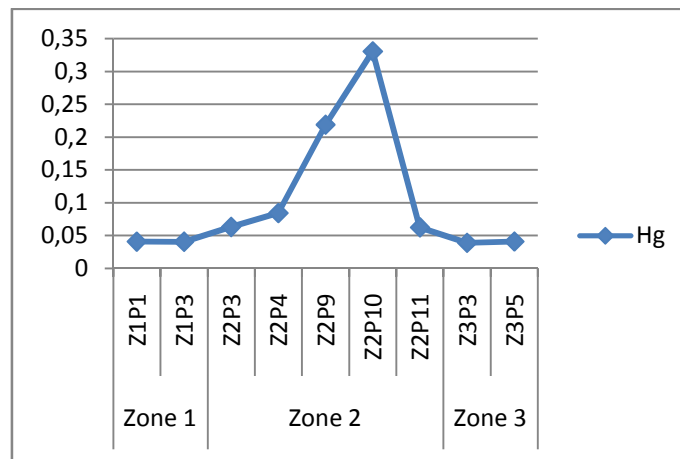
**Figure 3.11 :** Distribution des concentrations du cuivre, du zinc et du manganèse en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie de la zone 2



**Figure 3.12 :** Distribution des concentrations de manganèse en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie de la zone 2

### 3.1.1.3. État de contamination des oursins

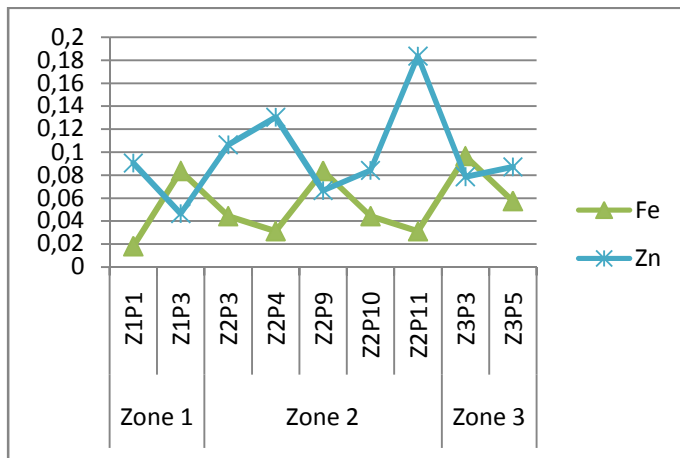
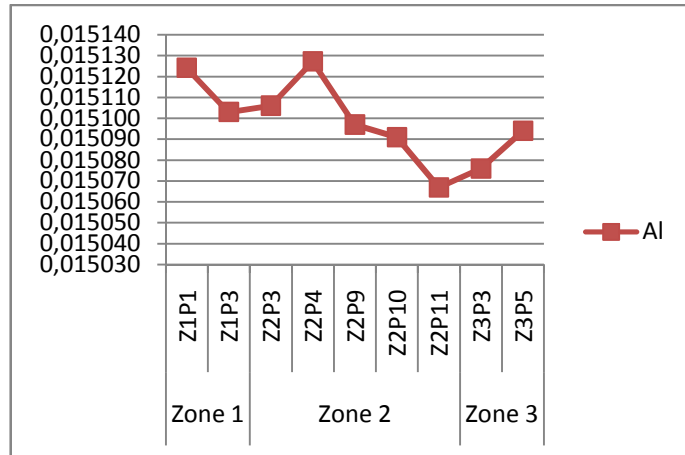
La notion de zone de référence ne s’applique que pour le mercure quand il s’agit du deuxième maillon de la chaîne trophique considéré dans notre étude à savoir l’oursin commun *Paracentrotus lividus*. La figure 3.13 montre un très important pic de mercure dans la station Z2P10 ce qui laisse supposer que les oursins en cette station accumulent aussi le mercure directement depuis la colonne d’eau.



**Figure 3.13 :** Concentrations du mercure en mg/kg (p.s) dans les gonades de l’oursin commun des trois zones d’étude

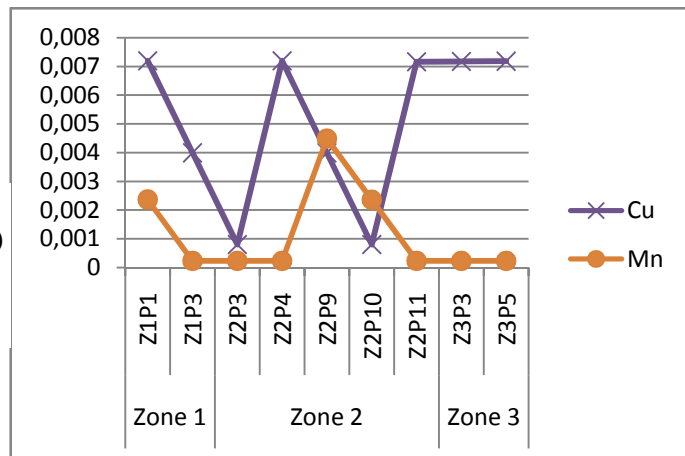
Pour les autres métaux, nous remarquons grâce aux figures 3.14, 3.15 et 3.16, une très grande variation des teneurs dans les gonades de l’oursin dans les différents sites de sorte qu’il nous est nécessaire de comparer nos résultats à d’autres études pour pourvoir apprécier une tendance de la pollution.

**Figure 3.14 :** Concentrations de l'aluminium en g/kg (p.s) dans les rhizomes de posidonie des trois zones d'étude



**Figure 3.15 :** Concentrations du fer et du zinc en g/kg (p.s) dans les gonades de l'oursin commun des trois zones d'étude

**Figure 3.16 :** Concentrations du cuivre et du manganèse en g/kg (p.s) dans les gonades de l'oursin commun des trois zones d'étude



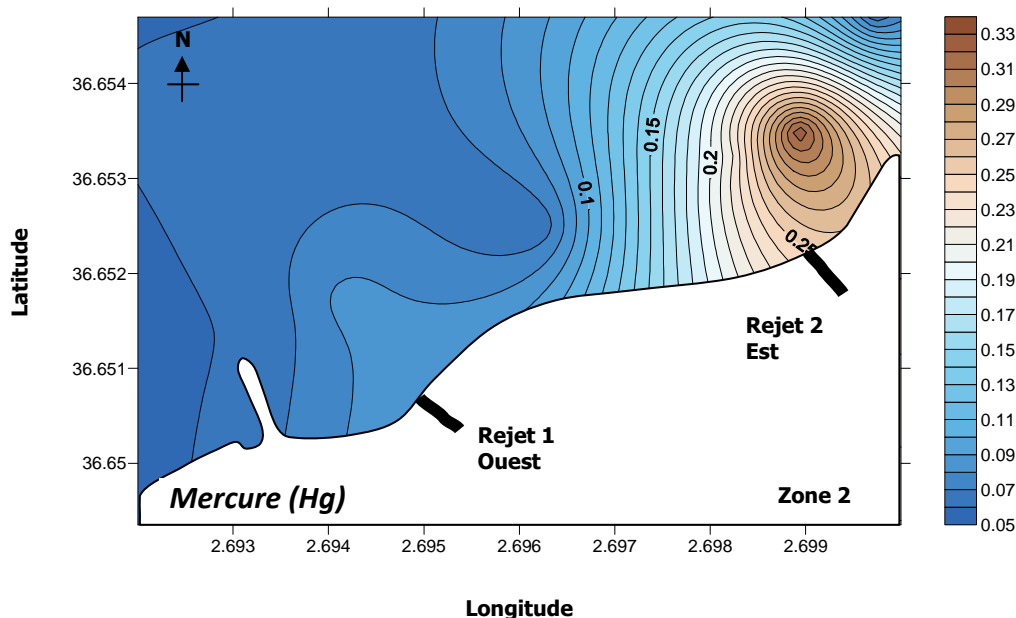
Dans l'impossibilité de comparer les résultats de l'aluminium et de manganèse, nous ne pouvons que constater leur faible variation par rapport aux zones de référence.

Cependant, comparées aux travaux de Warnau *et al.* (1998), les concentrations maximales de fer, de cuivre et de zinc dans la zone 2 correspondent bien à des teneurs élevées dans les gonades de l'oursin *Paracentrotus lividus* comme le montre le tableau 3.3 ci-après.

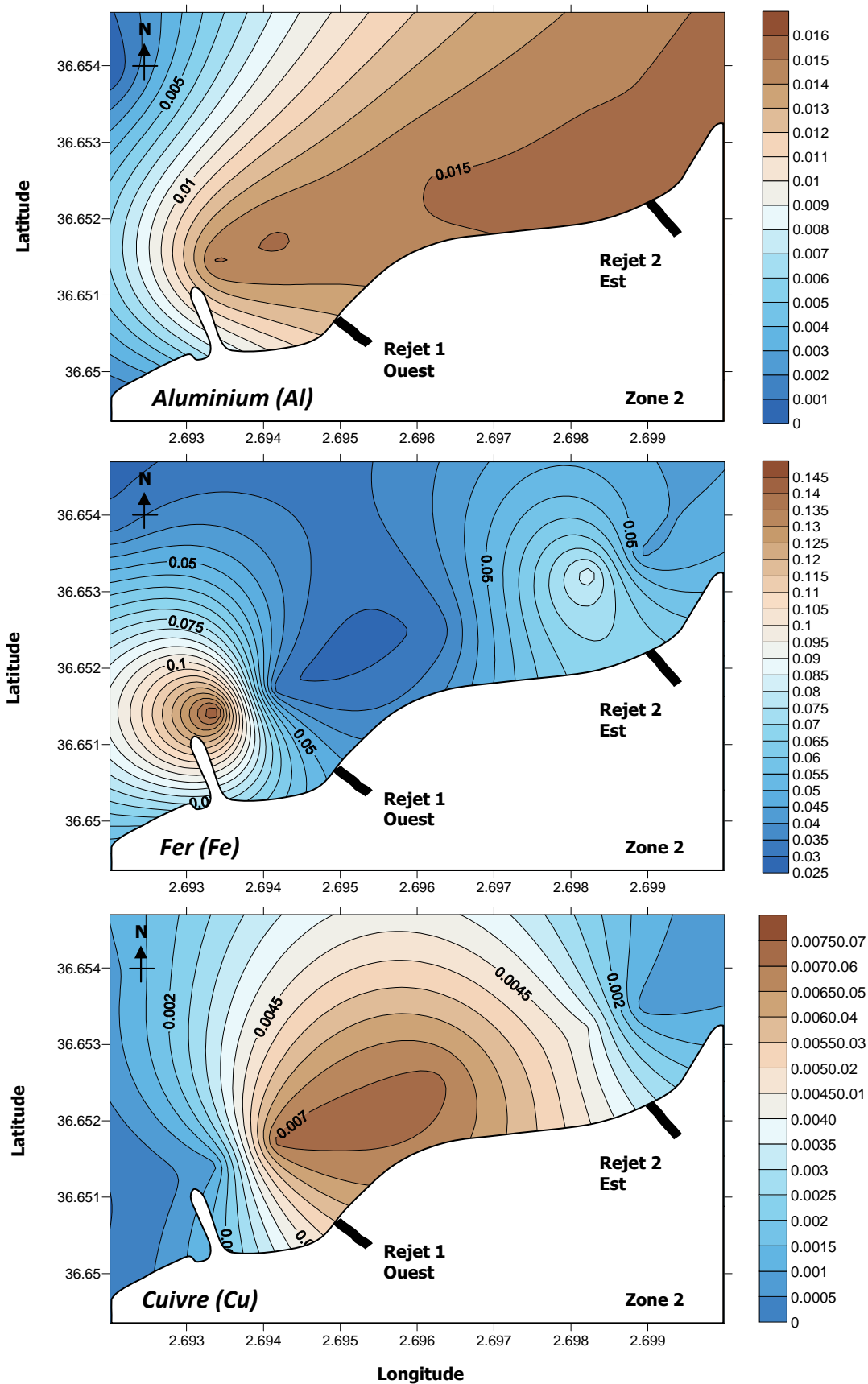
**Tableau 3.3 :** Statistiques des concentrations maximales en métaux lourds dans les gonades de l'oursin commun de la zone 2 (en g/kg p.s sauf pour le mercure en mg/kg p.s)

Élément	Valeur maximale /Station	Valeurs de référence /Station	Références dans la littérature		
			Valeurs	Station	Réf.
Mercure (Hg)	<b>0,3303</b> (Z2P10)	<b>0,0403</b> (Z1P3)	/	/	/
Aluminium (Al)	<b>0,015127</b> (Z2P4)	<b>0,015103</b> (Z1P3)	-	/	/
Fer (Fe)	<b>0,0834</b> (Z2P9)	<b>0,0181</b> (Z1P1)	<b>0,026 – 0,060</b>	Calvi	Warnau <i>et al.</i> (1997)
			<b>0,065 – 0,119</b>	Ischia	
			<b>0,023 – 0,045</b>	Marseille	
Cuivre (Cu)	<b>0,00719</b> (Z2P4)	<b>0,00399</b> (Z1P3)	<b>0,00162 – 0,00347</b>	Calvi	
			<b>0,00103 – 0,00830</b>	Ischia	
			<b>0,00272 – 0,00380</b>	Marseille	
Zinc (Zn)	<b>0,1835</b> (Z2P11)	<b>0,0464</b> (Z1P3)	<b>0,067 – 0,383</b>	Calvi	
			<b>0,053 – 0,271</b>	Ischia	
			<b>0,055 – 0,168</b>	Marseille	
Manganèse (Mn)	<b>0,0045</b> (Z2P9)	<b>0,0002</b> (Z1P3)	/	/	/

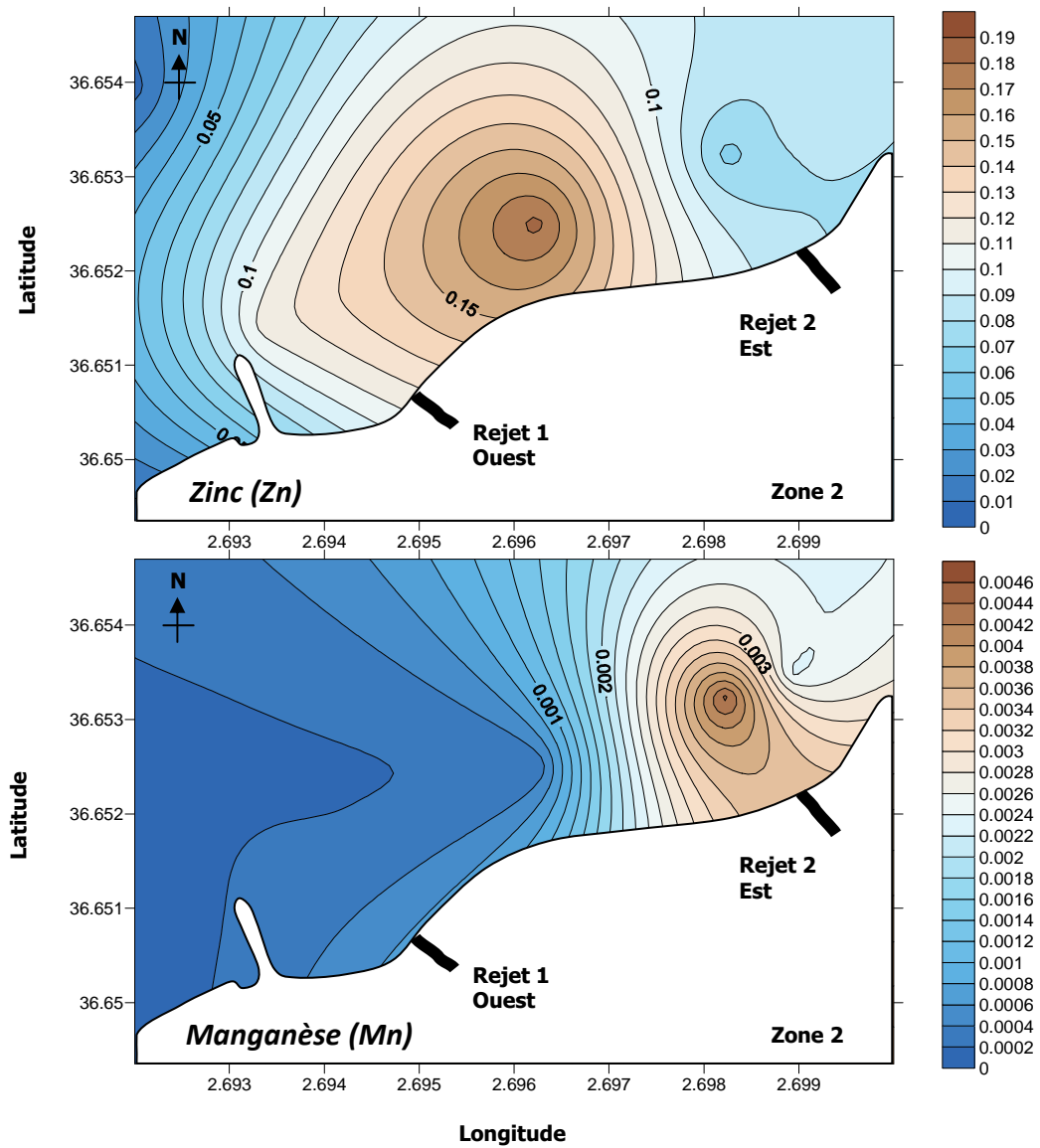
La distribution des métaux dans la zone 2 par rapport aux gonades d'oursins révèle que l'oursin concentre davantage le cuivre et le zinc dans la station Z2P11 entre les deux rejets ; le mercure et le manganèse du côté est de la zone 2 ; le fer du côté ouest et d'une façon analogue, l'aluminium dans toutes les stations étudiées.



**Figure 3.17 :** Distribution des concentrations du mercure en mg/kg dans les gonades de l'oursin commun de la zone 2



**Figure 3.18 :** Distribution des concentrations de l'aluminium, du fer et du cuivre en g/kg (p.s) dans les gonades de l'oursin commun de la zone 2



**Figure 3.19 :** Distribution des concentrations de zinc et de manganèse en g/kg (p.s) dans les gonades de l'oursin commun de la zone 2

#### 3.1.1.4. Traitement statistique des données (Analyse en Composantes Principales – ACP)

L'analyse en composantes principales est la plus simple et la plus connue des techniques d'analyse de données multivariées. Elle a pour objectif de décrire ce même ensemble de données par des nouvelles variables en nombre réduit. Ces nouvelles variables seront des combinaisons linéaires des variables originales et porteront le nom de composantes principales (CP). En général, la réduction du nombre de variables utilisées pour décrire un ensemble de données provoque une perte d'information. L'ACP procède de façon à ce que cette perte soit la plus faible possible (minimale).

Dans notre étude nous disposons des données de 9 stations, 6 métaux et 3 matrices. Nous nous intéressons ici aux :

- 6 variables désignant les concentrations de métaux : Hg, Al, Fe, Cu, Zn et Mn pour chaque compartiment (Sédiment, Rhizomes et Gonades) prise individuellement ;
- 3 variables désignant les compartiments : Sédiment, Rhizomes et Gonades pour chaque métal pris individuellement ;
- Les 9 stations désignent les individus.

L'application de l'ACP nous permet de voir les variables qui sont liées positivement entre elles et celles qui s'opposent (liées négativement) ; dans notre cas c'est voir les relations entre les métaux et les compartiments étudiées d'une part et connaître d'autre part le degré de mémorisation des matrices pour chaque métal : quel bioindicateur pour chaque métal ? Mais aussi de voir les stations qui se ressemblent et ceux qui sont différentes pour pouvoir les classer selon le degré de pollution métallique. De plus, cette technique permet d'affiner les discussions déjà entamées.

Les données regroupées en annexe 13 sont traitées par le logiciel XLSTAT (v. 2010.4.03), le choix de ce logiciel est justifié par son mode d'utilisation simplifié. Le module ACP du logiciel XLSTAT nous a permis de visualiser les résultats suivants :

- Une statistique descriptive des variables étudiées (moyenne, écart-type, minimum, maximum)
- Le tableau des valeurs propres associées à la matrice de corrélation ainsi que le pourcentage d'explication de chaque valeur propre.
- Un plan de projection des variables (métaux ou matrices).
- Un plan de projection des individus (stations).

Ce qui a conduit à décrire les relations suivantes :

##### A- Relation entre les métaux dans chaque compartiment

On remarque grâce aux matrices de corrélation ci-après, qu'il y a une forte corrélation linéaire positive entre quasiment tous les métaux dans le compartiment sédiment ce qui signifie que leurs concentrations varient dans le même sens surtout pour les couples : Hg/Al, Hg/Fe, Hg/Zn, Hg/Mn, Al/Zn, Al/Mn, Cu/Mg et Zn/Mn.

Elles indiquent aussi qu'il n'y a pas une forte corrélation entre les concentrations des métaux dans les rhizomes mais dans les gonades on peut noter que le couple Hg/Mn présente une corrélation positive quand les couples Hg/Cu et Fe/Zn sont liés négativement.

**Tableau 3.4** : Matrices de corrélation entre les métaux dans chaque compartiment

<i>Sédiment</i>	Hg	Al	Fe	Cu	Zn	Mn
Hg	<b>1</b>	<b>0,872</b>	<b>0,727</b>	0,357	<b>0,885</b>	<b>0,850</b>
Al	<b>0,872</b>	<b>1</b>	<b>0,560</b>	<b>0,647</b>	<b>0,921</b>	<b>0,918</b>
Fe	<b>0,727</b>	<b>0,560</b>	<b>1</b>	0,045	<b>0,517</b>	0,481
Cu	0,357	<b>0,647</b>	0,045	<b>1</b>	<b>0,605</b>	<b>0,713</b>
Zn	<b>0,885</b>	<b>0,921</b>	<b>0,517</b>	<b>0,605</b>	<b>1</b>	<b>0,972</b>
Mg	<b>0,850</b>	<b>0,918</b>	0,481	<b>0,713</b>	<b>0,972</b>	<b>1</b>

<i>Rhizomes</i>	Hg	Al	Fe	Cu	Zn	Mn
Hg	<b>1</b>	0,293	0,119	0,071	0,210	-0,169
Al	0,293	<b>1</b>	<b>0,503</b>	0,413	0,005	0,462
Fe	0,119	<b>0,503</b>	<b>1</b>	0,344	-0,244	0,477
Cu	0,071	0,413	0,344	<b>1</b>	0,264	-0,297
Zn	0,210	0,005	-0,244	0,264	<b>1</b>	-0,278
Mg	-0,169	0,462	0,477	-0,297	-0,278	<b>1</b>

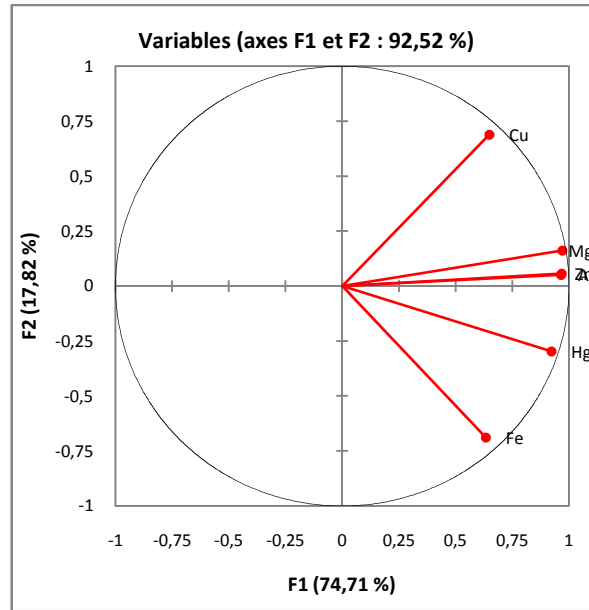
  

<i>Gonades</i>	Hg	Al	Fe	Cu	Zn	Mn
Hg	<b>1</b>	-0,098	0,018	<b>-0,608</b>	-0,171	<b>0,669</b>
Al	-0,098	<b>1</b>	-0,397	-0,025	-0,236	0,137
Fe	0,018	-0,397	<b>1</b>	-0,093	<b>-0,643</b>	0,072
Cu	-0,608	-0,025	-0,093	<b>1</b>	0,318	-0,264
Zn	-0,171	-0,236	<b>-0,643</b>	0,318	<b>1</b>	-0,348
Mg	<b>0,669</b>	0,137	0,072	-0,264	-0,348	<b>1</b>

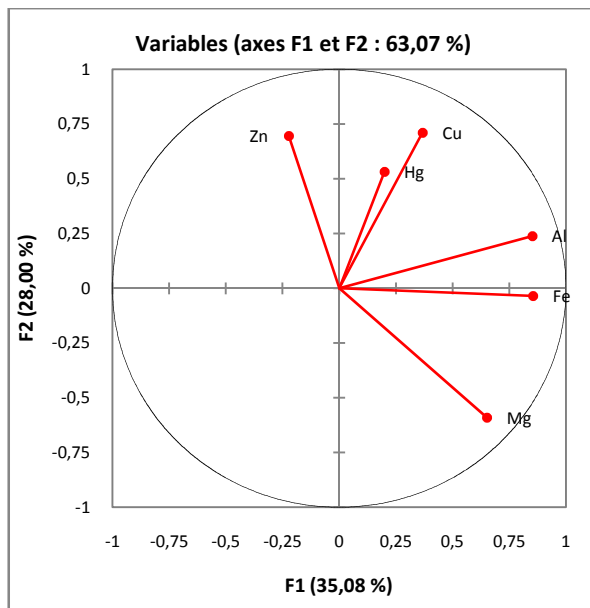
Si à chaque concentration d'un métal donné, on associe un point dont la coordonnée sur un axe factoriel est une mesure de la corrélation entre cette concentration et le facteur (axe 1 ou axe 2), leur projection sur un plan factoriel s'inscrira dans un cercle de rayon 1 – cercle de corrélation –

Les cercles de corrélation suivants permettent de voir parmi les anciennes variables celles qui contribuent le plus à la construction du premier plan factoriel, en lui donnant ainsi une signification. On voit pour le sédiment que les variables (Hg, Al, Fe, Cu, Zn, Mn) sont très proches du bord du cercle. Ce qui signifie que ces variables sont bien représentées dans le plan factoriel. C'est-à-dire qu'elles sont effectivement bien corrélées entre-elles pour le sédiment et notamment pour le triplet Al/Zn/Mn, de sorte qu'il est possible de mesurer la concentration de l'un des trois métaux pour déduire les deux autres. Ceci-ci n'est malheureusement pas significatif pour les rhizomes car on voit bien que les variables sont loin du bord du cercle.

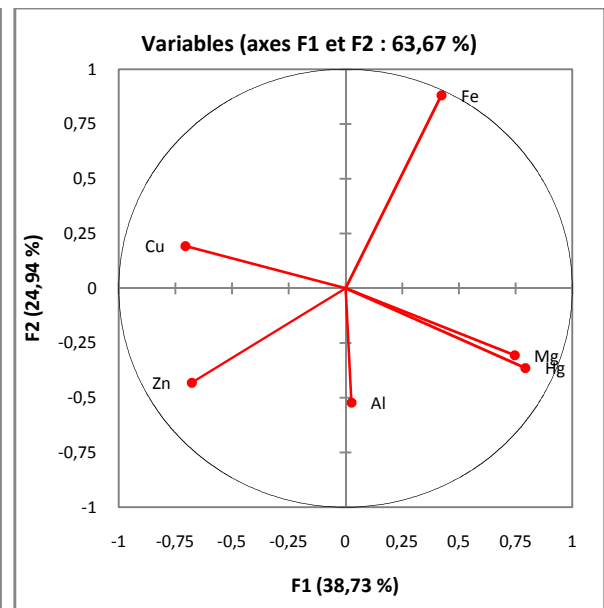
La possibilité de réduire la mesure dans le cas des gonades est envisageable pour les couples Hg/Cu, Hg/Mn et Fe/Zn mais pas du tout pour les autres couples de métaux car ils présentent des coefficients très peu significatifs.



*Sédiment*



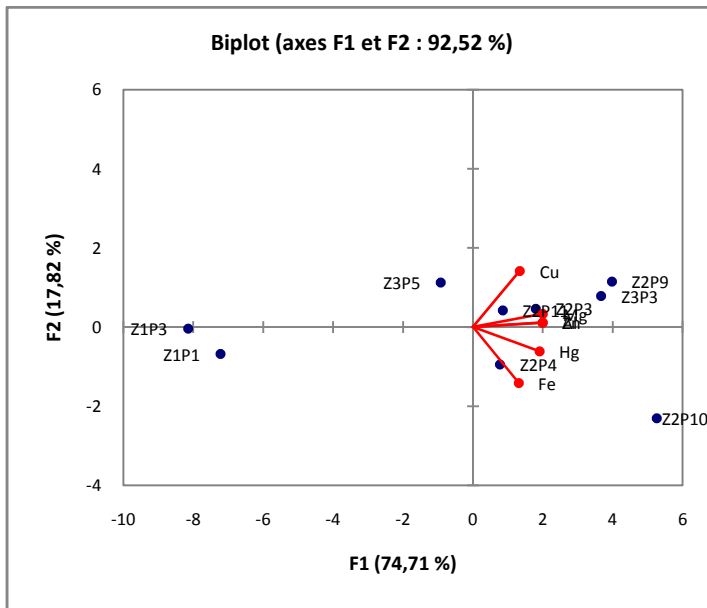
*Rhizomes*



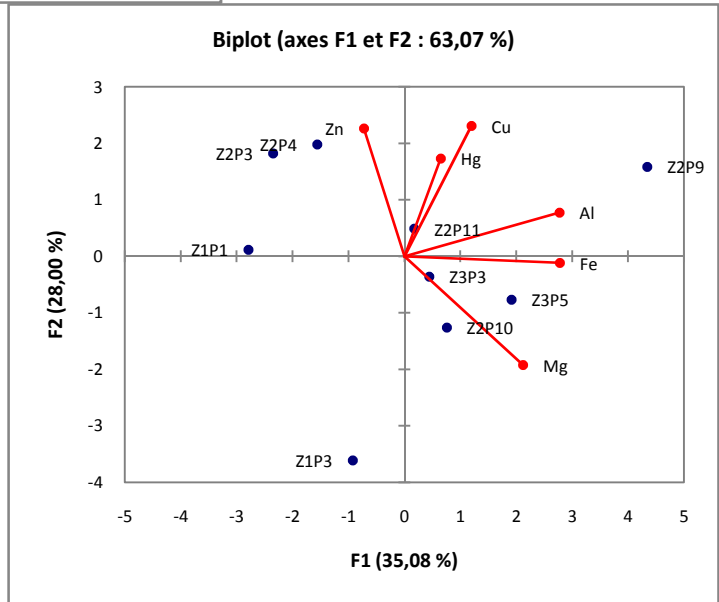
*Gonades*

**Figure 3.20 :** Cercles de corrélation entre les concentrations métalliques dans les trois compartiments étudiés

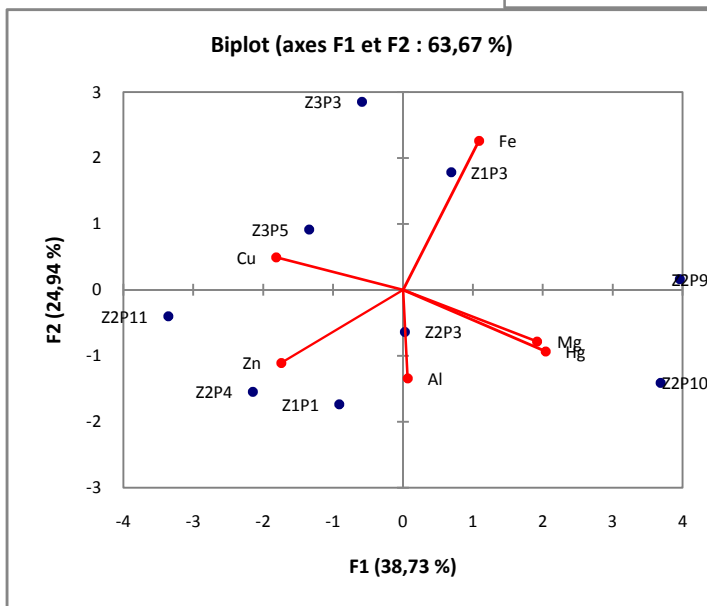
Grace à la représentation simultanée des stations (individus) et des concentrations métalliques (variables) représentées par les figures ci-après, nous pouvons facilement remarquer à quel point la zone 1 constitue une zone de référence surtout pour le sédiment et les rhizomes de posidonie mais que la zone 3 présente une pollution confondue avec celle de la zone 2. En effet, Plus la distance entre les individus (stations) en points bleus et les points rouges représentant les variables (concentration de chaque métal) est grande, plus la station considérée présente une forte concentration en un métal donné et plus elle est minime plus les concentrations sont voisines.



<<< Sédiment



Rhizomes >>>



<<< Gonades

**Figure 3.21 :** Représentations des 6 métaux et 9 stations dans chaque compartiment étudié

## B- Relation entre les compartiments pour chaque métal

L'examen des matrices de corrélation suivantes pour les compartiments, sédiment, rhizomes et gonades en ce qui concerne chaque métal, pris individuellement, indique que pour le fer, le zinc et le manganèse il y a une faible relation entre les compartiments étudiés reflétant ainsi le faible transfert de ces métaux dans ces derniers ; ce qui laisse croire que leurs accumulation dans les rhizomes et les gonades n'est pas dépendante uniquement du sédiment mais fort probablement de l'eau de mer aussi et que ces éléments peuvent s'accumuler non pas dans les rhizomes mais dans les feuilles de posidonie à considérer dans ce cas. Nous pouvons cependant noter que pour le mercure, l'aluminium et le cuivre, le transfert posidonie/oursin semble bien s'opérer puisque une corrélation positive importante est trouvée. Le mercure est le seul métal qui peut représenter plus ou moins bien le transfert entre les trois compartiments étudiés à la fois, comme le confirme le cercle de corrélation pour ce métal où la distance entre les variables (compartiments) qui sont près du bord est équitable (voir annexe 13).

**Tableau 3.5 :** Matrices de corrélation entre les compartiments pour chaque métal

<i><b>Mercur</b></i>	Gonades	Rhizomes	Sédiment
Gonades	<b>1</b>	<b>0,647</b>	<b>0,602</b>
Rhizomes	<b>0,647</b>	<b>1</b>	0,405
Sédiment	<b>0,602</b>	0,405	<b>1</b>
<i><b>Aluminium</b></i>	Gonades	Rhizomes	Sédiment
Gonades	<b>1</b>	<b>0,885</b>	-0,440
Rhizomes	0,885	<b>1</b>	-0,588
Sédiment	-0,440	-0,588	<b>1</b>
<i><b>Fer</b></i>	Gonades	Rhizomes	Sédiment
Gonades	<b>1</b>	-0,027	-0,265
Rhizomes	-0,027	<b>1</b>	0,409
Sédiment	-0,265	0,409	<b>1</b>
<i><b>Cuivre</b></i>	Gonades	Rhizomes	Sédiment
Gonades	<b>1</b>	<b>0,815</b>	0,087
Rhizomes	<b>0,815</b>	<b>1</b>	0,342
Sédiment	0,087	0,342	<b>1</b>
<i><b>Zinc</b></i>	Gonades	Rhizomes	Sédiment
Gonades	<b>1</b>	0,227	0,285
Rhizomes	0,227	<b>1</b>	0,394
Sédiment	0,285	0,394	<b>1</b>
<i><b>Manganèse</b></i>	Gonades	Rhizomes	Sédiment
Gonades	<b>1</b>	-0,019	0,070
Rhizomes	-0,019	<b>1</b>	0,431
Sédiment	0,070	0,431	<b>1</b>

Pour les autres métaux, il serait, par conséquent, judicieux d'étudier d'autres tissus de la posidonie notamment les feuilles adultes ou les écailles au lieu des rhizomes.

Les cercles de corrélation entre les compartiments pour chaque métal étudié et leur représentation aux 9 stations sont donnés en annexes 13, 14 et 15.

### 3.1.2. Sels nutritifs

L'ensemble des résultats d'analyse des sels nutritifs sont données en annexe 16 et discutés ci-après.

#### 3.1.2.1. L'azote

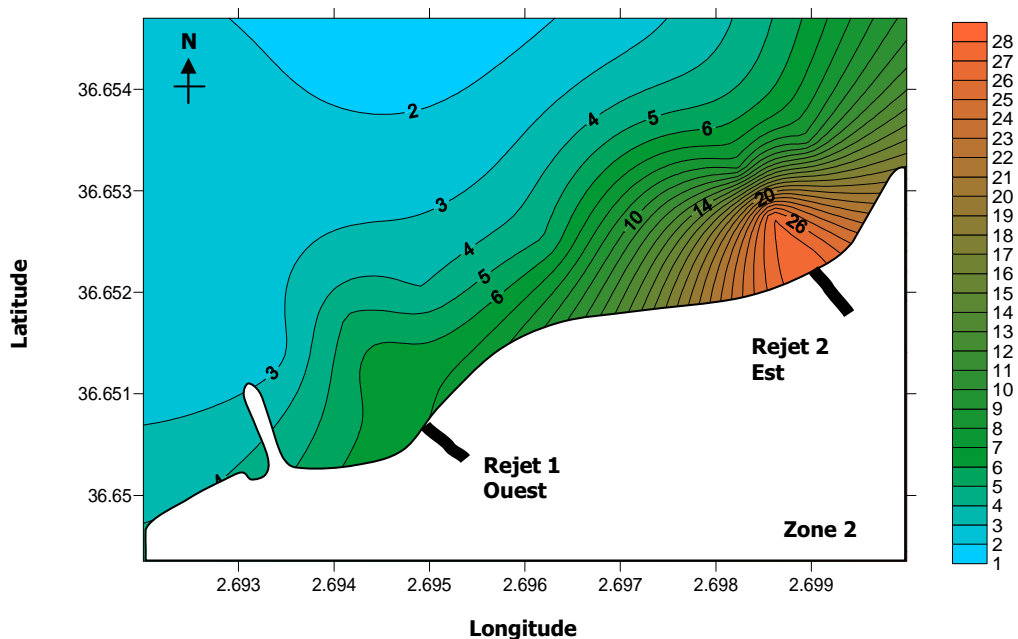
L'azote se trouve dans l'eau de mer sous différents états d'oxydation, notamment +V pour l'ion nitrate  $NO_3^-$ , +III pour l'ion nitrite  $NO_2^-$ , 0 pour l'azote moléculaire  $N_2$  et -3 pour l'ion ammonium  $NH_4^+$ . C'est aussi dans l'état réduit -3 que l'azote se trouve dans la plupart des composés organique (protéines, acides nucléiques).

Si l'azote moléculaire  $N_2$  est de loin la forme la plus abondante dans l'eau de mer, les formes d'azote normalement utilisables par le phytoplancton sont les ions nitrate, nitrite et ammonium. C'est pour cela qu'un enrichissement du milieu par ces trois espèces chimiques stimulera le développement des épiphytes sur les feuilles de posidonie.

#### A- Ammonium :

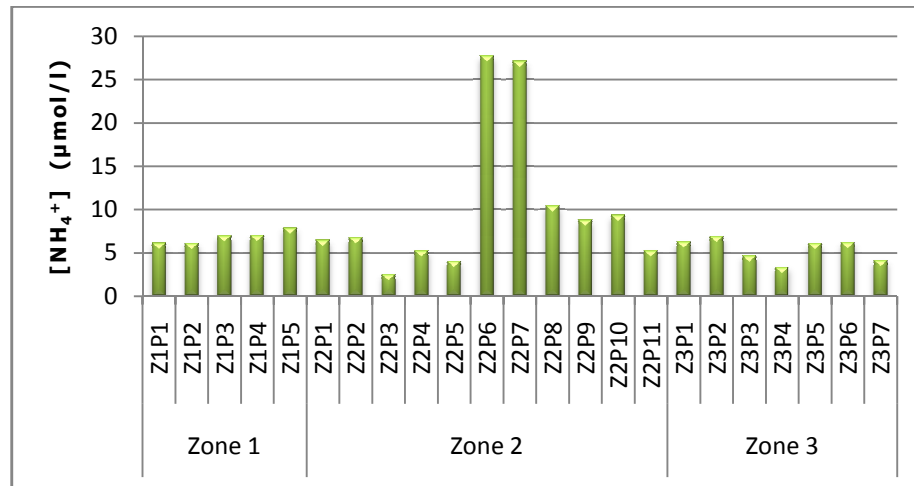
Lorsqu'elles ont le choix, les algues absorbent l'ammonium de préférence au nitrate et au nitrite, car cet azote réduit, nécessite moins d'énergie de synthèse. Ceci constitue une première bonne raison à la rareté de l'ion ammonium en milieu marin. Or les analyses indiquent d'après la figure suivante que le rejet EST de la zone 2 apporte au milieu d'importantes quantités de matières organiques azotés puisque leur décomposition aboutit à la formation de l'ammonium.

Cette *ammonification* importante déclenche vers le large l'oxydation de l'ammonium (nitrification) en nitrite puis en nitrate qui épuise le milieu en oxygène. Les bactéries nitrifiantes en sont les médiateurs c'est pour cela que l'on devra s'attendre à trouver de fortes teneurs en bactéries dans ce rejet.



**Figure 3.22 :** Distribution des concentrations d'ammonium  $[NH_4^+]$  en  $\mu\text{mol/l}$  dans la zone 2

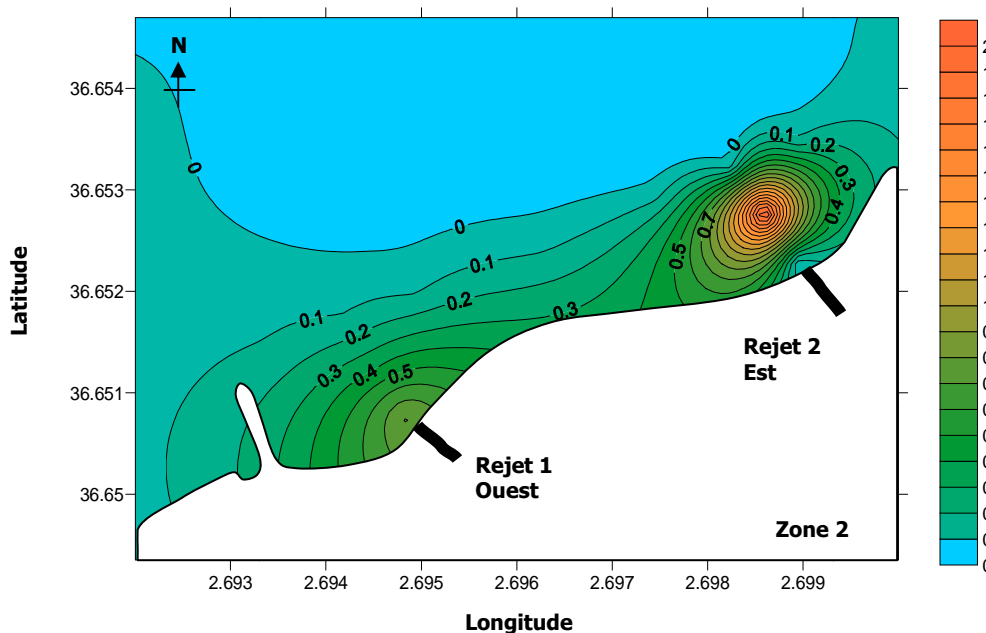
Les concentrations en ammonium sont très variables en fonction du lieu et de la saison. Mais d'après Aminot et Chaussépied (1983) on devrait avoir des taux de l'ordre de plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de  $\mu\text{mol/l}$  au niveau d'une zone polluée ; ce qui est tout à fait le cas dans les stations Z2P6, Z2P7 et Z2P8 avec respectivement les maxima 27,70 et 27,07 et 10,38  $\mu\text{mol/l}$  ; quant aux zones prises comme référence, ses concentrations sont dans les alentours de 4 et 5  $\mu\text{mol/l}$ .



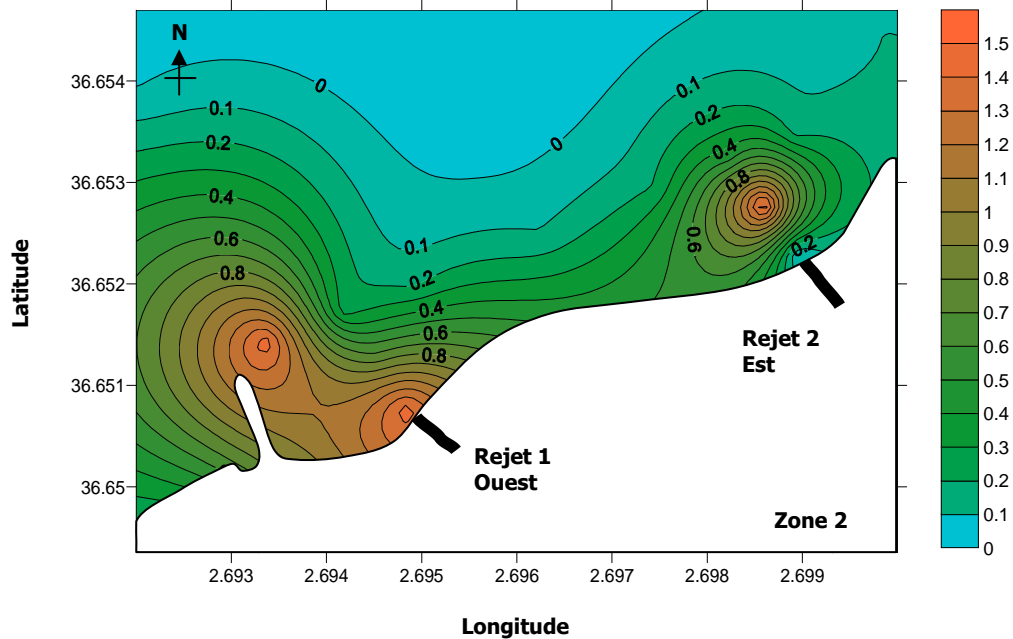
**Figure 3.23 :** Histogramme des concentrations en ammonium dans les trois zones d'étude

**B- Nitrites et nitrates :**

D'une part, les figures montrent que la nitrification est accélérée au niveau du rejet 1 ; ce qui signifie que l'ammonium et les nitrites sont très rapidement oxydés par les bactéries qu'on devrait trouver en abondance. En effet, le milieu est pollué et donc pauvre en oxygène à cause de sa consommation par les bactéries ; il en découle, que les nitrates sont réduits en nitrites, ce qui fait augmenter la concentration de ces derniers.

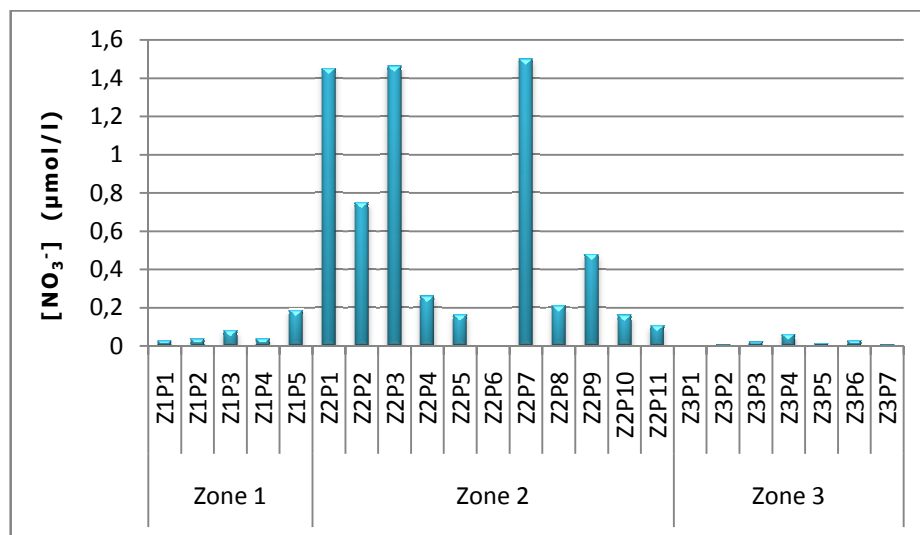


**Figure 3.24 :** Distribution des concentrations de nitrites  $[\text{NO}_2^-]$  en  $\mu\text{mol/l}$  dans la zone 2



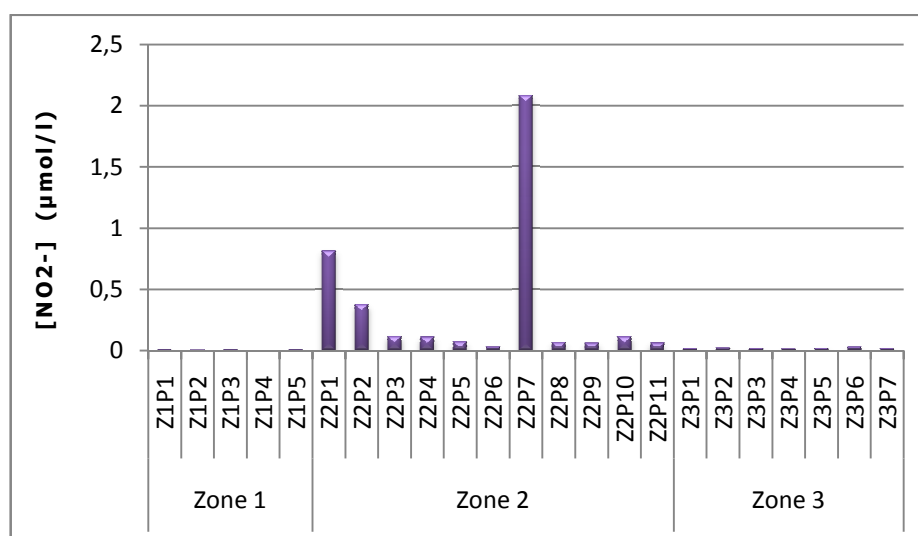
**Figure 3.25 :** Distribution des concentrations de nitrates  $[NO_3^-]$  en  $\mu\text{mol/l}$  dans la zone 2

D'autre par les fortes concentrations en nitrates aux stations Z2P1, Z2P2 jusqu'à plus loin vers la station Z2P3 (voir figure ci-dessus) laissent visiblement comprendre que c'est le reflet d'un apport massif et continu de nitrates.



**Figure 3.26 :** Histogramme des concentrations en nitrates dans les trois zones d'étude

Au niveau des zones de référence, les nitrites sont à des taux normaux d'après Aminot et Chaussépiéd (1983). En effet, comme ce sont des formes labiles, ils sont généralement présents en quantités à peine mesurables ( $< 0,1 \mu\text{mol/l}$ ) comme le montre la figure suivante.



**Figure 3.27 :** Histogramme des concentrations en nitrites dans les trois zones d'étude

### 3.1.2.2. Le phosphore

Comme dans le cas de l'azote (N), le phosphore (P) est important pour la vie puisqu'il est essentiel à la fabrication des acides nucléiques ARN et ADN. Les phosphates, ou  $\text{PO}_4^-$ , sont des composés de Phosphore (P), un des 11 premiers éléments présents sous forme de trace dans l'eau de mer. Le phosphore est un élément limitant dans les écosystèmes marins.

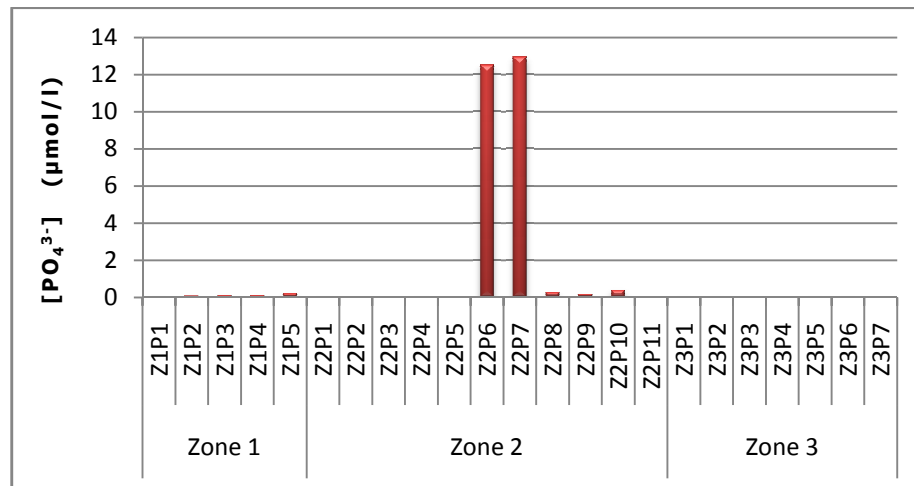
Dans l'eau de mer, on le retrouve sous plusieurs formes dépendantes du pH. À un pH de 8,1, il y a 0,5% de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ; 79% de  $\text{HPO}_4^{2-}$  et 20% de  $\text{PO}_4^{3-}$ . Si le pH remonte, les taux changent vers plus de  $\text{PO}_4^{3-}$  et moins de  $\text{HPO}_4^{2-}$ .

L'ion orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) joue un rôle prépondérant au sein du milieu marin car c'est lui que les végétaux utilisent pour leur croissance d'où son importance pour la photosynthèse. Cependant, L'addition de phosphore dans ces systèmes peut agir comme fertilisant et générer des problèmes d'eutrophisation (forte productivité biologique résultant d'un excès de nutriments).

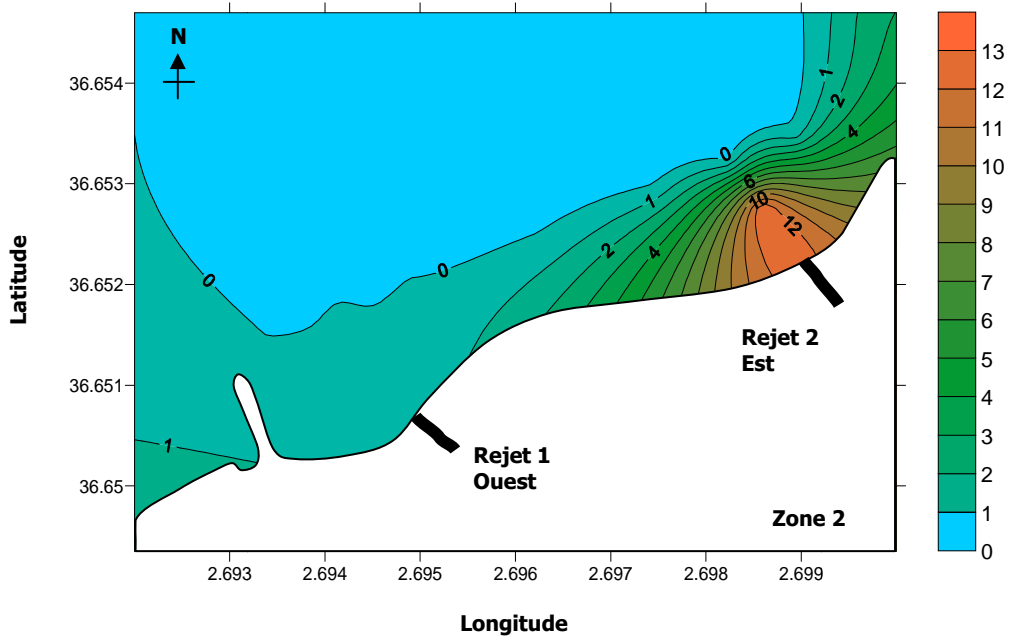
Les résultats d'analyse des orthophosphates indiquent que leurs teneurs sont normales pour la majorité des stations notamment dans les zones de références si on en tient à la concentration orthophosphates d'une eau côtière non polluée qui se situe entre 0 et 1  $\mu\text{mol/l}$  (Aminot et Chaussepied, 1983) tout comme pour la station Z1P1 qui est de 0,05  $\mu\text{mol/l}$  ; mais aussi que la zone 3 est la plus pauvre en orthophosphates avec un minimum de 0,0015  $\mu\text{mol/l}$  à la station Z3P7 (voir figure 3.28).

Cependant ils mettent clairement en évidence l'apport excessif (120 fois plus important que la normale) du rejet 2 dans la zone 2 avec un maximum de 12,5 et 12,93  $\mu\text{mol/l}$  respectivement aux stations Z2P6 et Z2P7 dont l'effet reste jusqu'au large aux stations Z2P8, Z2P9 et Z2P10 comme le schématise la figure 3.29.

Ceci confirme que le rejet 2 peut vraisemblablement provoquer, par ses déversements quotidiens riches en azote et phosphore, des eutrophisations très nocives pour l'herbier à posidonie souvent signalées dans la zone au printemps.



**Figure 3.28 :** Histogramme des concentrations en orthophosphates dans les trois zones d'étude

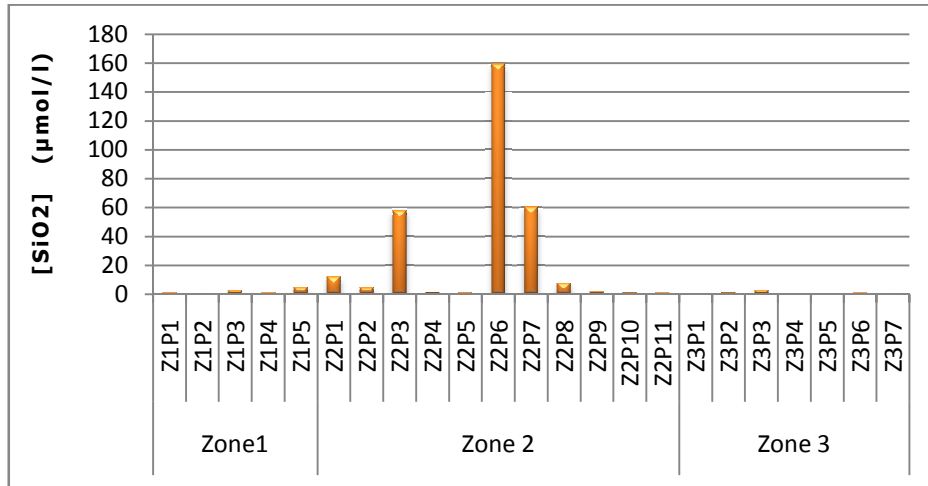


**Figure 3.29 :** Distribution des concentrations d'orthophosphates [PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>] en µmol/l dans la zone 2

### 3.1.2.3. Le silicium

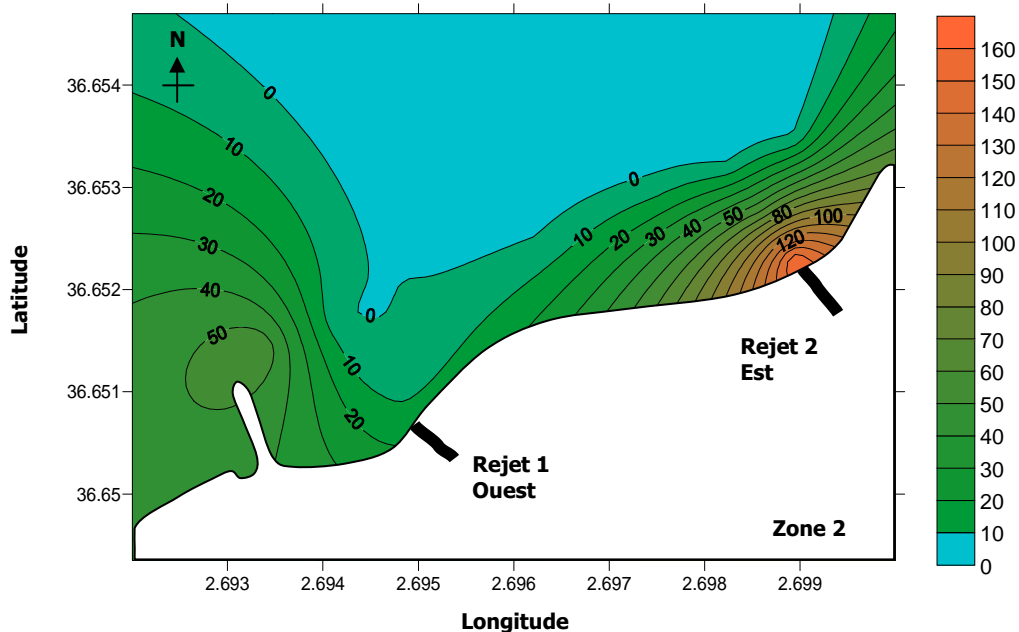
Le silicium est un élément chimique de la famille des cristallogènes, Il n'existe pas à l'état libre, mais sous forme de composés : sous forme de dioxyde de silicium (SiO<sub>2</sub>), la silice (dans le sable, le quartz, la cristobalite, etc.), ou d'autres silicates (dans les feldspaths, la kaolinite...) qui constituent 97 % de la croûte terrestre. Le silicium est constitutif du sable de silice, résultat de la dégradation de roches comme le granit. C'est pourquoi ça recherche dans l'eau de mer permet de renseigner entre-autre sur les apports et dynamiques sédimentaires. Mais aussi la présence et/ou la possibilité de développement des diatomées, présentes dans le plancton, qui participent au cycle géochimique du silicium dans les mers, car elles extraient la silice pour former leurs membranes externes.

Les résultats d'analyse du silicium dissout  $\text{SiO}_2$  montrent qu'aux sources de pollution, dans le front de mer de Bou-Ismaïl, les concentrations atteignent des pics très importants jusqu'à  $159,14 \mu\text{mol/l}$  pour Z2P6 (voir figure 3.30) et donc que de grandes quantités de particules sédimentaires sont charriées par les effluents ; ce qui laisse confirmer l'activité des unités de production de céramiques et de poteries recensées dans la région : TERRA Céramique, Sarl SAFCF Poterie et Céramique Hippocampe (voir tableau 2.1).



**Figure 3.30 :** Histogramme des concentrations en silicium dissout dans les trois zones d'étude

La figure ci-après indique quant-à elle que ces apports sédimentaires ont un double effet négatif sur l'herbier à *Posidonia oceanica* surtout dans le secteur EST de la zone 2 ; un effet direct par son ensevelissement et son envasement et un effet indirecte par la remise en suspension des particules fines et l'accroissement de la turbidité ; Effets observés lors de nos multiples plongées.



**Figure 3.31 :** Distribution des concentrations du silicium dissout  $[\text{SiO}_2]$  en  $\mu\text{mol/l}$  dans la zone 2

### 3.1.3. Paramètres bactériologiques

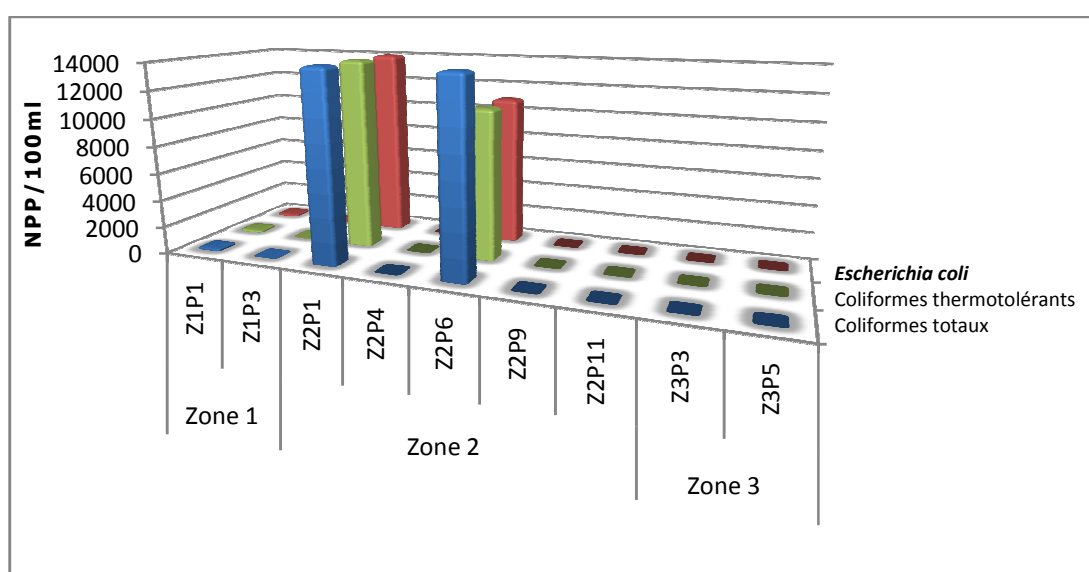
#### 3.1.3.1. Les coliformes

Nous pouvons déduire à travers le tableau ci-dessous, que les populations des coliformes totaux sont représentées exclusivement par les coliformes thermotolérants. De même ; les coliformes thermotolérants sont uniquement représentés par *Escherichia coli*, sauf pour la station (Z2P6) avec une petite diminution. La figure 3.32 indique bien l'importante teneur en coliformes thermotolérants et *Escherichia coli* des sources de rejets aux stations Z2P1 et Z2P6 dans la zone anthropisée de Bou-Ismaïl.

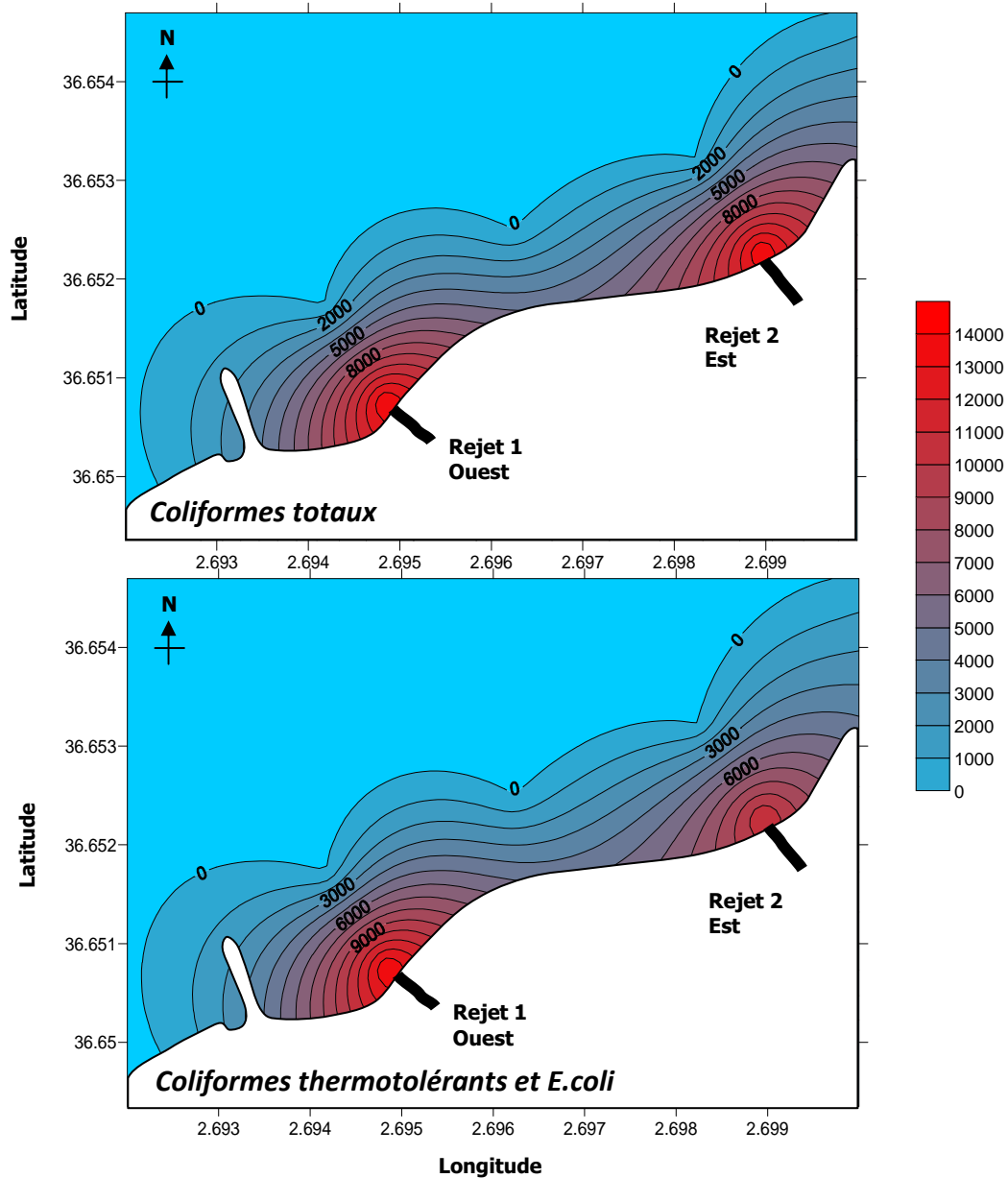
Pour ces stations, les charges bactériennes, surtout E. coli, sont nettement supérieures aux normes (voir annexe 17) à savoir 500 CT/100ml pour la norme guide et de 10000 CT/100ml pour la norme impérative (CCE, 1975 in RODIER *et al.*, 1996) indiquant bien la fréquence quotidienne des rejets. En ce qui concerne les streptocoques fécaux les charges bactériennes sont également élevées par rapport à ces normes. Ceci confirme donc les résultats obtenus pour les sels nutritifs.

**Tableau 3.6 :** Résultats d'analyses des coliformes dans les trois zones d'étude

Zones	Stations	Coliformes totaux		Coliformes thermotolérants		<i>Escherichia coli</i>	
		Nombre Caract.	Nombre par 100ml	Nombre Caract.	Nombre par 100ml	Nombre Caract.	Nombre par 100ml
1	Z1P1	322	200	322	200	322	200
	Z1P3	001	30	001	30	001	30
2	Z2P1	333	14 000	333	14 000	333	14 000
	Z2P4	302	6,5	201	1,4	201	1,4
	Z2P6	333	14 000	332	11 000	332	11 000
	Z2P9	220	2	210	1,5	210	1,5
	Z2P11	312	11,5	312	11,5	312	11,5
3	Z3P3	200	0,9	100	0,4	100	0,4
	Z3P5	310	4,5	310	4,5	310	4,5



**Figure 3.32 :** Concentrations des coliformes dans les trois zones d'étude



**Figure 3.33 :** Distribution des concentrations en coliformes dans la zone 2

Quant-àux autres stations de la même zone, Z2P4, Z2P9 (situées à une centaine de mètres loin des sources de rejet) et Z2P11 (située entre les deux rejets et à 95m du rivage) et selon le décret exécutif n°93-164 du 10 Juillet 1993 définissant la qualité requise des eaux de baignade (annexe 17), elles indiquent que l’eau retrouve une bonne qualité car leurs charges bactériennes sont inférieures aux normes.

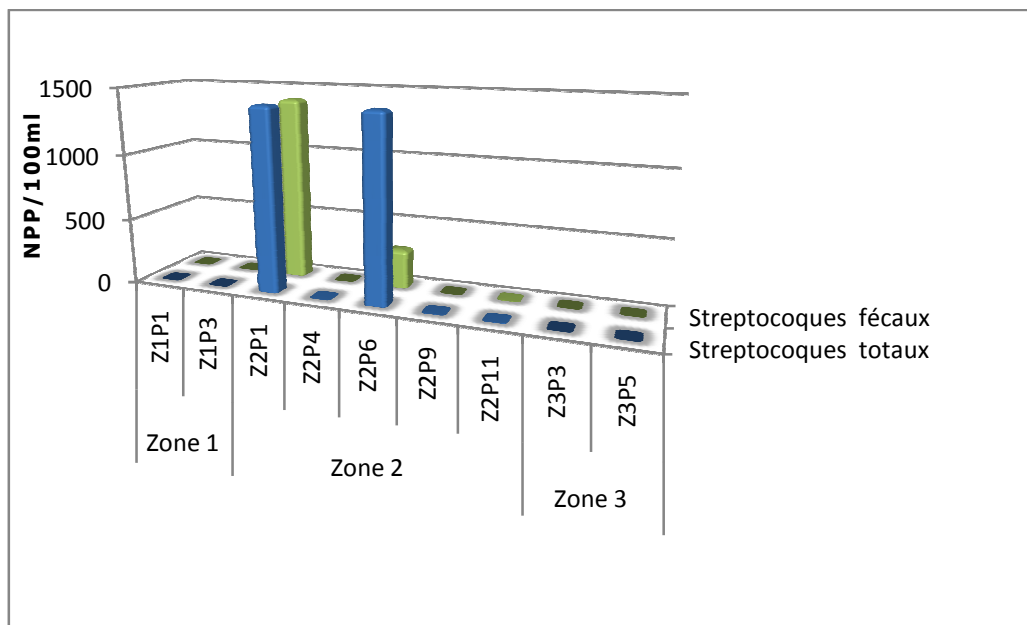
*E. coli* est le plus important des paramètres microbiologiques pris en compte dans le contrôle de la qualité des eaux de baignades et sa présence suffit à confirmer qu’il y a effectivement pollution (Joly et Reynaud, 2003) seulement ses très faibles concentrations dans la zone 3 renseignent sur la qualité très satisfaisante de l’eau. Nous avons noté un rejet d’eau usées domestiques dans la zone 1 qui semble avoir élevé la concentration d’*E.coli* dans la station ZIP1 mais sans trop nuire à la qualité de l’eau qui reste acceptable puisque la concentration d’*E.coli* reste faible.

**3.1.3.2. Les streptocoques :**

Les résultats représentés dans le tableau ci-après montrent que les teneurs en streptocoques fécaux sont les plus faibles de tous les germes indicateurs de contamination fécale recherchés. Nous constatons néanmoins qu'ils restent très élevés aux sources de rejets à Bou-Ismaïl. D'une façon générale, les concentrations en streptocoques fécaux sont, dans les milieux naturels autres que ceux spécifiquement pollués par le bétail, inférieures à celles des coliformes thermotolérants (Rodier *et al.*, 1996).

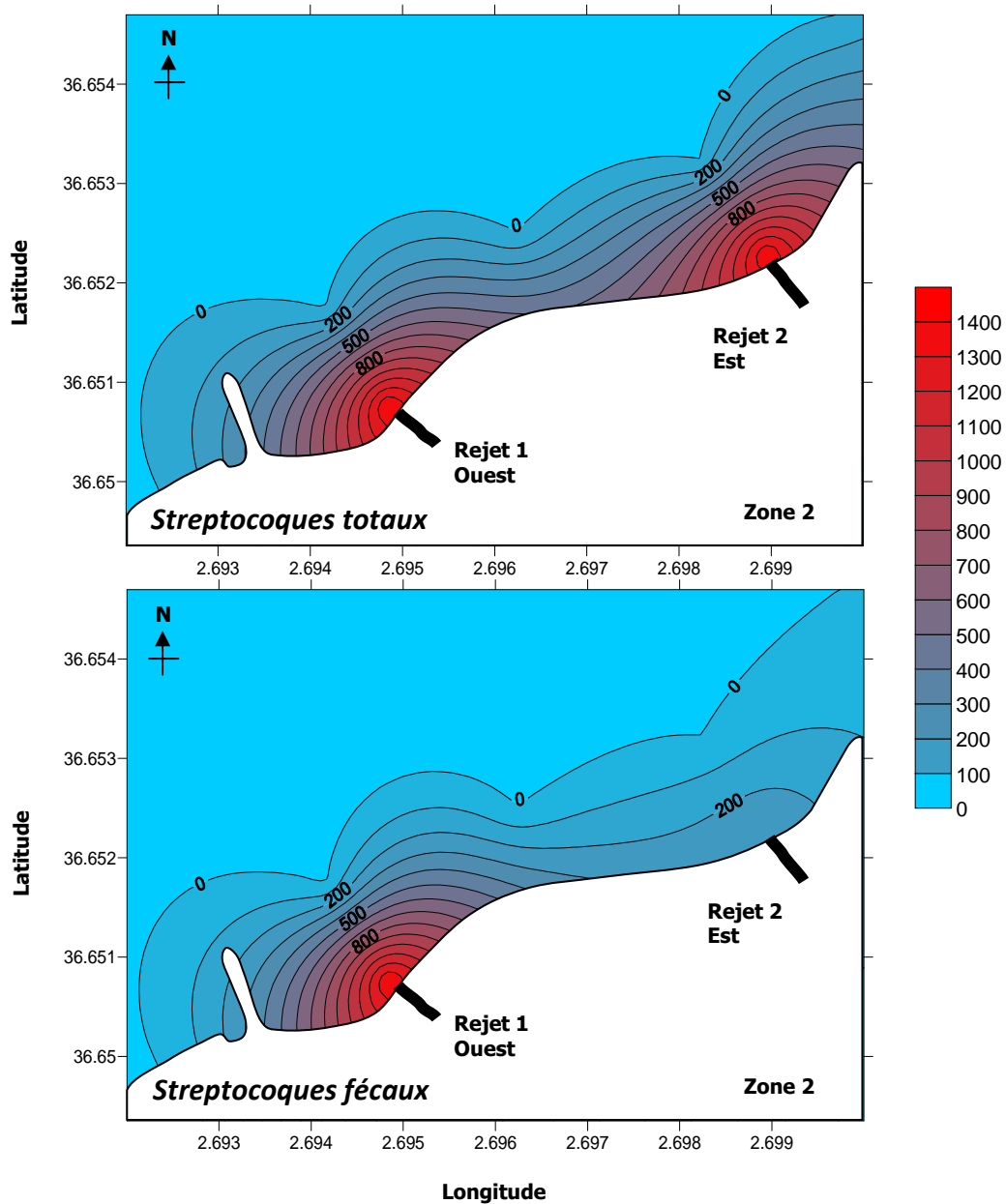
**Tableau 3.7 :** Résultats d'analyses des streptocoques dans les trois zones d'étude

Zones	Stations	Streptocoques totaux		Streptocoques fécaux	
		Nombre Caract.	Nombre par 100ml	Nombre Caract.	Nombre par 100ml
1	Z1P1	001	0,3	001	0,3
	Z1P3	000	0	000	0
2	Z2P1	333	1400	333	1400
	Z2P4	300	2,5	100	0,4
	Z2P6	333	1400	323	300
	Z2P9	310	4,5	100	0,4
	Z2P11	301	4	301	4
3	Z3P3	100	0,4	100	0,4
	Z3P5	100	0,4	100	0,4



**Figure 3.34 :** Concentrations des streptocoques dans les trois zones d'étude

Nous remarquons que les coliformes thermotolérants se concentrent plus au niveau du rejet ouest mais ceci n'est pas significatif si ce n'est que cela confirme l'origine exclusivement humaine de ce dernier puisque le rapport, coliformes thermotolérants/streptocoques fécaux (voir ci-après) reste supérieur à 4 pour les deux rejets.



**Figure 3.35 :** Distribution des concentrations en coliformes dans la zone 2

Hormis les deux points de rejets dans la zone 2, toutes les autres stations présentent une très bonne qualité des eaux par rapport aux streptocoques fécaux dont la teneur s’annule même dans la station Z1P3 située au fond de l’anse du CET (zone 1 de référence).

### 3.1.3.3. Origine de la pollution bactériologique et qualité de l’eau

Le rapport CTH/SF (voir chap.2 p39) indique que l’origine de la pollution aussi faible qu’elle soit est attachée à l’activité de l’homme pour les trois zones. Mais aussi que les rejets de Bou-Ismaïl sont des rejets mixtes (pas de séparation) englobant avec les eaux industrielles, les eaux usées urbaines (domestiques) ; déversées très récemment car tous les coliformes thermotolérants sont des *Escherichia coli*.

**Tableau 3.8 :** Origine de la pollution bactériologique dans les trois zones d'étude

Zones	Stations	Rapport CTH/SF	Valeur Guide	Origine de la pollution
1	Z1P1	666,67	$R > 4$	Exclusivement humaine
	Z1P3	-	$R > 4$	Exclusivement humaine
2	Z2P1	10,00	$R > 4$	<b>Exclusivement humaine</b>
	Z2P4	3,50	$2 < R < 4$	Mixte à prédominance humaine
	Z2P6	36,67	$R > 4$	<b>Exclusivement humaine</b>
	Z2P9	3,75	$2 < R < 4$	Mixte à prédominance humaine
	Z2P11	2,88	$2 < R < 4$	Mixte à prédominance humaine
3	Z3P3	1,00	$1 < R < 2$	Incertaine
	Z3P5	11,25	$R > 4$	Exclusivement humaine

Quant à la qualité de l'eau, elle est donnée par le tableau suivant pour chaque station.

**Tableau 3.9 :** Qualité bactériologique dans les trois zones d'étude

Zones	Stations	Qualité bactériologique de l'eau de mer			
		Coliformes totaux	Coliformes thermotolérants	<i>Escherichia coli</i>	Streptocoques fécaux
1	Z1P1	Satisfaisante dans 80% des cas	Encore acceptable dans 95% des cas	Moyenne	Très bonne
	Z1P3		Satisfaisante dans 80% des cas	Très bonne	
2	Z2P1	Seuil de sécurité Alerte	Seuil de sécurité Alerte	Dangereuse	Dangereuse
	Z2P4	Satisfaisante dans 80% des cas	Satisfaisante dans 80% des cas	Très bonne	Très bonne
	Z2P6	Seuil de sécurité Alerte	Seuil de sécurité Alerte	Dangereuse	Dangereuse
	Z2P9	Satisfaisante dans 80% des cas	Satisfaisante dans 80% des cas.	Très bonne	Très bonne
	Z2P11				
3	Z3P3	Satisfaisante dans 80% des cas	Satisfaisante dans 80% des cas.	Très bonne	Très bonne
	Z3P5				

## 3.2. Discussion générale :

### 3.2.1. Densité, vitalité et état général de l'herbier :

Beaucoup de “mattes mortes” ont été observées aux émissaires d’eaux usées du front de mer de la ville de Bou-Ismaïl et son rivage. Même si l’hydrodynamisme joue un rôle important dans l’arrachement des feuilles et rhizomes de *Posidonia oceanica* surtout dans cette baie ouverte aux courants dominants, nous pouvons affirmer que ce phénomène est dû en grande partie aux rejets importants et quotidiens des égouts qui se déversent dans la zone 2 de notre étude car c’est un cas typique (Boudouresque *et al.*, 2006) de l’impact direct de la pollution urbaine sur l’herbier à posidonie. Des rhizomes entiers se retrouvent entassés sur le semblant de plage qui reste, si ce n’est les rochers disposés à l’accession des innombrables aménagements que connaît ce front de mer convoité par les spéculateurs qui accentuent les nuisances par leurs déchets ménagers et urbains.

Par ailleurs, la turbidité apparente dans la zone 2, confirmée entre-autre par le dosage du silicium, est à son maximum à cause de la charge importante en MES des eaux usées qui est certainement la raison du recul de l’herbier jusqu’à plus de 5m de profondeur ou du moins la limite à laquelle la visibilité en plongée autonome nous a permis d’explorer les lieux à la recherche des premières touffes de posidonie ; ce qui représente déjà une catastrophe écologique et économique pour la région.

Les flocons de papier et résidus siliceux, surtout observés dans la colonne d’eau du rejet EST, créent une sorte de tapis sur le sédiment et les communautés animales et végétales sessiles sous-jacentes ; participent fortement à l’enfouissement des rhizomes de l’herbier et réduisent considérablement la photosynthèse. De plus avec les matières organiques qu’ils contiennent ces poussières créent des odeurs nauséabondes et constituent des supports importants pour les bactéries.

Nos nombreuses plongées, nous ont permis de constater très clairement que l’herbier est clairsemé se présentant sous formes de touffes, avec un état de vitalité probablement très hétérogène, et se développe sur substrat sableux à sableux-rocheux.

Nous nous sommes rendu compte que la posidonie est très épiphytée vers 6-7m de profondeur mais qu’elle l’est très peu dans les 5m surtout et toujours du côté EST de la zone 2. Ceci traduit l’impact direct de la pollution sur la microfaune et flore qui se fixe sur les feuilles de posidonie. Même si cet effet peut jouer en faveur de la posidonie d’un point de vue lumière, il reste d’une gravité importante pour l’équilibre de l’écosystème qu’elle constitue car sans épiphytes, une chute de la biodiversité aura un impact très important sur le devenir des communautés animales et végétales de la zone. Paradoxalement, vers 6-7m de profondeur, l’herbier trop épiphyté, en raison des apports assez importants en sels nutritifs subira lui aussi incontestablement une évolution régressive du fait de l’impact qu’il aura sur la photosynthèse de *Posidonia oceanica*.

Le recul de l’herbier dans la zone 2 laisse un environnement désertique de cailloutis lissés, tout comme les rochers du rivage témoignant du lessivage de certaines espèces communes d’algues. Nous citerons l’exemple de *Corallina mediterranea* et *Ulva lactuca* qui disparaissent en contact direct des polluants chimiques. Nous n’avons pas omis aussi de noter l’absence flagrante de certaines espèces, assez communes au littoral méditerranéen, (telles que les patelles, chitamales et balanes) du cortège faunistique.

Le dosage des métaux lourds a permis d'affirmer que l'herbier à posidonie dans la zone polluée du front de mer de Bou-Ismaïl subi l'impact négatif des déversements quotidiens des industriels installés dans la région, de fortes teneurs ont été décelées. Ils ont fort probablement contribué en grande partie à sa disparition dans les premiers mètres de côte.

Même si l'herbier étudié à de plus lointaines distances du rivage présente une résistance à ces teneurs, il est impératif pour sa sauvegarde de prendre d'importantes mesures de protection dont on donnera les grands traits comme recommandations.

### 3.2.2. Observations sur la faune et la flore associées :

Vue l'état de contamination très avancé, la prospection de la zone située à proximité de la limite supérieure de l'herbier jusqu'à 10 m de profondeur n'a pas permis de mettre en évidence que les éléments suivants :

La grande Nacre (*Pinna nobilis*) n'a pas été observée sur le site pollué, ni sur nos sites de références d'ailleurs (devenue rare).

Les principales espèces de l'ichtyofaune associées à l'herbier n'ont pu être observées (Labridae, Sparidae, Serranidae) sans doute à cause de la visibilité et des conditions extrêmes (courants sous-marins) de travail en cette période-là (Mai-Juin).

L'oursin comestible *Paracentrotus lividus* est fréquent aussi bien dans l'herbier que sur la roche photophile avoisinante dans toutes nos zones. Cependant on notera une différence (voir annexe 18) dans la taille des individus et leurs colorations ainsi que le développement des gonades.

L'observation d'espèces plus occasionnelles comme la seiche (*Sepia officinalis*), le marbré (*Lithognathus mormyrus*) et des poissons plats n'as pas été possible dans la zone polluée de Bou-Ismaïl sans doute par fuite de l'environnement hostile.

La flore est représentée essentiellement par deux magnoliophytes marines *Nanozostera noltii* et *Cymodocea nodosa*. Différentes algues peuvent se rencontrer sur les feuilles (épiphytes), entre les rhizomes, sur la matte, ou sur le sable aux abords de l'herbier des zones de référence. Pour la zone polluée, l'herbier est très épiphyté mais peu brouté et la présence de l'algue *Caulerpa racemosa* se fait distinguer par rapport à *N. noltii* et *C. nodosa*.

Les échinodermes sont représentés principalement par l'oursin comestible *Paracentrotus lividus*, l'oursin violet *Sphaerachinus granularis* n'a pas été observé. L'holothurie *Holothuria tubulosa* est abondante dans la zone de sidi-fredj, à l'anse du CET mais peu observée dans la zone 2. Nous notons la présence de l'étoile de mer *Echinaster sepositus* à 8 mètre de profondeur dans l'herbier à posidonie dans la zone 2, là où la visibilité s'est améliorée dans un herbier devenu plus dense.

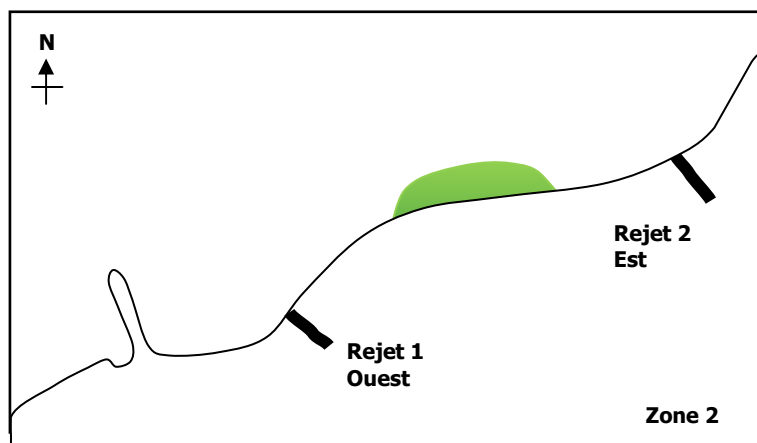
### 3.2.3. Nouvelle menace : *Caulerpa racemosa*

L'un des éléments les plus marquants que nous avons observé, lors de nos différentes plongées dans notre site pollué, est la présence de *Caulerpa racemosa* (Ulvophyceae).

Elle occupe une surface assez importante entre les deux rejets là où le fond hétérogène semble former une plateforme qui favorise son expansion, probablement en raison de sa faible profondeur (0 à 2m) et l'importance de la lumière, propices à son développement en colonies.

La pollution par les sels nutritifs, surtout, semble stimuler sa croissance ; elle est en train de constituer fort probablement une nouvelle menace sur l'herbier dans la zone.

D'après Capiomont *et al.* (2005 in Lamouti, 2006) cette espèce, à priori originaire du sud-ouest australien, colonise plusieurs types de fonds (sable, roche, vase, mate morte de 0 à 50m) et a la capacité de se reproduire de façon sexué ou asexuée par bouturage. Les activités telles que la pêche et l'ancrage des navires constituent le premier facteur de propagation de cette espèce. À noter que juste à l'Ouest des deux rejets de petits ports de pêche ont vu le jour ces dernières années.



**Figure 3.36 :** Schéma approximatif de la colonie de *Caulerpa racemosa* dans la zone 2

Lamouti (2006) a déjà établi une liste succincte des endroits où sa présence a été notée dans le littoral algérois et à laquelle on se propose d'ajouter le secteur de front de mer de Bou-Ismaïl.

**Tableau 3.10 :** Présence de *Caulerpa racemosa*

Secteur	Profondeurs	Type de fonds
Tamentfoust	10m	Sablo-vaseux
Sidi Fredj	1-3m	Vase, Sable, Herbiers, déchets solides
El Djamila	8m	Roche, herbier
Bainem	6m	Roche, herbier
RaisHamidou	1-17m	Roche, herbier, Galet
Miramar	29m	Roche, herbier, Sable
Front de Mer de Bou-Ismaïl	0-2m	Roche, Sable, Vase, Algues



*Conclusion*

## Conclusion

Au terme de ce travail, nous avons pu démontrer grâce à la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) avec système d'hydrures pour le mercure et par flamme pour 5 autres métaux dont l'aluminium pour la première fois dans la posidonie *Posidonia oceanica*, dans le sédiment dans lequel elle se développe et dans un premier consommateur, l'oursin commun *Paracentrotus lividus* ; et cela dans trois sites de la baie de Bou-Ismaïl qui présentent des degrés différents d'anthropisation.

Comparés à d'autres résultats obtenus dans plusieurs sites méditerranéens, les taux de mercure enregistrés dans les rhizomes de posidonie étaient systématiquement plus élevés dans le site le plus contaminé (zone 2 de notre étude). L'analyse en composantes principales (ACP) révèle que ces taux présentent une corrélation positive avec ceux obtenus dans le sédiment et les gonades de l'oursin commun pour les trois zones d'étude. Ce qui permet la validation de l'emploi de la posidonie comme bioindicateur de la contamination mercurielle.

Néanmoins, pour les autres métaux étudiés, même si de fortes teneurs sont à signaler dans la zone anthropisée de Bou-Ismaïl, de fortes variations sont notés par rapport au sédiment et aux gonades ce qui rend non souhaitable l'utilisation des rhizomes comme indicateur pour ces derniers mais que nous recommandons fortement pour le sédiment qui semble être plus approprié.

Il convient donc de signaler qu'entre la posidonie et l'oursin, la réponse à la contamination métallique du milieu ambiant est différente du sédiment. Les réponses peuvent être directement comparables comme pour le mercure mais différenciées pour les autres métaux étudiés.

Les fortes teneurs en micropolluants métalliques dans les oursins de la zone 2 et 3 sont alarmantes surtout pour le mercure qui doit être sérieusement pris en considération par la proscription ou du moins la prise en garde de leur consommation.

D'un point de vue géolocalisation, la schématisation des résultats révèle que la contamination métallique semble s'effectuer plutôt au niveau du rejet Est que celui du côté Ouest de la zone 2 et contrairement à ce qui était attendu, au niveau de la zone 3 et non pas (ou peu) au niveau de la zone 1 de référence.

L'analyse des sels nutritifs et des paramètres bactériologiques a permis de confirmer l'importance et l'origine à la fois exclusivement humaine et diversifiée (agricole, domestique/urbaine et industrielle) des effluents non-traités qui se déversent à de forts débits directement dans la zone 2. En effet, à ce niveau, des quantités considérables de matières organiques et minérales ont été relevées pouvant nuire considérablement à la photosynthèse de l'herbier mais aussi participer à son ensevelissement et son recul qui atteint les 5 mètres.

La disparition du cortège faunistique et floristique habituel d'un herbier prospère lors de nos nombreuses prospections est le témoin d'un déséquilibre écologique, avec une évolution qui va inexorablement vers l'allogénie de l'écosystème à posidonie du front de mer de la ville de Bou-Ismaïl, accentué par la présence, l'expansion et la compétition de l'algue tropicale, accidentellement introduite en Méditerranée, *Caulerpa racemosa* qui montre non seulement une croissance rapide suffoquant l'herbier de cette zone mais profite aussi de sa fragilisation et de la régression de sa limite supérieure pour coloniser le substrat déserté par l'herbier et constitue, par conséquent, une menace sans précédent pour la biodiversité dans cette zone déjà menacée par pêche.



*Perspectives  
&  
Recommendations*

## Perspectives et Recommandations



Si, à l'issue de ce travail de contribution, qui reste, avant tout, ponctuel et juste un point de départ à l'étude de l'impact de la pollution chimique dans la baie de Bou-Ismaïl, l'intérêt de *Posidonia oceanica* en tant que bioindicateur de la contamination mercurielle est confirmé, plusieurs voies de recherche restent encore à explorer afin d'élargir l'utilisation de cette espèce pour les autres métaux étudiés notamment par la récolte de plus de données et l'application de traitements statistiques et de modélisations mathématiques.

Il serait, en effet, intéressant d'étendre cette étude à d'autres zones au niveau de la baie de Bou-Ismaïl ou dans d'autres régions le long du littoral puisque les résultats présentés dans ce travail concernent uniquement trois zones bien que leur choix fut stratégique. L'éventail d'analyse peut lui aussi être élargit à un nombre plus important de métaux non abordés dans ce mémoire à savoir le plomb et le cadmium qui ne sont pas moins dangereux que le mercure pour l'homme et/ou le nickel, le chrome, le cobalt, etc. et suivre davantage les paramètres physicochimiques surtout les MES.

Un réseau de surveillance basé sur l'utilisation de *Posidonia oceanica* en tant que bioindicateur de la contamination métallique pourrait ainsi être établi à l'échelle nationale. Concernant les régions où *Posidonia oceanica* est absente, l'utilisation d'une autre magnoliophyte, par exemple *Cymodocea nodosa* ou *Zostera noltii* pourrait être envisagée.

Les voies d'absorption des métaux traces par *Posidonia oceanica* restent toujours à déterminer. En effet, ces résultats ne sont pas suffisants pour identifier les voies d'absorption des métaux traces par *Posidonia oceanica* ; d'autres études sont également nécessaires pour élucider ce point.

Une étude de la population, du réseau d'assainissement et de la localisation et l'inventaire précis des industriels et des activités agricoles dans la région adjacente doit être tenue pour permettre de proposer une solution adéquate pour le traitement des eaux usées notamment par la séparation des réseaux collecteurs, l'installation d'une station d'épuration et l'instauration obligatoire du prétraitement des eaux usées industrielles et la canalisation des rejets loin des herbiers.

Pour achever ce chapitre il convient donc de donner quelques mesures de préventions et rappeler d'importants faits recommandés par Boudouresque *et al.* (2006), que nous tenterons d'appliquer à notre zone, afin d'aider à réduire la pollution et minimiser son impact, pour améliorer et surveiller l'état de l'herbier dans la baie de Bou-Ismaïl. À savoir :

- Aucun émissaire d'eaux usées ne devrait déboucher dans un herbier à *Posidonia oceanica*. Ceci est valable quel que soit le niveau d'épuration des eaux ; en effet, il s'agit d'eau douce qui normalement remonte vers la surface mais dont la base du cône de dilution peut avoir une certaine emprise sur le fond, en fonction des courants et lors des tempêtes ; or, *P. oceanica* est très sensible à la dessalure ;

- Tous les industriels qui déversent dans la zone 2 doivent impérativement traiter leurs rejets avant même leur rencontre avec les eaux domestiques, qui à leurs tours doivent être systématiquement traitées. Par ailleurs, il est important de mettre en place un suivi des herbiers à *Posidonia oceanica* les plus proches, au moyen de balisages et de carrés permanents, afin de vérifier que le niveau d'épuration est suffisant ;
- Dans le cas des émissaires anciens, comme c'est le cas apparent de ceux de la ville de Bou-Ismaïl (des "mattes mortes" sont observées aux points de rejet). Il serait nécessaire d'entreprendre un déplacement de l'émissaire ou sa prolongation au-delà des limites de l'herbier. Cependant, la mise en service d'une station d'épuration et l'amélioration du taux d'épuration des eaux usées par les industriels permettrait d'éviter ces coûteux travaux de déplacement ;
- Le plus simple à faire serait de considérer une distance minimale entre le point de rejet et les herbiers les plus proches (5m de profondeur) de façon à garantir en premier lieu un bon abattement des MES (Matières en Suspension) et en deuxième lieu la réduction des rejets de nutriments et de détergents. L'efficacité de l'abattement dépend selon Boudouresque *et al.* (2006) également du type d'épuration mis en place, de telle sorte qu'il conviendrait de majorer les distances de 50% dans le cas d'une épuration uniquement de type physico-chimique ;
- Pour ce qui concerne la canalisation de rejet des eaux, et dans le cas de nouvelle mise en place, il convient d'éviter la traversée d'un herbier à *P. oceanica*, ou de minimiser la longueur d'herbier traversée. Lorsque la canalisation traverse un herbier, elle ne doit pas être ensouillée. Par ailleurs, pour diverses raisons (vieillesse des matériaux, choc avec des engins de pêche, etc.), il n'est pas rare que ces canalisations présentent des fuites. Les inspections doivent donc être régulières (annuelles) ;
- Un « biomonitoring des micropolluants dans le milieu marin » est à considérer, par la mise en place d'un réseau de surveillance de la qualité des eaux littorales avec :
  - Sélection de plus d'espèces employées (poissons, mollusques, ...) ;
  - Échantillonnage plus important, par rapport aux paramètres spatio-temporels (élargir vers d'autres régions de la côte algérienne), et sélection de plus de composés à rechercher : plomb, cadmium, phénols, hydrocarbures, détergents, ... ;
- Enfin, Il est indispensable et le moindre à faire de mettre en garde les citoyens de l'importance de la pollution du front de mer de Bou-Ismaïl, qui est une zone à risque public confirmé et à ne plus négliger, par la mise en place de panneaux interdisant toute baignade et consommation de tout fruit de mer notamment l'oursin.
- Item, pour Sidi-Fredj et le centre de thalassothérapie, station balnéaire très prisée et très visitée en été, même si d'un point de vu bactériologique ; les eaux semblent pas très polluées, il est essentiel d'informer le grand public sur la contamination très importante des oursins (leurs gonades souvent consommées crues) par les métaux lourds et notamment au mercure.



# *Bibliographie*

# Bibliographie

- AIT KACI D., PAUC H., 1981.** Le rôle de l'oued Mazafran dans la sédimentation fine en baie de bou-ismail. Pelagos 6 (1) pp 1-14.
- AIT KACI D., PAUC H., 1983** La couverture sédimentaire récente en baie de Bou-Ismaïl: Nature et structure. Rapp. Et PV, CIESM 28 (4) : 203-204.
- AMINOT A., CHAUSSEPIED M., 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO : 395p.
- ANONYME, 2000.** Action plan for the conservation of marine vegetation in the Mediterranean sea. CAR-ASP édit., PNUE publ.: 1-8.
- ANONYME, 2001.** Projet de lignes directrices pour les études d'impact sur les herbiers marins. PNUE. CAR/ASP édit., UNEP(DEC)/MED WG.177/8, Tunis: 1-49.
- AOUIDAD Z., 1997.** Contribution à l'étude de la pollution par les métaux lourds dans les sédiments superficiels et les particules en suspension dans la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'Ingénieur, option : pollution marine, 73p.
- AUGIER H., 1985.** L'herbier à *Posidonia oceanica*, son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact. Vie marine, 7: 85-113.
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.F., 1979.** Premières observations sur l'herbier de Posidonies et le détritique côtier de l'île du Levant (Méditerranée, France), à l'aide du "sous-marin" Griffon de la Marine Nationale. Tr av. sci. Parc nation. Port-Cros, 5: 141-153.
- AUGIER H., GIGLIO Y., RAMONDA G., 1987.** Peintures anti-fouling et herbier à *Posidonia oceanica*. GIS Posidonie & Fac. Sci. Luminy Publ.: 1-94.
- AUGIER H., MAUDINAS B., 1979.** Influence of the pollution on the photosynthetic pigments of the marine Phanerogam *Posidonia oceanica* collected from different polluted areas of the Region of Marseille (Mediterranean sea, France). Oecologia Plantarum, 14(2): 169-176.
- AUGIER H., MONNIER-BESOMBES G., SIGOILLOT G., 1984b.** Influence des détergents sur *Posidonia oceanica* (L.) Delile. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 407-418.
- AUGIER H., ROBERT P., MAFFRE R., 1980.** Étude du régime thermique annuel des eaux au niveau des peuplements de Phanérogames marines de la baie de Port-Cros (îles d'Hyères, Méditerranée, France). Tr av. sci. Parc nation. Port-Cros, 6: 69-131.
- ASSO A., 1982.** Contribution à l'étude de polluants métalliques chez la moule *Perna perna* (L.) dans la région d'Alger. Thèse de 3ème cycle, Univ.Sc.Tech. LanguedocMonpellier. pp316.
- BENAMAR M. A., TOUMERT I., TOBBECHE S., TCHANTCHANE A., CHALABI A., 1999.** Assessment of the state of pollution by heavy metals in the surficial sediments Algiers Bay. Applied Radiation and Isotopes 50 (1999) 975-980.
- BAROLI M., COSSU A., CRISTINI A., DE FALCO G., GAZALE V., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 2001.** Concentrations of trace metals (Cd, Cu, Fe, Pb) in *Posidonia oceanica* seagrass of Liscia bay, Sardinia (Italy). In "Structure and Processes in the Mediterranean Ecosystem" Faranda F.M., Guglielmo L., Spezie G. eds. Springer-Verlag publ., Proceed. Convegno Diversità e cambiamento, Ischia 10-14 novembre 1998.
- BAY D., 1978.** Etude in situ de la production primaire d'un herbier de Posidonies (*Posidonia oceanica* (L.) Delile) de la baie de Calvi-Corse. Progr. Rép. Stn. Océanogr. Stareso, Univ. Liège, Belg., 18: 6 p non num. + 1-251.

# Bibliographie

- BLANC J. J., JEUDY DE GRISSAC A., 1978. Recherches de géologie sédimentaire sur les herbiers à Posidonies du littoral de la Provence.** Centre nation. Exploit. Océans, edit., Fr., i-vii, : 1-185 + 42 pl. h.t.
- BEN ALAYA H., 1972. Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Delile et *Cymodocea nodosa* Ascherson dans le golfe de Tunis.** Bull. Inst. Océanogr. Pêche Salammbô, 2(3): 331-416.
- BOUDOURESQUE C.F., 1983. Les Posidonies.** In Biomasse actualités, 12 (suppl les végétaux aquatiques):14-16. catalogue des engins de pêche du Maroc.
- BOUDOURESQUE C.F., 2003. The erosion of Mediterranean biodiversity.** In: Rodríguez-Prieto C., Pardini G. edits. The Mediterranean Sea : an overview of its present state and plans for future protection. Servei de Publicacions de la Universitat de Girona: 53-112.
- BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L., 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*.** edit., RAMOGE publ. : 1-202.
- BOUDOURESQUE C.F., BIANCONI C.H., MEINESZ A., 1990. Live *Posidonia oceanica* in a coralligenous algal bank at Sulana, Corsica.** Rapp. P.V. Réunion. Commiss. internation. Explor. sci. Médit. 32(1): 11.
- BOUDOURESQUE C.F., GRAVEZ V., MEINESZ A., MOLENAAR H., PERGENT G., VITIELLO P., 1995. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : Protection légale et gestion.** In: Pour qui la méditerranée au 21<sup>ème</sup> Siècle - Villes des rivages et environnement littoral en Méditerranée. Actes du colloque scientifique Okeanos, Maison de l'Environnement de Montpellier publ., Fr.: 209-220.
- BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., 1983. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : les interactions entre la plante et le sédiment.** J. Rech. océanogr., 8(2-3): 99-122.
- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1982. Découverte de l'herbier de Posidonie.** Cah. Parc nation. Port-Cros, Fr., 4: 1-79.
- BOUMAZA S., 1995. Pénologie, biomasse, lépidochronologie et production primaire de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile de l'anse de Kouâli, Tipaza (Algérie).** Thèse de Magister en océanologie, ISMAL, Alger : 1-125 + annexes.
- BOUMAZA S., 2003. Biodiversité des habitats à phanérogames marines des côtes algériennes.** In Biodiversité marine et littorale algériennes, dir GRIMES S., ED-Diwan, Alger, PP 95-108
- BRAÏK D., 1989. Étude de la dynamique sédimentaire devant Bou Ismaïl: sédimentologie, morphologie, problème d'érosion du littoral, aménagement.** Thèse de Magistère, Inst. Sci. De la terre. USTHB., Alger, 1 – 174.
- BRAÏK D., 1989. Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou-Ismaïl– Sédimentologie – Morphologie – Problèmes d'érosion du littoral – Aménagement.** Thèse de Magister en Géologie, USTHB, 174p.
- BRISOU J.F. et DENIS F., 1980. Techniques de surveillance de l'environnement maritime.** Edit. Masson. p206.
- CALLENDER E., 2003. Heavy Metals in the Environment—Historical Trends.** pp. 67–105 in Holland H.D., Turekian K.K., 2003. Treatise on Geochemistry, volume 10. Édité. Elsevier Ltd. 7800p.
- CALMET D., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1988. Memorization of nuclear atmospheric tests by rhizomes and scales of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile.** Aquat. Bot. 30(4): 279-294.

# Bibliographie

- CALMET D., CHARMASSON S., GONTIER G., A MEINESZ., BOUDOURESQUE C.F., 1991.** Chernobyl radionuclides in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*, 1986-1987. *J. Environ. Radioactivity* 13: 157-173.
- CAMPANELLA L., CONTI M.E., CUBADDA F., SUCAPANE C., 1999.** Trace metals in seagrass, algae and molluscs from an uncontaminated area in the Mediterranean. *Environmental Pollution* 111 (2001) 117-126.
- CAPIOMONT A., PIAZZI L., PERGENT G., 2000.** Seasonal variations of total mercury levels in foliar tissues of *Posidonia oceanica*. *J. mar. Biol. Ass. U.K.* 80(6): 1119-1123.
- CAREDDA A. M., CRISTINI A., FERRARA C., LOBINA M. F., BAROLI M., (1999).** Distribution of heavy metals in the Piscinas beach sediments (SW Sardinia, Italy). *Environmental Geology* 38 (1999) 91-100.
- CARLOTTI P., BOUDOURESQUE C.F., CALMET D., 1992.** Mémorisation du cadmium et de radioéléments par les rhizomes et les écailles de *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae). *Tr av. Sci. Parc nat. Rég. Rés. Nat. Corse* 36: 1-34.
- CAYE G., 1980.** Sur la morphogénèse et le cycle végétatif de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doct., Univ. Aix-Marseille 2, Fr.: 1-121.
- CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., CADIOU G., BONHOMME P., COTTALORDA J.M., PATRONE J., KRUCZEK R., BERTRANDY M.C., FORET P., BRICOUT P., MARRO C., LE DIREACH L., 2003.** Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur : Résultats du suivi 2002. GIS Posidonie publ., Fr.: 1-176.
- CONDE POYALES F., 1989.** Ficogeografía del mar de Alborán en el contexto del Mediterráneo occidental. *An. Jard. bot. Madrid* 46(1): 21-26.
- CRISTIANI G., 1980.** Biomasse et répartition de l'herbier de *Posidonia oceanica* de la Côte Bleue (B. d. Rh. France) et pollution marine par les métaux lourds. Thèse Doct., Univ. Aix-Marseille 3, Fr.: 1-150 + ix pp + 1 carte h.t.
- DURAND J. H., 1952.** Etude de quelques sédiments de la baie de Castiglione. *Bull. Trav. Station aquaculture et pêche, Castiglione* N 59, pp 203-229.
- DAGORNE A., 1970.** Remarques préliminaires sur la sédimentologie pré littorale en baie de Bou-Ismaïl (Ouest Alger). *Anales algériennes des géographes*, n°7, pp 73-78.
- ELKALAY K., FRANGOULIS C., SKLIRIS N., GOFFART A., GOBERT S., LEPOINT G., HECQ J.H., 2003.** A model of seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean). *Ecol. Model.* 167: 1-18.
- FERNEX F. E., MIGON C., CHISHOLM J. R. M., 2001.** Entrapment of pollutants in mediterranean sediments and biogeochemical indicators of their impact. *Hydrobiologia* 450 (2001) 31-46.
- FIGARELLA J., LEYRAL G., TERRET M., 2001.** Microbiologie générale et appliquée. Edit. Jacques Lanore. 285p.
- FILGUEIRAS A.V., LAVILLA I., BENDICHO C., 2004.** Evaluation of distribution, mobility and binding behaviour of heavy metals in surficial sediments of Louro River (Galicia, Spain) using chemometric analysis: a case study. *Science of the Total Environment* 330 (2004) 115-129.
- FITZGERALD W.F., LAMBORG C.H., 2003.** Geochemistry of Mercury in the Environment. Chap. 9.04 in Holland H.D., Turekian K.K., 2003. *Treatise on Geochemistry*, volume 10. édit. Elsevier Ltd. 7800p.
- GALANOPOULOU S., VGENOPOULOS A., CONISPOLIATIS N., 2009.** Anthropogenic Heavy Metal Pollution in the Surficial Sediments of the Keratsini Harbor, Saronikos Gulf, Greece. *Water Air Soil Pollut* 202 (2009) 121-130.

# Bibliographie

- GAMBI M.C., BUIA M.C., CASOLA E., SCARDI M., 1989. Estimates of water movement in *Posidonia oceanica* beds: a first approach.** In: Boudouresque, C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. edits. International workshop on Posidonia beds. GIS Posidonie publ., Fr., 2: 101-112.
- GAMULIN-BRIDA H., 1974. Biocénoses benthiques de la mer Adriatique.** Acta Adriatica 15(9): 1-102 + 1 carte.
- GAMULIN-BRIDA H., POZAR A., SIMUNOVIC A., SPAN A., 1973. Les conséquences biologiques de la pollution des eaux marines sur les biocénoses benthiques. Groupement des biocénoses benthiques de la mer Adriatique du point de vue de pureté des eaux.** Atti Coll. internazion. Oceanogr. medit. 5: 137-159.
- GREEN E.P., SHORT F.T., 2003. World Atlas of Seagrasses: Present Status and Future Conservation.** E. P. Green and F. T. Short (eds.). The University of California Press, Berkeley. 310p.
- IAEA, 1997. Standard operating procedure for trace metals determination.** Marine Environment Laboratory, Monaco, 44p.
- IAEA, 2001. The analytical performance study for MEDPOL Region: determination of trace metal and methyl mercury in estuarine sediment samples.** IAEA 405, 64p.
- JOLY B., REYNAUD A., 2003. Entérobactéries : systématiques et méthodes d'analyses.** Edit. Techniques et Documentation. Paris. 356p.
- KHOURY C., 1984. Éthologies alimentaires de quelques poissons de l'herbier de posidonie du parc national de port-cros.** Gis posidonie, 1 :335-347.
- LACAZE J. C. , 1993. La dégradation de l'environnement côtier : Conséquences écologiques.** Edit. Masson, Paris, 130p.
- LAFABRIE C., 2007. Utilisation de *Posidonia oceanica* (L.) Delile comme bioindicateur de la contamination métallique.** Thèse de doctorat. Université de corse, 158p.
- LAFABRIE C., PERGENT G., KANTIN R., PERGENT-MARTINI C., GONZALEZ J.-L., 2007. Trace metals assessment in water, sediment, mussel and seagrass species – Validation of the use of *Posidonia oceanica* as a metal biomonitor.** Chemosphere 68 (2007) 2033–2039.
- LALAMI-TALEB R., 1970. Facteurs de répartition verticale du phytoplancton au large d'Alger.** Thèse de Doct. 3 ème cycle en biologie. Université d'Alger: pp168.
- LAMOUTI S., 2006. Essai de cartographie des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la zone du PAC (Plage de la thalassothérapie Sidi Fredj).** Mémoire d'Ingénieur, Option : Environnement Marin. ISMAL. 41p.
- LECLAIRE L., 1972. La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (Pré-continent Algérien).** Mémoire Museum histoire Naturelle. Paris. Série C, Tome 24, pp391.
- LE GALL J. Y., 1969. Étude de l'endofaune des pelouses de Zostéracées superficielles de la baie de Castiglione (côte d'Algérie).**Téthys, 1 (2): 395-420.
- LE GALL J. Y., 1969. Étude de l'endofaune des pelouses de Zostéracées superficielles de la baie de Castiglione (côte d'Algérie).**Téthys, 1 (2): 395-420.
- LERICHE A., 2004. La structure à méga-, méso- et micro-échelles des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile fournit-elle des outils pour leur gestion ?** Thèse Doctorat, Univ. Aix-Marseille II, Fr.: 1-232.
- LOURGUIOUI, 2006. Étude hydrobiologique du barrage de Boukourdane (wilaya de Tipaza).** Thèse de magister, ISMAL, 80p.

# Bibliographie

- MASERTI B.E., FERRARA R., PATERNO P., 1988. *Posidonia* as an Indicator of Mercury Contamination. Marine Pollution Bulletin, Volume 19, No. 8, pp. 381-382, 1988.
- MOLINIER R., PICARD J., 1952. Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. Ann. Inst. Océanogr. Paris, 27 : 157-234.
- MOUHOUB R., 1986. Contribution à l'étude de la biologie et la dynamique de la population exploitée de la sardine (*Sardina pilchardus*, Walbum, 1792) des côtes Algéroises (Algérie). Thèse de Magistère en halieutique, USTHB .pp 163.
- PÉRÈS J.M., PICARD J., 1975. Causes de la raréfaction et de la disparition des herbiers de *Posidonia oceanica* sur les côtes françaises de la Méditerranée. Aquat. Bot. 1(2): 133-139.
- PEREZ T., SARTORETTO S., SOLTAN D., CAPO S., FOURT M., DUTRIEUX E., VACELET J., HARMELIN J.G., REBOUILLON P. (2000). Étude bibliographique sur les bioindicateurs de l'état du milieu marin. Système d'évaluation de la Qualité des Milieux littoraux – Volet biologique. Rapport Agences de l'Eau, 4 fascicules, 642 pp. + 1 Cd-rom.
- PERGENT G., 1991. Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée. Oceanis, 17 (4) : 341-350.
- PERGENT G., 1991a. La protection légale de la Posidonie en France: Un outil efficace. Nécessité de son extension à d'autres pays méditerranéens. In : Boudouresque C.F., Avon M., Gravez V. edits. Les Espèces Marines à Protéger en Méditerranée, Rencontres scientifiques de la Côte Bleue. GIS Posidonie publ., Fr., 2: 29-34.
- PERGENT G., 1993. L'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile : approche structurale fonctionnelle et appliquée. Diplôme d'Habilitation à diriger des recherches, Univ., Corte, Corse : 1-158.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 1995. Indicateurs biologiques : Posidonies. In: Etat des connaissances opérationnelles sur la contamination et les indicateurs de pollution chimique toxique du milieu marin. Résumé des contributions. IARE publ., Fr.: 123-135.
- Pergent G., Pergent-Martini C., 1999. Mercury levels and fluxes in *Posidonia oceanica* meadows. Environmental Pollution 106 (1999) 33–37
- PERGENT-MARTINI C., 1998. *Posidonia oceanica*: a biological indicator of past and present mercury contamination in the Mediterranean Sea. Mar. Environm. Res. 45(2): 101-111.
- PERGENT-MARTINI C., 2000. Protection des habitats d'herbiers de Phanérogames marines de Méditerranée. Les études d'impacts en milieu marin. CAR/ASP Tunis & EqEL publ.: 1-49 + Ann.
- PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., 2000. Are marine phanerogams a valuable tool in the evaluation of marine trace-metal contamination : example of the Mediterranean Sea ? Int. J. environm. Poll. 13(1-6): 126-147.
- PERGENT-MARTINI C., RICO-RAIMONDINO V., PERGENT G., 1995. Nutrient impact on *Posidonia oceanica* seagrass meadows : preliminary data. vol. 5, no2, pp. 3-9 (1 p.1/4)
- PERGENT-MARTINI C., RICO-RAIMONDINO V., PERGENT G., 1996. Impact des nutriments sur les herbiers à *Posidonia oceanica*. Données préliminaires. J. Rech. océanogr. 21(1-2): 35-39.
- PIAZZI L., CECCHERELLI G., MEINESZ A., VERLAQUE V., AKÇALI B., ARGYROU M., BALATA D., BALLESTEROS E., CINELLI F., D'ARCHINO R., JAVEL J., MIFSUD C., PALA D., PANAYOTIDIS P., PEIRANO A., PERGENT G., PETROCELLI A., RUITTON S., ZULJEVIC A., 2005. Invasion of *Caulerpa racemosa* (Caulerpaceae, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea: the balance of thirteen years of spread. Cryptogamie, Agologie 26: 189-202.

# Bibliographie

- POR F.D., 1978.** Lessepsian migrations. The influx of Red Sea biota into the Mediterranean by way of the Suez canal. Springer Verlag publ., Berlin: x + 1-228.
- PROCACCINI G., BUIA M.C., GAMBI M.C., PEREZ M., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., ROMERO J., 2003.** Seagrass status and extent along the Mediterranean coasts of Italy, France and Spain. In: Green E.P., Short F.T., Spalding M.D. edits. World Atlas of Seagrass: Present status and future conservation. University of California Press publ.
- ROBERT P., 1988.** Etude du régime thermique des principales biocénoses marines benthiques du Parc national de Port-Cros (Var, France). Diplôme de Recherche universitaire, Univ. Aix-Marseille II, Fr.: 1-209.
- RODIER J., BAZIN C., CHAMBON P., BROUTIN J.-P., CHAMPSAUD H., RODI L., 1996.** Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8<sup>ème</sup> édition. Edition DUNOD, Paris. 1983p.
- SANTA S., SIMONET A., 1966.** Les poissons et le monde marin des cotes de l'Oranie, Mem n°1, Arch. Soc. Geo. Arch. De la province d'Oran, Oran.
- SEMROUD R., 1993.** Contribution à la connaissance de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (L.) Delile dans la région d'Alger (Algérie, étude de quelques compartiments). Thèse de doctorat en science, USTHB. Alger, 219P.
- UNEP/IAEA, 1985a.** Determination of total chromium in marine sédiments by flameless atomic absorption spectrophotometry. (Draft) Reference Methods for Marine Pollution Studies, N°31, UNEP.
- UNEP/IAEA, 1985b.** Determination of total chromium in marine sédiments by flameless atomic absorption spectrophotometry. (Draft) Reference Methods for Marine Pollution Studies, N°33, UNEP.
- UNEP/IAEA, 1986.** Determination of total chromium in marine sédiments by flameless atomic absorption spectrophotometry. (Draft) Reference Methods for Marine Pollution Studies, N°38, UNEP.
- VERLAQUE M., AFONSO-CARRILLO J., GIL-RODRIGUEZ M.C., DURAND C., BOUDOURESQUE C.F., LE PARCO Y., 2004.** Blitzkrieg in a marine invasion : *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Bryopsidales, Chlorophyta) reaches the Canary Islands (NE Atlantic). Biol. Inv. 6: 269-281.
- VAISSIERE R., FREDJ G., 1963.** Contribution à l'étude de la faune benthique du plateau continental de l'Algérie. Bull. Inst. Océanogr. Monaco, Fr., 60 (1272) : 1-83 + 5 cartes h.t.
- VIDEAU C., MERCERON M., 1992.** Impact de la pisciculture marine intensive sur l'environnement. Revue bibliographique. Direction de l'Environnement et de l'aménagement littoral, Ifremer publ., Fr.: 1-106.
- WARNAU M., BIONDO R., TEMARA A., BOUQUEGNEAU J.-M., JANGOUX M., DUBOIS P., 1995.** Heavy metals in *Posidonia oceanica* and *Paracentrotus lividus* from seagrass beds of the north-western Mediterranean. Journal of Sea Research 171 (1995) 95-99.
- WARNAU M., BIONDO R., TEMARA A., BOUQUEGNEAU J.-M., JANGOUX M., DUBOIS P., 1997.** Distribution of heavy metals in the echinoid *Paracentrotus lividus* from the Mediterranean *Posidonia oceanica* ecosystem: seasonal and geographical variations. Journal of Sea Research 39 (1998) 267-280.
- WELLMAN C.H., OSTERLOFF P.L., MOHUDDIN U., 2003.** Fragments of the earliest land plants. Nature 425: 282-285.
- ZALOKAR M., 1942.** Les associations "sous-marines" de la côte adriatique au-dessous de Velebit. Bull. Soc. bot. Genève 33: 171-195.

# Webographie

**CAVIGNAUX Gilles, 2010 :**

<http://pagesperso-orange.fr/christian.coudre/seiche.html>

**DORIS : Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et de la flore Subaquatiques, 2010 :**

<http://doris.ffessm.fr/accueil.asp>

Mots clés : ANDRÉ Frédéric, BARRABES Michel, *Diplodus annularis*, *Polysyncraton lacazei*, *Paranemonia cinerea*, *Pina nobilis*, Limace, herbier.

**FERRUCCIO Chiesa, 2010 :**

<http://www.mareblunet.it/kbp.asp?idp=2&sez=Biologia%20marina>

**Guillaume BERNARD , Vincent GRAVEZ pour le GIS Posidonie, 2003 :**

<http://www.com.univ-mrs.fr/gisposi/spip.php?article4>

**Guitouninouninou et F. Palluy pour le GIS Posidonie, 2001 :**

<http://www.manon.org/polmar/posidoni.htm>

**UME Pierre, 2005 :**

**LES METAUX LOURDS... DE CONSEQUENCES**

[http://www.labosp.com/fr/liste\\_etudes\\_scientifiques/metaux\\_lourds\\_\\_\\_\\_de\\_consequences.doc.php](http://www.labosp.com/fr/liste_etudes_scientifiques/metaux_lourds____de_consequences.doc.php)

**WIKIPÉDIA, l'encyclopédie libre, 2010 :**

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Systema\\_Naturae](http://fr.wikipedia.org/wiki/Systema_Naturae)

Mot clé : *Systema Naturae*

**Note :** La dernière visite de tous les liens cités a été faite le 21 Août 2010



# *Annexes*

# Annexe 1

## Liste des espèces de phanérogames marines (d'après Green et Short, 2003)

Genre	Espèce	Auteur	Genre	Espèce	Auteur
<b>Hydrocharitaceae</b>			<b>Posidoniaceae</b>		
<i>Enhalus</i>	<i>acoroides</i>	(L.f.)Royle	<i>Posidonia</i>	<i>angustifolia</i>	Cambridge&Kuo
<i>Halophila</i>	<i>australis</i>	Doty&Stone	<i>Posidonia</i>	<i>australis</i>	Hookerf.
<i>Halophila</i>	<i>baillonii</i>	Ascherson	<i>Posidonia</i>	<i>coriacea</i>	Cambridge&Kuo
<i>Halophila</i>	<i>beccarii</i>	Ascherson	<i>Posidonia</i>	<i>denhartogii</i>	Kuo&Cambridge
<i>Halophila</i>	<i>capricorni</i>	Larkum	<i>Posidonia</i>	<i>kirkmanii</i>	Kuo&Cambridge
<i>Halophila</i>	<i>decipiens</i>	Ostenfeld	<i>Posidonia</i>	<i>oceanica</i>	(L.) Delile
<i>Halophila</i>	<i>engelmanni</i>	Ascherson	<i>Posidonia</i>	<i>ostendfeldii</i>	denHartog
<i>Halophila</i>	<i>hawaiiiana</i>	Doty&Stone	<i>Posidonia</i>	<i>sinuosa</i>	Cambridge&Kuo
<i>Halophila</i>	<i>johnsonii</i>	Eiseman	<b>Zosteraceae</b>		
<i>Halophila</i>	<i>minor</i>	(Zollinger)denHartog	<i>Zostera</i>	<i>asiatica</i>	Miki
<i>Halophila</i>	<i>ovalis</i>	(R.Brown)Hookerf.	<i>Zostera</i>	<i>caespitosa</i>	Miki
<i>Halophila</i>	<i>ovata</i>	Gaudichaud	<i>Zostera</i>	<i>capensis</i>	Setchell
<i>Halophila</i>	<i>spinulosa</i>	(R.Brown) Ascherson	<i>Zostera</i>	<i>capricorni</i>	Ascherson
<i>Halophila</i>	<i>stipulacea</i>	(Forsskål)Ascherson	<i>Zostera</i>	<i>caulescens</i>	Miki
<i>Halophila</i>	<i>tricostata</i>	Greenway	<i>Zostera</i>	<i>japonica</i>	Aschers.&Graebner
<i>Thalassia</i>	<i>hemprichii</i>	(Ehrenberg) Ascherson	<i>Zostera</i>	<i>marina</i>	Linnaeus
<i>Thalassia</i>	<i>testudinum</i>	BanksexKönig	<i>Zostera</i>	<i>noltii</i>	Hornemann
<b>Cymodoceaceae</b>			<i>Zostera</i>	<i>tasmanica</i>	(MartensexAschers.) den Hartog
		(Labill.)Sonderet	<i>Phyllospadix</i>	<i>iwatensis</i>	Makino
<i>Amphibolis</i>	<i>antarctica</i>	Ascherson	<i>Phyllospadix</i>	<i>japonicus</i>	Makino
<i>Amphibolis</i>	<i>griffithii</i>	(Black)denHartog	<i>Phyllospadix</i>	<i>scouleri</i>	Hooker
<i>Cymodocea</i>	<i>angustata</i>	Ostenfeld	<i>Phyllospadix</i>	<i>serrulatus</i>	RuprechtexAschers.
<i>Cymodocea</i>	<i>nodosa</i>	(Ucria)Ascherson	<i>Phyllospadix</i>	<i>torreyi</i>	S.Watson
<i>Cymodocea</i>	<i>rotundata</i>	Ehrenberg&Hemprichex Ascheron	<b>Ruppiceae</b>		
<i>Cymodocea</i>	<i>serrulata</i>	(R.Brown) Ascherson	<i>Ruppia</i>	<i>cirrrosa</i>	(Petagna)Grande
<i>Halodule</i>	<i>beaudettei</i>	(denhartog) denHartog	<i>Ruppia</i>	<i>maritima</i>	Linnaeus
<i>Halodule</i>	<i>bermudensis</i>	denHartog	<i>Ruppia</i>	<i>megacarpa</i>	Mason
<i>Halodule</i>	<i>emarginata</i>	denHartog	<i>Ruppia</i>	<i>tuberosa</i>	Davis&Tomlison
<i>Halodule</i>	<i>pinifolia</i>	(Miki)denHartog			
<i>Halodule</i>	<i>uminervis</i>	(Forsskål)Ascherson			
<i>Halodule</i>	<i>wrightii</i>	Ascherson			
<i>Syringodium</i>	<i>filiforme</i>	Kützing			
<i>Syringodium</i>	<i>isoetifolium</i>	(Ascherson)Dandy			
<i>Thalassodendron</i>	<i>ciliatum</i>	(Forsskål)denHartog			
<i>Thalassodendron</i>	<i>pachyrhizum</i>	denHartog			

Malgré leur faible diversité spécifique, les phanérogames marines colonisent la plupart des régions côtières du globe. Les pays présentant la plus grande diversité de phanérogames marines sont l'Australie (29 espèces), les États-Unis (23 espèces) et le Japon (16 espèces). Ces pays ont pour particularité de posséder des côtes tant en milieu tempéré que tropical. Ensuite, viennent les pays tropicaux tels que l'Inde et les Philippines (14 espèces chacun) et la Papouasie Nouvelle-Guinée (12 espèces). Les Philippines, la Papouasie et l'Indonésie (12 espèces) sont généralement considérés comme le centre de la diversité des phanérogames marines (Green et Short, 2003).

# Annexe 2

## Procédures de Nettoyage

### 1. Nettoyage du matériel pour la détermination des métaux traces

#### Réactifs

- HNO<sub>3</sub> (65% pour analyse, ISO, Merck) ;
- Détergent spécial de laboratoire (Micro) ;
- Eau Milli-Q déionisée (>18 MΩ cm, Millipore).

#### Procédure

- 1) Laisser tremper le matériel toute une nuit dans une solution de savon (Micro 2% dans l'eau du robinet) dans un bac en plastique ;
- 2) Rincer abondamment d'abord avec de l'eau du robinet, puis avec de l'eau Milli-Q ;
- 3) Laisser tremper le matériel dans une solution d'acide nitrique 10% (v/v) pendant au moins 6 jours à température ambiante ;
- 4) Rincer abondamment avec de l'eau Milli-Q (au moins 4 fois) ;
- 5) Mettre le matériel à sécher sous une hotte à flux laminaire ;
- 6) Stocker le matériel dans des sacs en polyéthylène fermés hermétiquement, pour prévenir le risque de contamination.

### 2. Nettoyage du matériel de digestion en Téflon pour la détermination des métaux traces

#### Réactifs

- HNO<sub>3</sub> (65% pour analyse, ISO, Merck) ;
- HCl (25% pour analyses, Merck) ;
- Détergent spécial de laboratoire (Micro) ;
- Eau Milli-Q déionisée (>18 MΩ cm, Millipore).

#### Procédure

- 1) Laisser tremper le matériel (bombes Téflon, Savillex Corp.) toute une nuit dans une solution de savon (Micro 2% dans l'eau du robinet) dans un bac en plastique ;
- 2) Rincer abondamment d'abord avec de l'eau du robinet puis avec de l'eau Milli-Q ;
- 3) Verser 2 ml d'acide nitrique concentré dans chaque bombe, puis les fermer hermétiquement en utilisant une pince ;
- 4) Introduire les bombes dans le four à micro-ondes et chauffer 30 minutes à puissance 50% ;
- 5) Laisser refroidir les bombes puis ouvrir les bombes doucement. Rincer minutieusement les bombes avec de l'eau Milli-Q (au moins 4 fois).

## Annexe 2 (suite)

- 6) Pour les bombes ayant servis à la digestion des sédiments seulement: répéter les étapes (3) à (5) en remplaçant  $\text{HNO}_3$  par  $\text{HCl}$  concentré ;
- 7) Mettre les bombes à sécher sous une hotte à flux laminaire ;
- 8) Une fois sèches les bombes doivent être fermées et rangées dans des sacs en polyéthylène pour prévenir les risques de contamination. Les bombes doivent être séparées selon leur utilisation pour la digestion des sédiments ou des biotas.

### **3. Nettoyage du matériel utilisé pour la détermination du mercure par VGA-AAS; Procédure simplifiée pour le matériel en Téflon et en verre**

#### **Réactifs**

- $\text{HNO}_3$  (65% pour analyse, ISO, Merck) ;
- Détergent spécial de laboratoire (Micro) ;
- Eau Milli-Q déionisée ( $>18 \text{ M}\Omega \text{ cm}$ , Millipore).

#### **Procédure**

- 1) Laisser tremper le matériel (bombes Téflon, Savillex Corp.) toute une nuit dans une solution de savon (Micro 2% dans l'eau du robinet) dans un bac en plastique ;
- 2) Rincer minutieusement avec de l'eau du robinet puis avec de l'eau Milli-Q ;
- 3) Remplir le matériel en verre ou en Téflon avec une solution d'acide nitrique 10% (v/v) ;
- 4) Chauffer à  $60^\circ\text{C}$  pendant 2 jours. Pour les fioles jaugées, les laisser à température ambiante pendant 6 jours ;
- 5) Rincer minutieusement avec de l'eau Milli-Q (au moins 4 fois) ;
- 6) Laisser sécher sous une hotte à flux laminaire ;
- 7) Le matériel est stocké dans des sacs en polyéthylène. Les fioles jaugées sont stockées remplies d'eau Milli-Q.

**NOTE:** Pour le matériel contaminé ajouter une étape de pré-lavage à l'acide nitrique 50% (v/v). Dans ce cas, les étapes 3) à 5) doivent être répétées deux fois, une fois avec une solution d'acide à 50% puis avec une solution d'acide à 10%.

# Annexe 3

## Gammes-étalons pour le dosage des métaux lourds

### Gamme-étalons du Mercure pour la matrice sédiment

Standards	[Hg] (µg/l)	Absorbance
Stand. n° 1	5	0,0188
Stand. n° 2	10	0,0419
Stand. n° 3	20	0,0886

### Gamme-étalons du Mercure pour les matrices biologiques

Standards	[Hg] (µg/l)	Absorbance
Stand. n° 1	5	0,0119
Stand. n° 2	10	0,0395
Stand. n° 3	15	0,0672
Stand. n° 4	25	0,1285
Stand. n° 5	50	0,2654

### Gamme-étalons de l'Aluminium pour la matrice sédiment

Standards	[Al] (mg/l)	Absorbance
Stand. n° 1	5	0,0092
Stand. n° 2	10	0,0188
Stand. n° 3	25	0,0472
Stand. n° 4	50	0,0956

### Gamme-étalons de l'Aluminium pour les matrices biologiques

Standards	[Al] (mg/l)	Absorbance
Stand. n° 1	5	0,0099
Stand. n° 2	10	0,02
Stand. n° 3	25	0,0517
Stand. n° 4	50	0,1079

### Gamme-étalons du Fer pour la matrice sédiment

Standards	[Fe] (mg/l)	Absorbance
Stand. n° 1	1	0,018
Stand. n° 2	2	0,0325
Stand. n° 3	5	0,0767
Stand. n° 4	6	0,0906
Stand. n° 5	7	0,1102

### Gamme-étalons du Fer pour les matrices biologiques

Standards	[Fe] (mg/l)	Absorbance
Stand. n° 1	1	0,0175
Stand. n° 2	2	0,0329
Stand. n° 3	5	0,0789
Stand. n° 4	6	0,0957
Stand. n° 5	7	0,1149

### Gamme-étalons du Cuivre pour la matrice sédiment

Standards	[Cu] (mg/l)	Absorbance
Stand. n° 1	0,5	0,0145
Stand. n° 2	1	0,0327
Stand. n° 3	2	0,0633
Stand. n° 4	3	0,0993
Stand. n° 5	5	0,1543

### Gamme-étalons du Cuivre pour les matrices biologiques

Standards	[Cu] (mg/l)	Absorbance
Stand. n° 1	0,5	0,0145
Stand. n° 2	1	0,0327
Stand. n° 3	2	0,0633
Stand. n° 4	3	0,0993
Stand. n° 5	5	0,1543

# Annexe 3 (suite)

## Gammes-étalons pour le dosage des métaux lourds

### Gamme-étalons du Zinc pour la matrice sédiment

Standards	[Zn] (mg/l)	Absorbance
Stand. n° 1	0,3	0,0449
Stand. n° 2	0,5	0,0716
Stand. n° 3	1	0,1376
Stand. n° 4	1,5	0,2004
Stand. n° 5	2	0,2615

### Gamme-étalons du Zinc pour les matrices biologiques

Standards	[Zn] (mg/l)	Absorbance
Stand. n° 1	0,3	0,0449
Stand. n° 2	0,5	0,0716
Stand. n° 3	1	0,1376
Stand. n° 4	1,5	0,2004
Stand. n° 5	2	0,2615

### Gamme-étalons du Manganèse pour la matrice sédiment

Standards	[Mn] (mg/l)	Absorbance
Stand. n° 1	0,3	0,0134
Stand. n° 2	0,5	0,0237
Stand. n° 3	1	0,0478
Stand. n° 4	1,5	0,0685
Stand. n° 5	2	0,0944

### Gamme-étalons du Manganèse pour les matrices biologiques

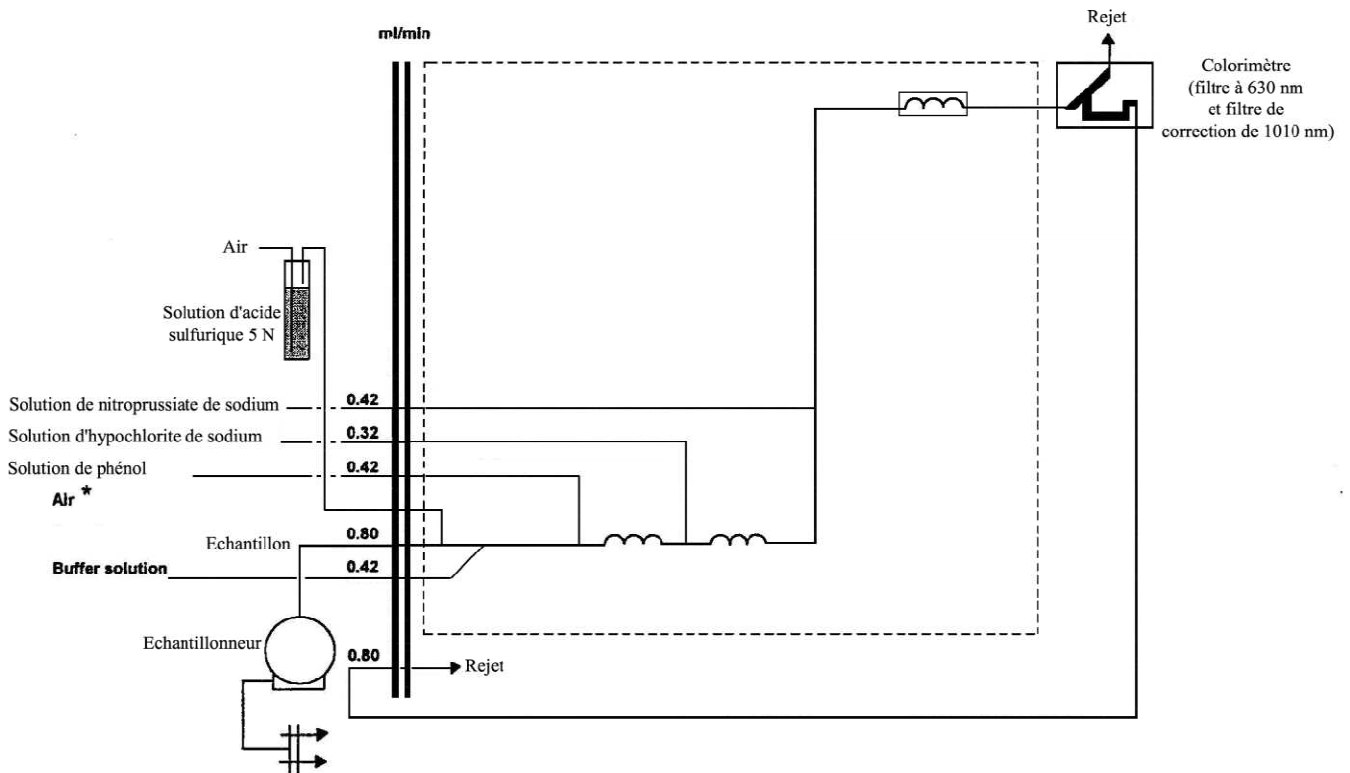
Standards	[Mn] (mg/l)	Absorbance
Stand. n° 1	0,3	0,0134
Stand. n° 2	0,5	0,0237
Stand. n° 3	1	0,0478
Stand. n° 4	1,5	0,0685
Stand. n° 5	2	0,0944

# Annexe 4

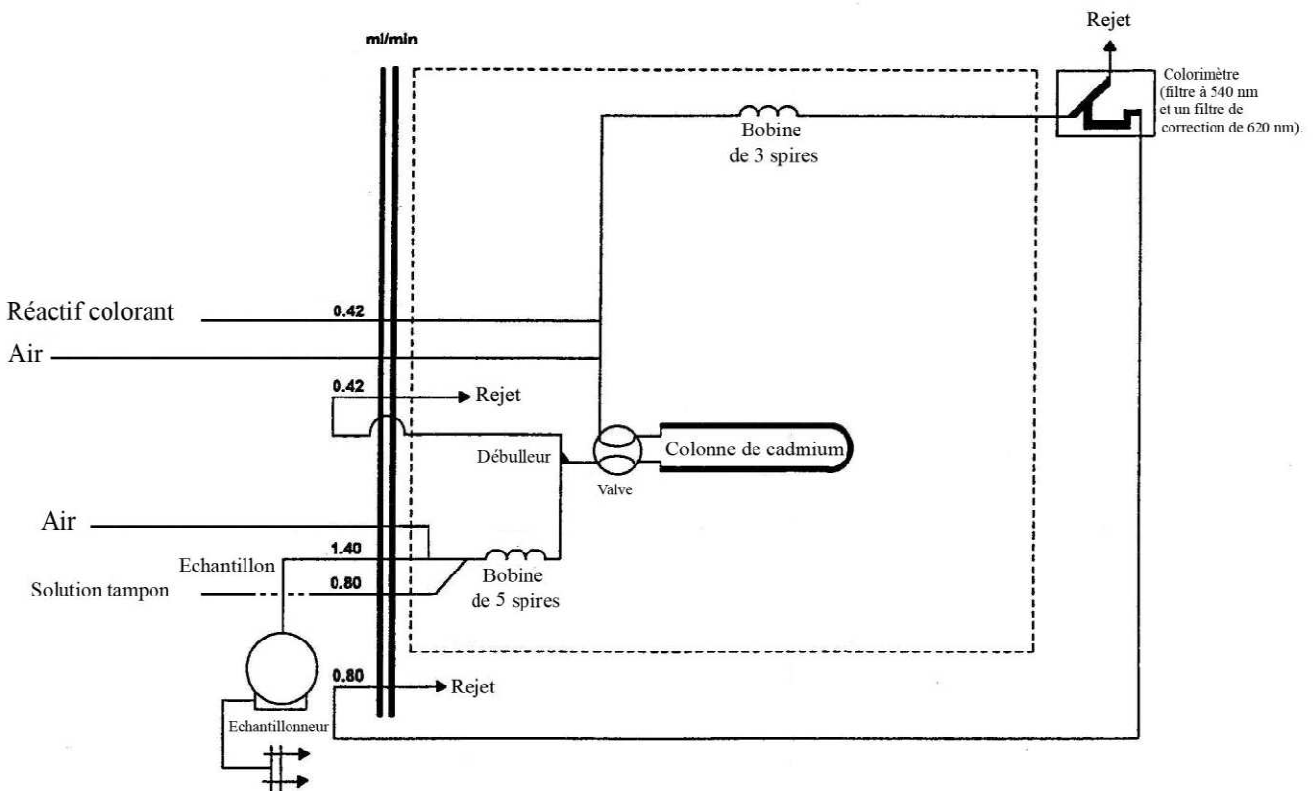
**Application de la méthode NPP, au dénombrement des bactéries :**  
**Table de MC Grady du Nombre le plus probable (NPP)**  
**dans les cas du système de 3 tubes par dilution (Brisou et Denis, 1980) :**

Nombre caractéristique	NPP dans 100 ml	Nombre caractéristique	NPP dans 100 ml	Nombre caractéristique	NPP dans 100 ml
000	0,0	201	1,4	302	6,5
001	0,3	202	2,0	310	4,5
010	0,3	210	1,5	311	7,5
011	0,6	211	2,0	312	11,5
020	0,6	212	3,0	313	16,0
100	0,4	220	2,0	320	9,5
101	0,7	221	3,0	321	15,0
102	1,1	222	3,5	322	20,0
110	0,7	223	4,0	323	30,0
111	1,1	230	3,0	330	25,0
120	1,1	231	3,5	331	45,0
121	1,5	232	4,0	332	110,0
130	1,6	300	2,5	333	140,0
200	0,9	301	4,0	-	-

# Annexe 5

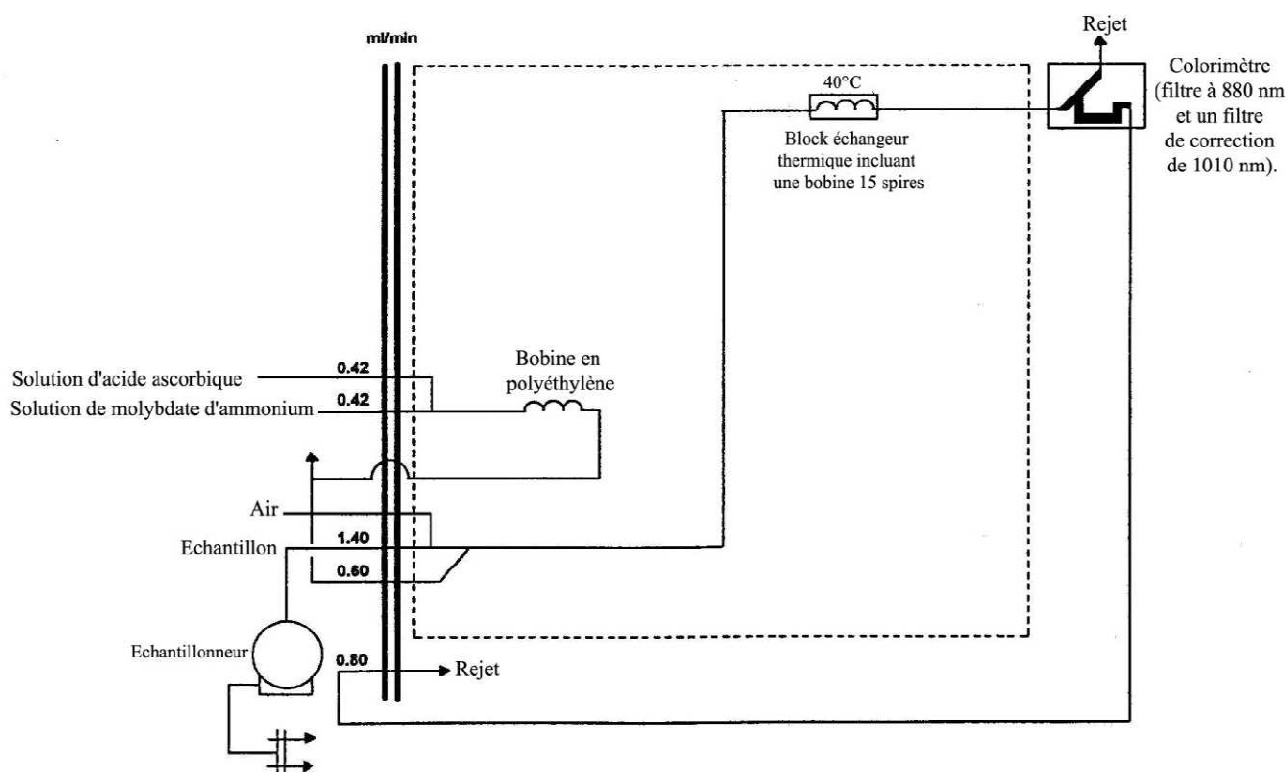


**Circuit analytique pour le dosage de l'ammonium**  
(SKALAR, 1998 in Lourguioui, 2007)

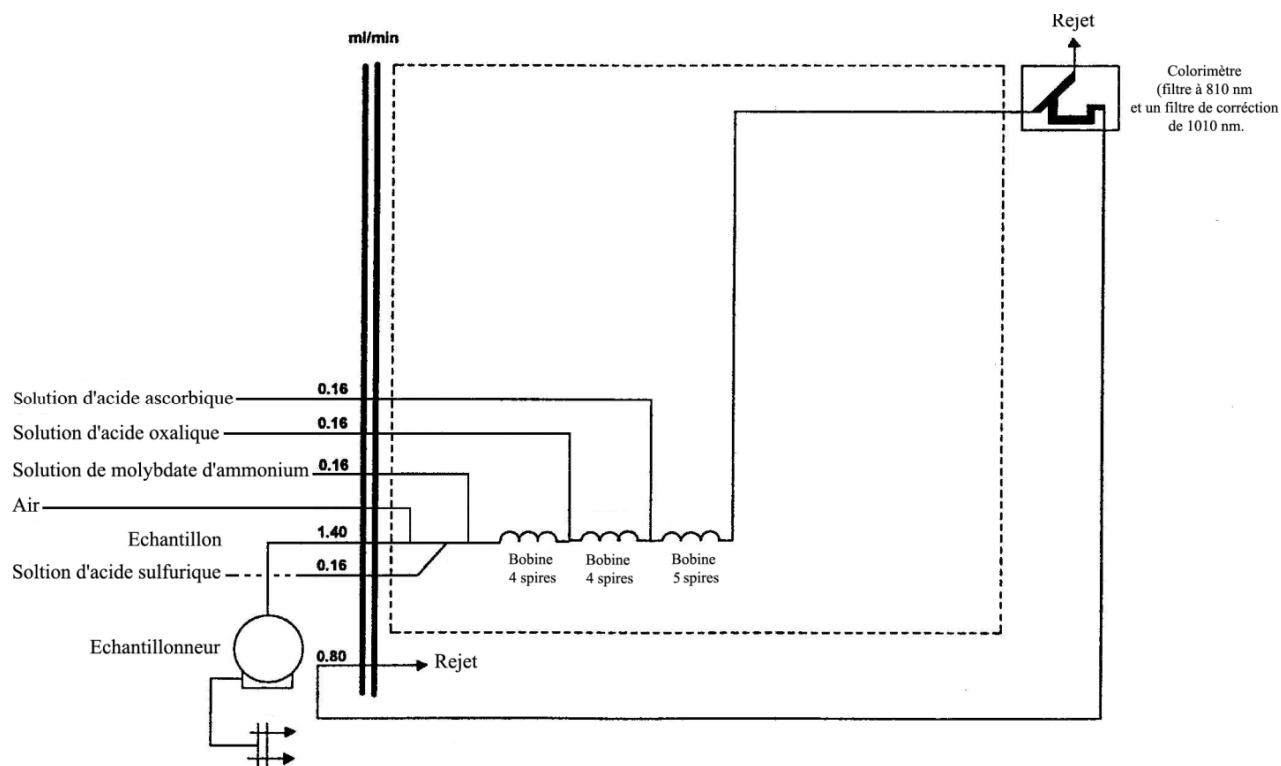


**Circuit analytique pour le dosage des nitrites et nitrates**  
(SKALAR, 1998 in Lourguioui, 2007)

# Annexe 6



**Circuit analytique pour le dosage des orthophosphates (SKALAR, 1998 in Lourguioui, 2007)**



**Circuit analytique pour le dosage du silicium dissout (SKALAR, 1998 in Lourguioui, 2007)**

# Annexe 7

## Dosage de l'ammonium (Lourguioui, 2007)

### 1. Réactifs

#### 1.1. Solution tampon

##### *Produits chimiques exigés :*

Tartrate de potassium et de sodium	
$C_4H_4O_6KNa \cdot 4H_2O$ .....	33 g.
Citrate de sodium $C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$ .....	24 g.
Acidesulfurique $H_2SO_4$ (1N).....	x ml.
Eau distillée $H_2O$ .....	1000 ml.
Brij 35 (30 %).....	2 ml.

##### *Préparation*

Dissoudre le tartrate de potassium et de sodium dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée. Ajouter le citrate de sodium et dissoudre. Ajuster le pH à 5 avec la solution d'acide sulfurique. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le Brij 35 et mélanger.

##### Note :

La solution est stable pendant 1 semaine. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

#### 1.2. Solution de phénol

##### *Produits chimiques exigés :*

Phénol $C_6H_5OH$ .....	6g.
Hydroxyde de sodium NaOH.....	40 g.
Eau distillée $H_2O$ .....	1000 ml.

##### *Préparation*

Dissoudre le phénol dans  $\pm 50$  ml d'eau distillée. Ajouter l'hydroxyde de sodium. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 1 semaine.

#### 1.3. Solution d'hypochlorite de sodium

##### *Produits chimiques exigés :*

Solution d'hypochlorite de sodium NaClO	
(13 % de chlore actif).....	200 ml.
Eau distillée $H_2O$ .....	800 ml.

##### *Préparation*

Diluer la solution d'hypochlorite de sodium dans  $\pm 700$  ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

#### 1.4. Solution de nitroprussiate de sodium

##### *Produits chimiques exigés :*

Nitroprussiate de sodium $Na_2[Fe(CN)_5NO] \cdot 2H_2O$ .....	0,5 g.
Eau distillée $H_2O$ .....	1000 ml.

##### *Préparation*

Dissoudre le nitroprussiate de sodium dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

# Annexe 7 (suite)

## Notes :

Conserver dans une bouteille à couleur sombre. La solution est stable pendant 1 semaine.  
Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

## 1.5. Liquide de rinçage

Eau fraîchement distillée H<sub>2</sub>O.

## 2. Préparation des solutions étalons

### 2.1. Solution mère de 100 ppm N (\*)

*Produits chimiques exigés :*

Chlorure d'ammonium NH <sub>4</sub> Cl.....	0,3819 g.
Eau distillée H <sub>2</sub> O.....	1000 ml.

#### *Préparation*

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 1 mois. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

### 2.2. Solution fille de 10 ppm N

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm N dans 100 ml d'eau distillée.

**Note :** Préparer la solution fille à 10 ppm Si chaque semaine et les standards chaque jour.

(\*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en µmoles/l de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

# Annexe 8

## Dosage des nitrites + nitrates (Lourguioui, 2007)

### 1. Réactifs

#### 1.1. Solution tampon

*Produits chimiques exigés :*

Chlorure d'ammonium $\text{NH}_4\text{Cl}$ .....	50 g.
Solution d'ammonium $\text{NH}_4\text{OH}$ (25 %).....	$\pm 1$ ml.
Hydroxyde de sodium $\text{NaOH}$ .....	5 g.
Eau distillée $\text{H}_2\text{O}$ .....	1000 ml.
Bridj 35 (30 %).....	3 ml.

#### *Préparation*

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans 800 ml d'eau distillée. Ajuster le pH à 8,2 avec la solution d'ammonium. Ajouter l'hydroxyde de sodium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée, ajouter le Bridj 35 et mélanger.

#### Note :

La solution est stable pendant 1 semaine. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

#### 1.2. Réactif colorant

*Produits chimiques exigés :*

Acide o-phosphorique $\text{H}_3\text{PO}_4$ (85 %).....	50 ml.
Sulfanilamide $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$ .....	10 g.
$\alpha$ - Naphthyléthylène diamine dihydrochloride $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$ .....	0,5g.
Eau distillée $\text{H}_2\text{O}$ .....	850 ml.

#### *Préparation*

Diluer l'acide o-phosphorique dans  $\pm 750$  ml d'eau distillée. Ajouter le sulfanilamide et le  $\alpha$ - Naphthyléthylène diamine dihydrochloride et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

Note : La solution est stable pendant 2 semaines. Conserver dans une bouteille à couleur sombre.

#### 1.3. Liquide de rinçage

Eau fraîchement distillée  $\text{H}_2\text{O}$  (régénérée chaque semaine).

### 2. Préparation des solutions étalons

#### 2.1. Solution mère de 100 ppm N (\*)

*Produits chimiques exigés :*

Nitrate de sodium $\text{NaNO}_3$ .....	0,6068 g.
Eau distillée $\text{H}_2\text{O}$ .....	1000 ml.

#### *Préparation*

Dissoudre le nitrate de sodium dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

#### Note :

La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

# Annexe 8 (suite)

## 2.2. Solution fille de 10 ppm N

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm N dans 100 ml d'eau distillée.

**Note :** Préparer la solution fille à 10 ppm chaque semaine et les standards chaque jour.

(\*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en  $\mu\text{moles/l}$  de  $\text{N-NO}_3^-$  ou de  $\text{N-NO}_2^-$  puis en  $\mu\text{moles/l}$  de  $\text{NO}_3^-$  ou de  $\text{NO}_2^-$ .

## 3. Préparation de la colonne réductrice

### 3.1. Solution d'acide chlorhydrique (4N)

*Produits chimiques exigés :*

Acide chlorhydrique HCl (32 %)	400 ml.
Eau distillée H <sub>2</sub> O	600 ml.

**Préparation :** Diluer l'acide chlorhydrique dans 600 ml d'eau distillée.

### 3.2. Cadmium

*Produits chimiques exigés :*

Granules de cadmium taille 0,3-1,0 mm (tamisé)	2,5 g.
--	--------

**Procédure de remplissage :**

- 1- Les granules de cadmium sont mélangées avec  $\pm 30$  ml de la solution d'acide chlorhydrique (4N) ;
- 2- Agiter pendant 1 minute ;
- 3- Ajouter environ 50 ml de solution de sulfate de cuivre et agiter pendant 5 minutes ;
- 4- Laver la saleté entre les granules avec l'eau distillée ;
- 5- Sécher les granules de cadmium ;
- 6- Ajouter, à l'aide d'un entonnoir, les granules dans une colonne sèche, en secouant de temps en temps pour emballer la colonne des deux côtés ;
- 7- Remplir jusqu'à  $\pm 5$  mm du sommet ;
- 8- Placer un petit morceau de tube en polyéthylène, dans la colonne pour éviter que les granules ne sortent de la colonne ;
- 9- Remplir la colonne, à l'aide d'une seringue contenant la solution tampon (réactif 1-1 préparé précédemment) ;
- 10- Placer la colonne dans le système.

**Notes :** Éviter que l'air rentre dans la colonne.

Les granules de cadmium activés peuvent être stockés sec, dans une bouteille bien fermée.

# Annexe 9

## Dosage des phosphates (Lourguioui, 2007)

### 1. Réactifs

#### 1.1. Solution de molybdate d'ammonium

##### Produits chimiques exigés :

Tartrate de potassium et d'antimoine	
$K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 5H_2O$ .....	230 mg.
Acidesulfurique $H_2SO_4$ (97 %).....	69,4 ml.
Molybdated'ammonium $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ .....	6g.
Eau distillée $H_2O$ .....	1000 ml.
FFD6 .....	2 ml.

##### Préparation

Dissoudre le tartrate de potassium et d'antimoine dans  $\pm$  800 ml d'eau distillée. Ajouter soigneusement l'acide sulfurique en mélangeant constamment. Ajouter le molybdate d'ammonium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

##### Notes :

Ne pas employer de cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium. La sensibilité peut être augmentée de 50 % en employant 35 ml d'acide sulfurique concentré au lieu de 69,4 ml. Avec 35 ml l'interférence des silicates est 10 % pour 300 ppb Si et 10 % pour 10 ppb P.

Le pH final doit être inférieur à 1. La solution est stable pendant 5 jours. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

#### 1.2. Solution d'acide ascorbique

##### Produits chimiques exigés :

Acide ascorbique $C_6H_8O_6$ .....	6g.
Acétone $C_3H_6O$ .....	60 ml.
Eau distillée $H_2O$ .....	1000 ml.
FFD6.....	2 ml.

##### Préparation

Dissoudre l'acide ascorbique dans  $\pm$  800 ml d'eau distillée. Ajouter l'acétone. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 5 jours. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

#### 1.3. Liquide de rinçage

Eau fraîchement distillée  $H_2O$  (régénérée chaque semaine).

### 2. Préparation des solutions étalons

#### 2.1. Solution mère de 100 ppm P (\*)

##### Produits chimiques exigés :

Dihydrogène o-phosphate de potassium $KH_2PO_4$ .....	0,4394 g.
Eau distillée $H_2O$ .....	1000 ml.

##### Préparation

Dissoudre le dihydrogène o-phosphate de potassium dans  $\pm$  800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

# Annexe 9 (suite)

**Note :**

La solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

**2.2. Solution fille de 10 ppm P**

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm P dans 100 ml d'eau distillée.

**Note :** Préparer la solution fille à 10 ppm P chaque semaine et les standards chaque jour.

(\*) :Les concentrations des solutions étalons sont transformées en  $\mu\text{moles/l}$  de  $\text{PO}_4^-$ .

# Annexe 10

## Dosage du silicium dissout (Lourguioui, 2007)

### 1. Réactifs

#### 1.1. Solution d'acide sulfurique

*Produits chimiques exigés :*

Acide sulfurique H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (97 %)	10 ml.
Eau distillée H <sub>2</sub> O	1000 ml.
FFD6	2 ml.

*Préparation*

Diluer l'acide sulfurique dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

Note :

La solution est stable pendant 1 semaine. Conserver à 4°C quand la solution n'est pas utilisée.

#### 1.2. Solution de molybdate d'ammonium

*Produits chimiques exigés :*

Molybdate d'ammonium (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O	20g.
Eau distillée H <sub>2</sub> O	1000 ml.
FFD6	2 ml.

*Préparation*

Dissoudre le molybdate d'ammonium dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

Notes :

Conserver dans une bouteille de polyéthylène. La solution est stable pendant 1 jour. Ne pas utiliser de cuillères en métal pour le molybdate d'ammonium.

#### 1.3. Solution d'acide oxalique

*Produits chimiques exigés :*

Acide oxalique C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	44g.
Eau distillée H <sub>2</sub> O	1000 ml.

*Préparation*

Dissoudre l'acide oxalique dans ± 800 ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec l'eau distillée et mélanger.

Note :

Conserver dans une bouteille de polyéthylène. La solution est stable pendant 1 mois. Conserver à 4° C quand la solution n'est pas utilisée.

#### 1.4. Liquide de rinçage

Eau fraîchement distillée H<sub>2</sub>O.

Note :

Changer l'eau quotidiennement. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

# Annexe 10 (suite)

## 2. Préparation des solutions étalons

### 2.1. Solution mère de 100 ppm Si (\*)

*Produits chimiques exigés :*

Métasilicate de sodium $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ .....	1,0119 g.
Eau distillée $\text{H}_2\text{O}$ .....	1000 ml.

#### *Préparation*

Dissoudre le metasilicate de sodium dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée et mélanger.

**Note :** La solution est stable pendant 1 mois. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

### 2.2. Solution fille de 10 ppm Si

Diluer 10 ml de la solution mère à 100 ppm Si dans 100 ml d'eau distillée.

**Notes :** Préparer la solution fille à 10 ppm Si chaque semaine et les standards chaque jour. Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

(\*) : Les concentrations des solutions étalons sont transformées en  $\mu\text{moles/l}$  de  $\text{SiO}_4^-$ .

# Annexe 11

## Gammes-étalons pour le dosage des sels nutritifs

Gamme-étalons de l'ammonium

Standards	Concentration (en $\mu\text{mol}$ )	Hauteur des pics (unité digitale)
Stand. n° 1	0,5	214
Stand. n° 2	1	410
Stand. n° 3	1,5	650
Stand. n° 4	2	876
Stand. n° 5	2,5	1096
Stand. n° 6	5	2200

Gamme-étalons des nitrites

Standards	Concentration (en $\mu\text{mol}$ )	Hauteur des pics (unité digitale)
Stand. n° 1	0,2	488
Stand. n° 2	0,4	968
Stand. n° 3	0,6	1460
Stand. n° 4	0,8	1936
Stand. n° 5	1,2	2940
Stand. n° 6	1,4	3387

Gamme-étalons des nitrites + nitrates

Standards	Concentration (en $\mu\text{mol}$ )	Hauteur des pics (unité digitale)
Stand. n° 1	0,2	198
Stand. n° 2	0,4	390
Stand. n° 3	0,6	595
Stand. n° 4	0,8	790
Stand. n° 5	1,2	1200
Stand. n° 6	2,4	2372

Gamme-étalons des orthophosphates

Standards	Concentration (en $\mu\text{mol}$ )	Hauteur des pics (unité digitale)
Stand. n° 1	0,2	95
Stand. n° 2	0,4	200
Stand. n° 3	0,6	286
Stand. n° 4	0,8	380
Stand. n° 5	1,2	578
Stand. n° 6	1,4	675

Gamme-étalons du silicium dissout

Standards	Concentration (en $\mu\text{mol}$ )	Hauteur des pics (unité digitale)
Stand. n° 1	0,5	41
Stand. n° 2	1	85
Stand. n° 3	1,5	123
Stand. n° 4	2	164
Stand. n° 5	2,5	210
Stand. n° 6	5	411

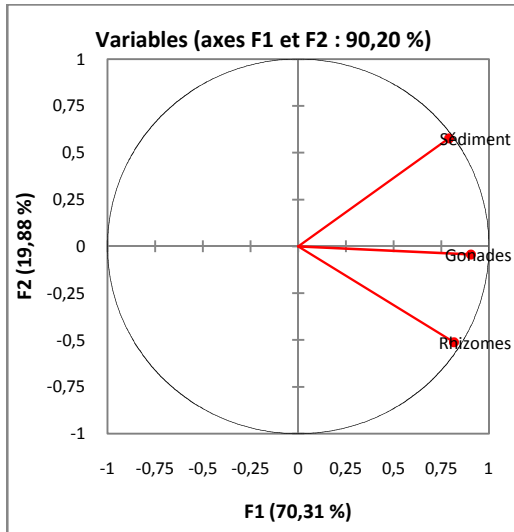
# Annexe 12

## Résultats d'analyse des métaux lourds dans la baie de Bou-Ismaïl (Juillet 2010)

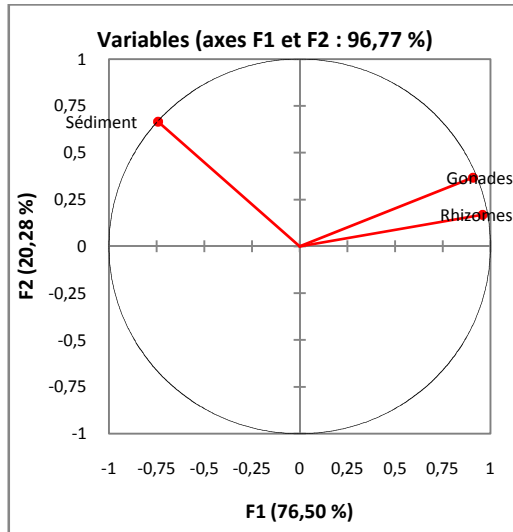
Matrice	Stations	Mercure (Hg) (mg/Kg p.s.)	Aluminium (Al) (g/Kg p.s.)	Fer (Fe) (g/Kg p.s.)	Cuivre (Cu) (g/Kg p.s.)	Zinc (Zn) (g/Kg p.s.)	Manganèse (Mn) (g/Kg p.s.)
Gonades Oursin <i>Paracentrotus lividus</i>	Z1P1	0,040536	0,015124	0,018080	0,007191	0,090349	0,002360
	Z1P3	0,040343	0,015103	0,083446	0,003988	0,046446	0,000227
	Z2P3	0,062934	0,015106	0,044220	0,000796	0,106372	0,000228
	Z2P4	0,083993	0,015127	0,031183	0,007192	0,130367	0,000228
	Z2P9	0,218630	0,015097	0,083413	0,003987	0,066388	0,004485
	Z2P10	0,330343	0,015091	0,044176	0,000796	0,084011	0,002355
	Z2P11	0,062263	0,015067	0,031059	0,007164	0,183480	0,000227
	Z3P3	0,038789	0,015076	0,096351	0,007168	0,078561	0,000227
	Z3P5	0,040641	0,015094	0,057255	0,007176	0,087098	0,000227
Rhizomes <i>Posidonia oceanica</i>	Z1P1	0,017269	0,015112	0,155470	0,010379	0,064917	0,002360
	Z1P3	0,017567	0,015082	0,429420	0,003983	0,037178	0,008733
	Z2P3	0,062909	0,067300	0,142384	0,013573	0,071833	0,000228
	Z2P4	0,370053	0,067005	0,232963	0,010334	0,056217	0,000227
	Z2P9	0,196523	0,223595	1,094794	0,016748	0,064839	0,008740
	Z2P10	0,170635	0,171675	0,338675	0,003991	0,056464	0,008751
	Z2P11	0,105960	0,119440	0,279676	0,013568	0,061050	0,006617
	Z3P3	0,062771	0,171060	0,180991	0,013525	0,038650	0,004473
	Z3P5	0,083419	0,118917	0,973663	0,013509	0,034015	0,004468
Sédiment	Z1P1	0,117122	2,303547	38,317557	0,007161	0,032531	0,235939
	Z1P3	0,097808	3,399162	11,593360	0,003981	0,021830	0,132017
	Z2P3	0,173087	10,163073	33,270485	0,071764	0,540937	2,811492
	Z2P4	0,191588	9,244415	66,211236	0,039876	0,364546	2,131320
	Z2P9	0,173018	13,364622	65,533299	0,167142	0,463258	2,784655
	Z2P10	0,207245	13,849697	140,159099	0,039852	0,563851	2,832209
	Z2P11	0,154521	7,860343	59,998506	0,103709	0,449010	2,450677
	Z3P3	0,183697	13,880154	37,692866	0,103875	0,580473	2,817113
	Z3P5	0,135668	8,753356	28,837005	0,103358	0,302092	2,230205

# Annexe 13

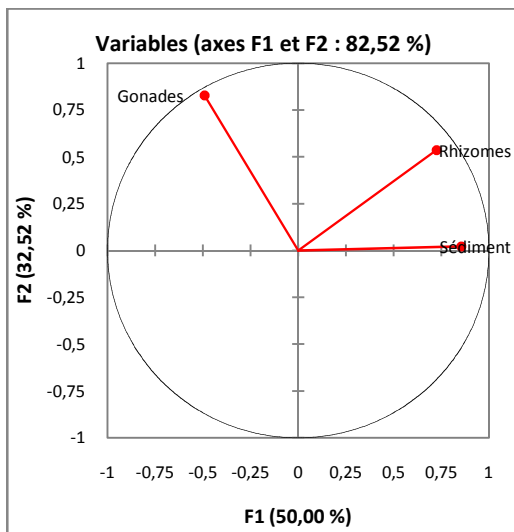
## Cercles de corrélation entre les compartiments pour chaque métal étudié



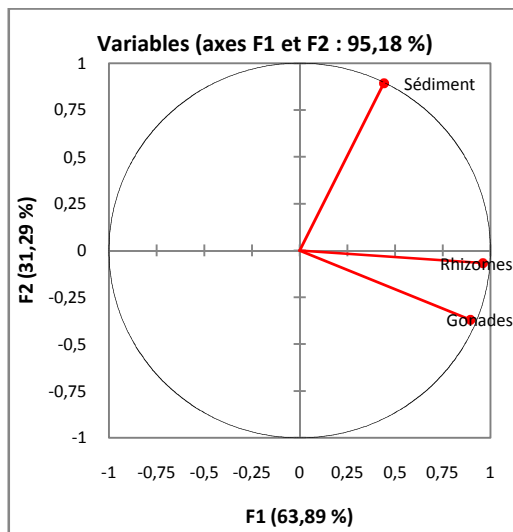
*Mercure*



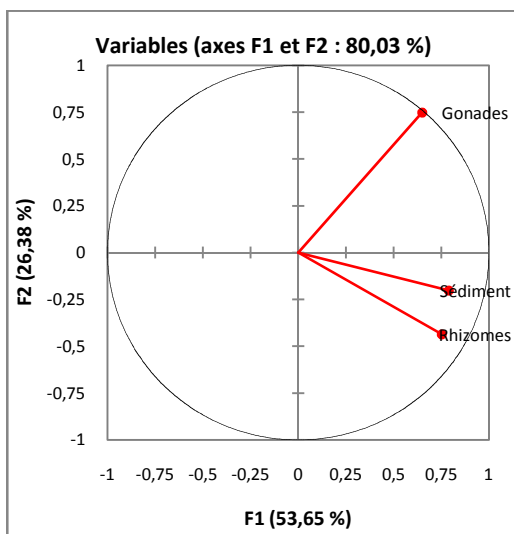
*Aluminium*



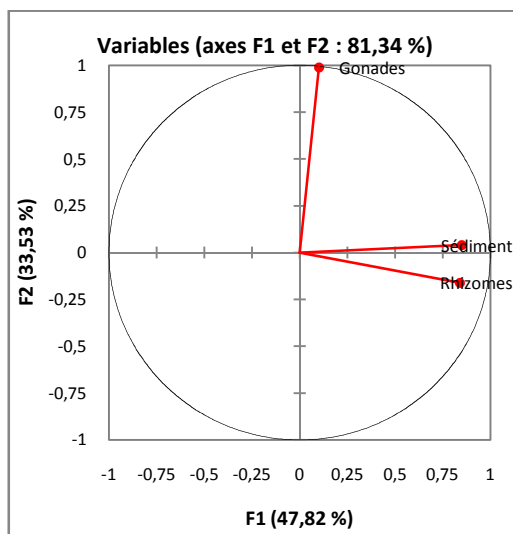
*Fer*



*Cuivre*



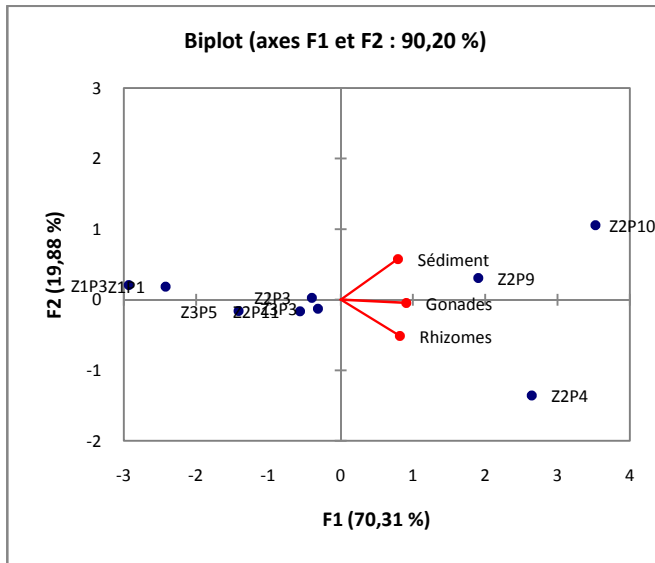
*Zinc*



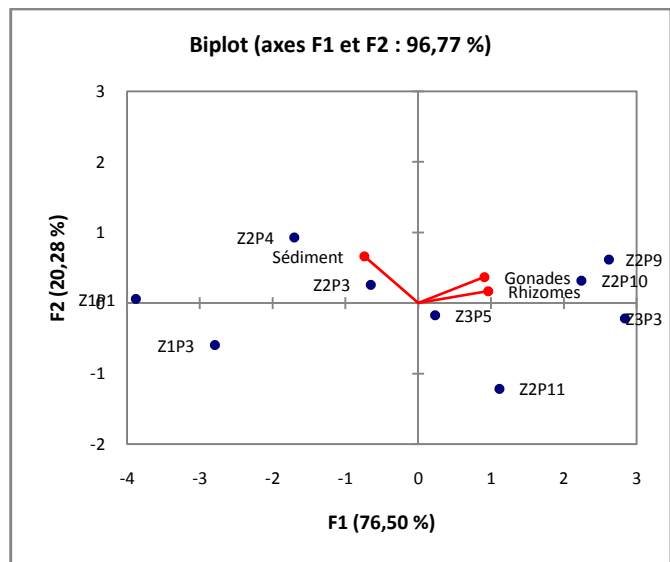
*Manganèse*

# Annexe 14

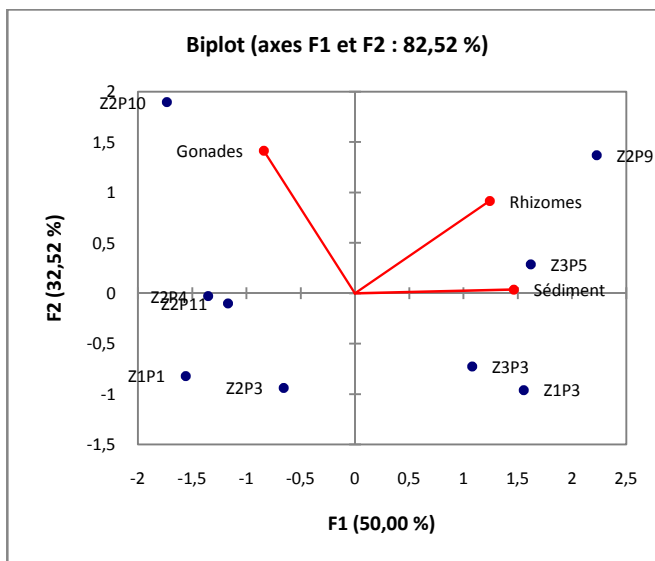
Représentations des 3 compartiments et 9 stations pour chaque métal étudié



<<< **Mercur**



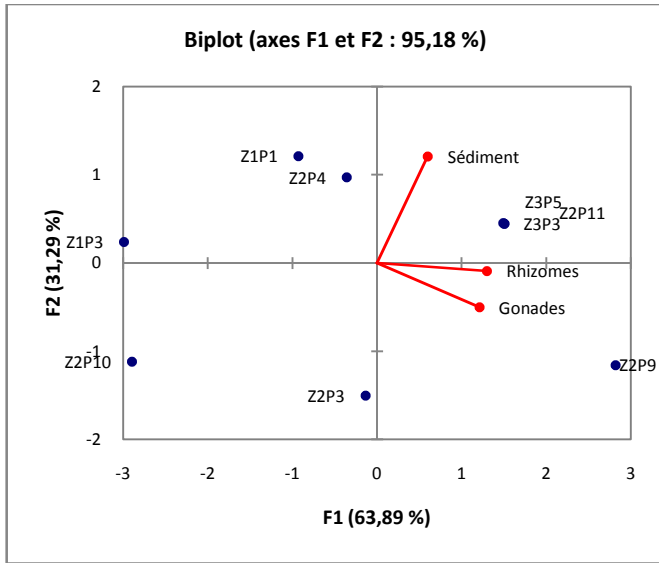
**Aluminium >>>**



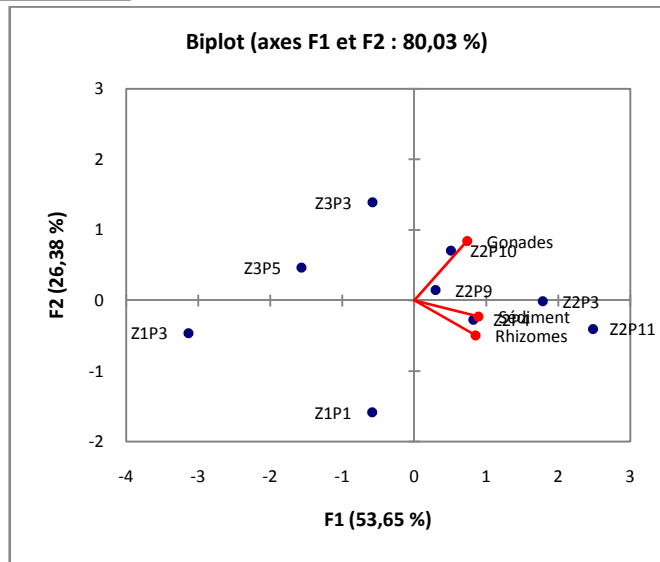
<<< **Fer**

# Annexe 15

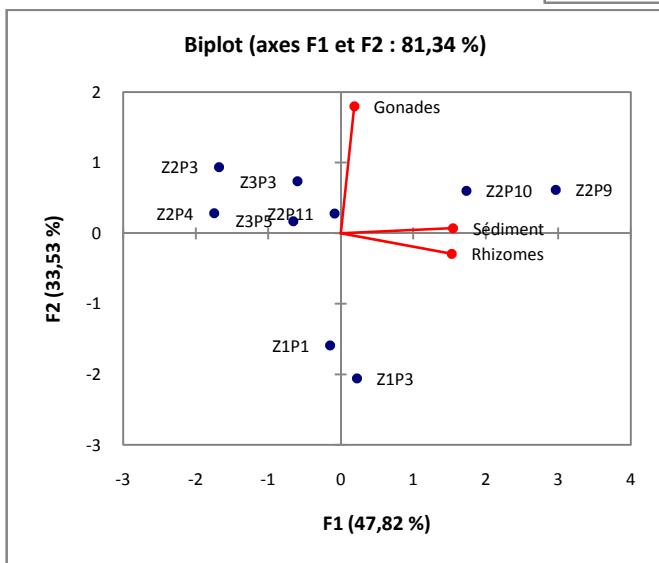
## Représentations des 3 compartiments et 9 stations pour chaque métal étudié



<<< **Cuivre**



**Zinc** >>>



<<< **Manganèse**

# Annexe 16

## Résultats d'analyse des sels nutritifs dans la baie de Bou-Ismaïl (Juin 2010)

Stations	Amonium		Nitrites + Nitrates		Nitrites		Nitrates	Orthophosphates		Silicum dissout	
	[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ] (μmol/l)	Absorbance	[NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ] (μmol/l)	Absorbance	[NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ] (μmol/l)	Absorbance	[NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] (μmol/l)	[PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ] (μmol/l)	Absorbance	[SiO <sub>2</sub> ] (μmol/l)	Absorbance
Z1P1	6,1018	2685	0,0344	34	0,0071	17	0,0273	0,0555	27	0,6818	57
Z1P2	6,0905	2680	0,0384	38	0,0034	8	0,0350	0,0701	34	0,3412	29
Z1P3	6,9686	3068	0,0879	87	0,0067	16	0,0812	0,0930	45	2,3118	191
Z1P4	6,9822	3074	0,0384	38	0,0014	3	0,0371	0,0826	40	0,7305	61
Z1P5	7,8558	3460	0,1929	191	0,0059	14	0,1871	0,1949	94	4,6230	381
Z2P1	6,4367	2833	2,2641	2242	0,8143	1979	1,4498	0,0493	24	11,8485	975
Z2P2	6,7445	2969	1,1260	1115	0,3765	914	0,7495	0,0056	3	4,3432	358
Z2P3	2,4852	1087	1,5784	1563	0,1158	280	1,4626	0,0202	10	57,7559	4749
Z2P4	5,2169	2294	0,3707	367	0,1103	267	0,2603	0,0534	26	1,3022	108
Z2P5	4,0196	1765	0,2354	233	0,0719	174	0,1635	0,0306	15	0,6453	54
Z2P6	27,7064	12231	0,0304	30	0,0293	71	0,0010	12,5041	6013	159,1438	13084
Z2P7	27,0772	11953	3,5830	3548	2,0834	5041	1,4996	12,9345	6220	60,0427	4937
Z2P8	10,3793	4575	0,2747	272	0,0649	157	0,2099	0,2572	124	7,4451	613
Z2P9	8,7565	3858	0,5383	533	0,0595	144	0,4788	0,1553	75	1,3508	112
Z2P10	9,3155	4105	0,2737	271	0,1132	274	0,1605	0,3799	183	0,8764	73
Z2P11	5,2101	2291	0,1697	168	0,0620	150	0,1077	0,0306	15	0,5480	46
Z3P1	6,2625	2756	0,0172	17	0,0140	34	0,0032	0,0327	16	0,2804	24
Z3P2	6,8939	3035	0,0294	29	0,0219	53	0,0075	0,0410	20	1,0832	90
Z3P3	4,6465	2042	0,0374	37	0,0165	40	0,0209	0,0098	5	2,4699	204
Z3P4	3,3180	1455	0,0728	72	0,0116	28	0,0612	0,0056	3	0,3291	28
Z3P5	6,0633	2668	0,0324	32	0,0202	49	0,0121	0,0555	27	0,1831	16
Z3P6	6,1742	2717	0,0566	56	0,0285	69	0,0281	0,0493	24	0,5602	47
Z3P7	4,1124	1806	0,0233	23	0,0153	37	0,0080	0,0015	1	0,3899	33

# Annexe 17

## Normes de salubrité :

*Recommandations relatives aux eaux de baignade  
(adoptées par le conseil de l'Europe : Directive 76/160/CEE du 8 décembre 1975  
Référence pour la saison 2009  
et reprises par le Décret exécutif algérien n°93-164 du 10 Juillet 1993  
Référence pour la saison 2010) :*

		G : Nombre Guide		I : Nombre Impératif	
<b>Coliformes totaux(NPP/100ml)</b>					
		<b>500</b>		<b>10000</b>	
Bon	<b>G</b>	Moyen	<b>I</b>	Mauvais	
<b>Coliformes thermotolérants (NPP/ 100ml)</b>					
		<b>100</b>		<b>2000</b>	
Bon	<b>G</b>	Moyen	<b>I</b>	Mauvais	
<b>Entérocoques(NPP/ 100ml)</b>					
		<b>100</b>			
Bon	<b>G</b>	Moyen			

Qualités	
< G	<b>Bon</b> : Bactériologiquement satisfaisant dans 80% des cas
Entre G et I	<b>Moyen</b> : Situation encore acceptable dans 95% des cas
> I	<b>Mauvais</b> : Seuil de sécurité - ALERTE

*Normes de salubrité pour les eaux de baignade  
concernant Escherichia coli et les Streptocoques fécaux (BRISOU et DENIS, 1980) :*

Qualités	E.coli/100ml	Streptocoques fécaux/100ml
Très bonne	< 50	< 5
Bonne	50 - 200	5 - 20
Moyenne	200 - 1000	20 - 100
Suspecte	1000 - 2000	100 - 200
Dangereuse	> 2000	> 200

# Annexe 18

## Mesures biométriques et observations

Zone 1 : Corne d'Or-CET							
Station : Z1P1 : Plage de la Corne d'Or							
Posidonies				Oursins			
N° Faisceau	Nombre de Feuilles	Longueur Plus Grande Feuille (cm)	Densité des Épiphytes	N° Individu	Diamètre avec piquants	Longueur du plus grand piquant (cm)	Couleur
01	6	60	+++	01	4,7	0,5	Olive
02	6	58	++	02	4,9	0,4	Violet
03	5	65	++B	03	5,4	0,5	Olive
04	5	62	+B	04	5,1	0,6	Violet
05	5	50	+B	05	6	0,8	Olive
06	7	48	+B	06	6,8	0,7	Olive
07	4	45	+B	07	6,5	0,5	Brun
08	4	47	+	08	6,6	0,8	Brun
09	5	45	++	09	7,3	0,5	Violet
10	5	55	++	10	5	0,5	Brun
11	5	45	++B	11	5,2	0,6	Olive
12	7	71	+++B	12	5,3	0,5	Olive
13	6	64	+++	13	6,5	0,7	Violet
14	6	75	+++B	14	6,2	0,5	Violet
15	6	65	+	15	6,4	0,5	Brun
<b>Moyenne</b>	<b>5</b>	<b>57</b>	<b>-</b>	<b>Moyenne</b>	<b>5,86</b>	<b>0,57</b>	<b>-</b>
<b>Min</b>	<b>4</b>	<b>45</b>	<b>-</b>	<b>Min</b>	<b>4,7</b>	<b>0,4</b>	<b>-</b>
<b>Max</b>	<b>7</b>	<b>75</b>	<b>-</b>	<b>Max</b>	<b>7,3</b>	<b>0,8</b>	<b>-</b>
<b>Remarques et observations</b>							
Profondeur : 45-50cm ; ensoleillement important ; fond sableux							
Beaucoup d'oursins avec gonades bien développées ; Feuilles jaunes en apex avec beaucoup d'algues							

Zone 1 : Corne d'Or-CET							
Station : Z1P3 : Fond de baie du CET							
Posidonies				Oursins			
N° Faisceau	Nombre de Feuilles	Longueur Plus Grande Feuille (cm)	Densité des Épiphytes	N° Individu	Diamètre avec piquants	Longueur du plus grand piquant (cm)	Couleur
01	5	15	+BB	01	5,8	0,5	Olive
02	5	15,5	+BB	02	5,5	0,5	Olive
03	5	14,5	+BB	03	6,2	0,7	Brun
04	6	18	+BB	04	5,6	0,5	Violet
05	6	17	+BB	05	5	0,5	Violet
06	5	13	+BB	06	5,2	0,6	Violet
07	5	12,5	+BB	07	5,4	0,5	Olive
08	5	14	+BB	08	5,1	0,6	Olive
09	5	15	+BB	09	4,8	0,5	Olive
10	5	14,5	+BB	10	4,6	0,5	Brun
11	6	18	+BB	11	5,2	0,6	Olive
12	6	15	+BB	12	4,5	0,5	Olive
13	6	14,5	+BB	13	4,2	0,5	Brun
14	5	14	+BB	14	5,3	0,6	Olive
15	5	16	+BB	15	5,5	0,6	Brun
<b>Moyenne</b>	<b>5</b>	<b>15,1</b>	<b>-</b>	<b>Moyenne</b>	<b>5,19</b>	<b>0,55</b>	<b>-</b>
<b>Min</b>	<b>5</b>	<b>12,5</b>	<b>-</b>	<b>Min</b>	<b>4,2</b>	<b>0,5</b>	<b>-</b>
<b>Max</b>	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>Max</b>	<b>6,2</b>	<b>0,7</b>	<b>-</b>
<b>Remarques et observations</b>							
Profondeur : 5-6m ; fond sablo-rocheux							
Gonades peu développées (post ponté)							

# Annexe 18 (suite 1)

Zone 3 : Sidi-Fredj							
Station : Z3P3 : Plage de la Thalassothérapie							
Posidonies				Oursins			
N° Faisceau	Nombre de Feuilles	Longueur Plus Grande Feuille (cm)	Densité des Épiphytes	N° Individu	Diamètre avec piquants	Longueur du plus grand piquant (cm)	Couleur
01	8	57	++B	01	7,6	0,7	Violet
02	8	55	++B	02	7,8	0,9	Violet
03	8	54	++B	03	6,2	0,5	Brun
04	8	52	++B	04	8	0,9	Violet
05	7	58	++B	05	6,7	0,8	Olive
06	7	55,5	++B	06	7,2	0,7	Olive
07	7	56	+B	07	7,8	0,7	Olive
08	8	61	+B	08	6,9	0,5	Brun
09	8	54,5	++B	09	6,8	0,6	Violet
10	7	62	++B	10	7	0,8	Violet
11	7	53,5	++B	11	7,3	0,6	Olive
12	7	53	++B	12	7,9	0,7	Brun
13	7	54,5	++B	13	6,8	0,5	Olive
14	7	55	++B	14	6,5	0,5	Violet
15	8	58	++B	15	6,6	0,5	Violet
<b>Moyenne</b>	<b>7</b>	<b>55,9</b>	<b>-</b>	<b>Moyenne</b>	<b>7,14</b>	<b>0,66</b>	<b>-</b>
<b>Min</b>	<b>7</b>	<b>52</b>	<b>-</b>	<b>Min</b>	<b>6,2</b>	<b>0,5</b>	<b>-</b>
<b>Max</b>	<b>8</b>	<b>62</b>	<b>-</b>	<b>Max</b>	<b>8</b>	<b>0,9</b>	<b>-</b>
<b>Remarques et observations</b>							
Profondeur : 0,9-1m ; fond sableux très biogène							
Abondance des oursins avec gonades très bien développées ; Feuilles jaunes en apex avec beaucoup d'algues et rhizomes orthotropes longs.							

Zone 3 : Sidi-Fredj							
Station : Z3P5 : Plage Ouest							
Posidonies				Oursins			
N° Faisceau	Nombre de Feuilles	Longueur Plus Grande Feuille (cm)	Densité des Épiphytes	N° Individu	Diamètre avec piquants	Longueur du plus grand piquant (cm)	Couleur
01	7	65	++B	01	8,9	1,2	Brun
02	5	45	++B	02	7,4	1,1	Olive
03	7	48	++B	03	7	1,3	Violet
04	6	47,5	++B	04	6,8	1,1	Violet
05	7	72	++BB	05	7,2	1,2	Violet
06	7	73,5	++BB	06	8,3	1,4	Brun
07	5	56	++BB	07	6,9	1,2	Brun
08	5	55,5	++BB	08	7,1	1,4	Roux
09	7	67	++BB	09	6,1	1,2	Violet
10	5	52	++BB	10	6,8	1,1	Brun
11	5	47	++BB	11	7,2	1,2	Violet
12	5	48	++BB	12	6,6	1,4	Violet
13	5	46,5	+B	13	6,4	1,2	Violet
14	5	49	+B	14	6,4	1	Brun
15	5	53	+B	15	7,3	1,1	Violet
<b>Moyenne</b>	<b>6</b>	<b>55,0</b>	<b>-</b>	<b>Moyenne</b>	<b>7,09</b>	<b>1,21</b>	<b>-</b>
<b>Min</b>	<b>5</b>	<b>45</b>	<b>-</b>	<b>Min</b>	<b>6,1</b>	<b>1</b>	<b>-</b>
<b>Max</b>	<b>7</b>	<b>73,5</b>	<b>-</b>	<b>Max</b>	<b>8,9</b>	<b>1,4</b>	<b>-</b>
<b>Remarques et observations</b>							
Profondeur : 1-1,2m ; fond sablo-rocheux							
Gros oursins avec longues pines et gonades très bien développées ; Feuilles très épiphytées							

# Annexe 18 (suite 2)

Zone 2 : Bou-Ismaïl							
Station : Z2P3 : En face 1 <sup>er</sup> rejet (en face CNDPA) – Côté Ouest							
Posidonies				Oursins			
N° Faisceau	Nombre de Feuilles	Longueur Plus Grande Feuille (cm)	Densité des Épiphytes	N° Individu	Diamètre avec piquants	Longueur du plus grand piquant (cm)	Couleur
01	6	55	+B	01	5,9	1	Brun
02	5	38	+B	02	5,4	0,8	Olive
03	6	39	+B	03	6	0,9	Brun
04	5	37,5	+B	04	5,8	1,1	Olive
05	6	40	+B	05	5,2	1,1	Olive
06	6	42	+	06	5,3	1	Brun
07	5	50	+	07	4,9	1,2	Noir
08	5	52	++B	08	4,1	1,1	Noir
09	7	49	+B	09	4,1	0,7	Violet
10	5	48	+B	10	4,8	0,8	Brun
11	5	45	+B	11	5,2	1	Olive
12	5	46	+B	12	4,8	0,7	Violet
13	5	42	+	13	4,2	0,7	Violet
14	6	45	+B	14	4,4	0,8	Brun
15	5	50	+	15	3,9	0,6	Violet
<b>Moyenne</b>	<b>5</b>	<b>45</b>	<b>-</b>	<b>Moyenne</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>-</b>
<b>Min</b>	<b>5</b>	<b>37,5</b>	<b>-</b>	<b>Min</b>	<b>3,9</b>	<b>0,6</b>	<b>-</b>
<b>Max</b>	<b>7</b>	<b>55</b>	<b>-</b>	<b>Max</b>	<b>6</b>	<b>1,2</b>	<b>-</b>
<i>Remarques et observations</i>							

Zone 2 : Bou-Ismaïl							
Station : Z2P4 : En face 1 <sup>er</sup> rejet (en face CNDPA)							
Posidonies				Oursins			
N° Faisceau	Nombre de Feuilles	Longueur Plus Grande Feuille (cm)	Densité des Épiphytes	N° Individu	Diamètre avec piquants	Longueur du plus grand piquant (cm)	Couleur
01	5	56	++	01	4,9	,8	Olive
02	6	48	++	02	4,4	0,9	Brun
03	5	49	+B	03	5,8	0,8	Olive
04	6	53	++	04	6	1	Olive
05	6	44	++B	05	5,4	1,1	Brun
06	5	42	++	06	5,5	1,2	Noir
07	5	49	+	07	4,7	1	Noir
08	6	50	++	08	4,5	1	Noir
09	5	48	+B	09	4,2	0,7	Violet
10	7	55	+	10	4,9	0,9	Noir
11	6	45	++	11	5,3	1	Brun
12	6	46	+++	12	5	0,6	Violet
13	5	42	++	13	4,6	0,9	Noir
14	7	54	++B	14	4,5	0,6	Brun
15	5	46	++	15	5	0,9	Noir
<b>Moyenne</b>	<b>6</b>	<b>48</b>	<b>-</b>	<b>Moyenne</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>-</b>
<b>Min</b>	<b>5</b>	<b>42</b>	<b>-</b>	<b>Min</b>	<b>4,2</b>	<b>0,6</b>	<b>-</b>
<b>Max</b>	<b>7</b>	<b>56</b>	<b>-</b>	<b>Max</b>	<b>6</b>	<b>1,2</b>	<b>-</b>
<i>Remarques et observations</i>							

# Annexe 18 (suite 3)

Zone 2 : Bou-Ismaïl							
Station : Z2P9 : En face 2 <sup>er</sup> rejet							
Posidonies				Oursins			
N° Faisceau	Nombre de Feuilles	Longueur Plus Grande Feuille (cm)	Densité des Épiphytes	N° Individu	Diamètre avec piquants	Longueur du plus grand piquant (cm)	Couleur
01	6	48	+++B	01	5,4	0,4	Brun
02	8	47	+++	02	6	0,5	Olive
03	6	45	+++	03	5,8	0,6	Olive
04	6	42	+++	04	4,2	1	Noir
05	6	41	+++B	05	4,5	1,1	Noir
06	6	43	+++B	06	5,1	0,5	Brun
07	5	43,5	+++	07	5,6	0,6	Brun
08	6	45,5	+++	08	5,3	0,5	Violet
09	8	46	+++B	09	5,2	0,6	Brun
10	6	45	++	10	4,8	0,9	Noir
11	5	42,5	+++	11	5,6	0,6	Brun
12	6	42,5	+++	12	6,8	0,7	Olive
13	6	44	++	13	6,5	0,6	Brun
14	5	43,5	++B	14	6,3	0,5	Violet
15	5	42	+++	15	5	1	Noir
<b>Moyenne</b>	<b>6,0</b>	<b>44</b>	-	<b>Moyenne</b>	<b>5,47</b>	<b>0,67</b>	-
<b>Min</b>	<b>5</b>	<b>41</b>	-	<b>Min</b>	<b>4,2</b>	<b>0,4</b>	-
<b>Max</b>	<b>8</b>	<b>48</b>	-	<b>Max</b>	<b>6,8</b>	<b>1,1</b>	-

**Remarques et observations**  
 Profondeur 6,5-7m ; fond à sable grossier  
 Oursins d'herbier peu abondants mais densité importante sur le fond sablo-rocheux à faible profondeur (1-3m) ;  
 Feuilles de posidonie très épiphytées (blanchâtres) et peu broutées

Zone 2 : Bou-Ismaïl							
Station : Z2P10 : En face 2 <sup>er</sup> rejet – Côté Est							
Posidonies				Oursins			
N° Faisceau	Nombre de Feuilles	Longueur Plus Grande Feuille (cm)	Densité des Épiphytes	N° Individu	Diamètre avec piquants	Longueur du plus grand piquant (cm)	Couleur
01	5	32	+++B	01	6,3	0,6	Violet
02	5	31,5	+++	02	6,9	0,6	Olive
03	5	31	+++B	03	6,8	0,8	Violet
04	5	31	+++	04	6,5	1,3	Noir
05	5	32	+++B	05	7,2	0,6	Violet
06	5	30	+++	06	6,4	0,7	Brun
07	4	29	+++	07	7	1,4	Noir
08	5	25	++	08	6,4	0,6	Olive
09	5	23	++B	09	7	0,5	Olive
10	5	20,5	+++	10	5,1	0,5	Violet
11	4	18,5	+++	11	8	0,6	Olive
12	5	24	+++B	12	7,4	0,7	Brun
13	5	26	++	13	5,2	0,9	Olive
14	5	21,5	++B	14	4,8	0,8	Brun
15	5	23	+++	15	4,9	1	Noir
<b>Moyenne</b>	<b>4,9</b>	<b>27</b>	-	<b>Moyenne</b>	<b>6,39</b>	<b>0,77</b>	-
<b>Min</b>	<b>4</b>	<b>18,5</b>	-	<b>Min</b>	<b>4,8</b>	<b>0,5</b>	-
<b>Max</b>	<b>5</b>	<b>32</b>	-	<b>Max</b>	<b>8</b>	<b>1,4</b>	-

**Remarques et observations**  
 Profondeur 7-7,5m ; Fond à sable grossier  
 Oursins d'herbier peu abondants mais gros et feuilles de posidonie très épiphytées (blanchâtres) et peu broutées avec algues sur les rhizomes

# Annexe 18 (suite 4)

<b>Zone 2 : Bou-Ismaïl</b>							
<b>Station : Z2P11 : Entre les deux rejets</b>							
<b>Posidonies</b>				<b>Oursins</b>			
N° Faisceau	Nombre de Feuilles	Longueur Plus Grande Feuille (cm)	Densité des Épiphytes	N° Individu	Diamètre avec piquants	Longueur du plus grand piquant (cm)	Couleur
01	5	25	++	01	5,3	0,5	Brun
02	5	24	+++B	02	4,9	0,5	Olive
03	4	21	++	03	4,8	0,6	Olive
04	4	20,5	+++B	04	4,5	0,5	Violet
05	5	21	++	05	4,2	0,9	Noir
06	5	22	+++	06	3,5	0,4	Brun
07	5	23	+++	07	4	0,5	Violet
08	5	29	++	08	4,2	0,6	Brun
09	6	32	++	09	4,5	0,5	Olive
10	5	31	++	10	5,1	0,8	Noir
11	5	30,5	+++B	11	4,2	0,6	Brun
12	5	32	++	12	3,6	0,6	Olive
13	5	32	++B	13	5,2	1	Noir
14	6	31	+++	14	4,7	0,5	Violet
15	5	30	++	15	4,1	0,5	Olive
<b>Moyenne</b>	<b>5,0</b>	<b>27</b>	<b>-</b>	<b>Moyenne</b>	<b>4,45</b>	<b>0,60</b>	<b>-</b>
<b>Min</b>	<b>4</b>	<b>20,5</b>	<b>-</b>	<b>Min</b>	<b>3,5</b>	<b>0,4</b>	<b>-</b>
<b>Max</b>	<b>6</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>Max</b>	<b>5,3</b>	<b>1</b>	<b>-</b>
<b>Remarques et observations</b>							
Profondeur 7-8m ; fond sable grossier							
Oursins d'herbier très peu abondants et petites feuilles de posidonie très épiphytées (blanchâtres) et peu broutées							