

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn  
Badis-Mostaganem  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس  
مستغانم  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE LAQUACULTURE

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**CHENINE OUASSIM**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE**

Spécialité: -**BIO-RESSOURCES MARINES**

**THÈME**

*Le biomimétisme des espèces marines en industrie innovatrice*

DEVANT LE JURY

Président	Dr. BEKADA	MCA	U. Mostaganem
Encadreur	Dr. AIT MOHAMED AMER	MCB	U. Mostaganem
Examineur	Dr. BELBACHIR	MCA	U. Mostaganem

*Année universitaire 2023/2024*

## *Remerciements*

Au terme de ce travail, je remercie Dieu, le Tout-Puissant, de m'avoir donné la force et le courage nécessaires pour mener à bien ce projet.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrante, Madame Ait Mohamed Amer, pour ses encouragements constants et pour la générosité avec laquelle elle a partagé son savoir et son expertise.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation, pour leurs enseignements et leur soutien tout au long de mon parcours académique.

Ma gratitude s'étend aux membres du jury, Dr. Bekada et Dr. Belbachir, pour avoir consacré de leur temps précieux à évaluer et à apprécier ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance infinie envers ma famille pour leur soutien inconditionnel, leurs encouragements constants et leur compréhension durant les périodes d'intense concentration sur ce projet de fin d'études.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué de quelque manière que ce soit à l'élaboration de ce travail.

Merci infiniment.

## *Dédicace*

À mon frère Ihab, Tu es l'incarnation de l'inspiration et de la motivation dans ma vie. C'est grâce à toi que cette idée et ce projet ont pris forme. Ta vision et ton soutien indéfectible ont été la boussole qui a guidé mes pas à travers ce voyage.

À mon frère Djamel, Tu as été bien plus qu'un frère pour moi. Tu as été un père, un mentor et un roc solide. Ta présence et ton soutien inconditionnel ont été le pilier sur lequel je me suis appuyé. Merci d'avoir toujours cru en moi.

À mes cousins, mes jeunes frères et sœurs, et à toute ma famille, Vous êtes ma source d'inspiration constante et mon moteur de créativité. Chacun de vous m'inspire à donner le meilleur de moi-même. Merci pour votre soutien inébranlable et votre amour sans limite.

À mes chers parents, Vous avez vécu chaque moment avec moi et m'avez soutenu avec une générosité sans pareille. Votre dévouement et votre sacrifice ont été le vent qui a gonflé mes voiles. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À mon encadrante, Madame Ait Mohamed Amer, Votre soutien et vos conseils ont été d'une valeur inestimable. Merci pour votre présence précieuse.

À mon ami Larbi Arezki, Ton aide inconditionnelle a été l'énergie électrique qui a fait avancer ce projet. Je ne serais pas arrivé ici sans toi. Merci pour tout ce que tu as fait.

Avec une profonde gratitude et reconnaissance,

Chenine Ouassim

# Table des matières

<b>I - CHAPITRE I .....</b>	<b>3</b>
<b>I - La pollution marine.....</b>	<b>3</b>
<b>II - Surveillance De La Qualité Des Eaux.....</b>	<b>3</b>
II.1 Qualité Physico-Chimique Et Chimique Des Eaux.....	3
II.1.1 TEMPÉRATURE.....	3
II.1.2 TURBIDITÉ.....	4
II.1.3 CONDUCTIVITE.....	4
II-1-4 PH.....	5
II.1.5 DURETÉ.....	5
II.1.6 L'OXYGÈNE DISSOUS.....	5
II.1.7 LA SALINITE.....	6
<b>III - Sources De Pollution Marine</b>	
III.1 Les Polluants Dans Le Milieu Marin.....	6
III.2 Origine Des Polluants.....	8
III.A Déchets Industriels.....	8
III.B Déversements D'hydrocarbures.....	10
III.C Pollution Plastique.....	12
III.C.1 Impacts Des Plastiques Dans L'océan.....	13
III.3. Type de pollution plastique.....	14
III.3.1 Macroplastiques.....	14
III.3.2 Microplastiques.....	14
III.D Ruissellement Agricole.....	15
III.E Rejets opérationnels.....	16
III.F Polluants organiques biodégradables.....	16
III.G Nutriments.....	18
III.H Solides en suspension et sédimentation.....	18
III. I Métaux lourds.....	19

<b>II – Chapitre II.....</b>	<b>21</b>
<b>I - Morphologie Et Fonction Des Éponges De Mer.....</b>	<b>21</b>
<b>II - Travail D'une Éponge.....</b>	<b>23</b>
<b>III - Alimentation Des Éponges.....</b>	<b>24</b>
<b>IV - Types D'éponges De Mer.....</b>	<b>25</b>
IV.1 Éponge Tubulaire.....	25
IV.2 Éponge vase.....	26
IV.3 Éponge d'ascidie de mer.....	27
IV.4 Éponge à tunicier peinte.....	27
IV.5 Éponge arboricole rouge vif.....	28
IV.6 Éponge jaune.....	28
IV.7 Éponge géante.....	29
<b>V - Inspiration Biologique Des Éponges De Mer Pour Les Matériaux</b>	
<b>Composites Avancés .....</b>	<b>30</b>
<b>III – CHAPITRE III.....</b>	<b>31</b>
<b>I – Arduino.....</b>	<b>31</b>
<b>II – Matériel.....</b>	<b>31</b>
II.1 Arduino Uno.....	31
II.2 Arduino Mega.....	31
II.3 Arduino Nano.....	32
II.4 Arduino Due.....	32
<b>III - Logiciel D'arduino.....</b>	<b>32</b>
<b>IV - Langage De Programmation Arduino.....</b>	<b>32</b>
<b>V - Introduction Aux Ph-Mètres Et Aux Capteurs De Température.....</b>	<b>33</b>
1.Composants du pH-mètre.....	33
2. Capteurs de temperature.....	33

## **IV – CHAPITRE IV.....34**

I-1- Caractéristiques physique de la côte de Mostaganem ..	34
I.1.1-Hydrodynamisme.....	35
I.1.2- Climat.....	35
I.1.3- Salinité.....	35
I.1.4-Vents.....	36
I.2-Choix des stations d'étude.....	36
I.2.1- Stidia .....	36
I.2.2- Salamandre .....	37
I.2.3- Sidi Madjdoub (Matarba).....	38
I.2.4- Sidi Lakhdar .....	38

## **V – CHAPITRE V.....39**

Méthodologie.....	39
Partie 1.....	39
2-Affiner le modèle.....	41
3-Réalisation du modèle.....	41
Partie 2.....	44
Paramètre physico-chmique de l'eau de Mer.....	44
1-Collecte des échantillons.....	44
2-Dispositif de détection de pollution.....	44
3-Points de prélèvement.....	45
3-Mesure.....	46
-Mesures in site.....	46
-Procédure.....	46

<b>VI – CHAPITRE VI.....</b>	<b>48</b>
<b>I- Fonctionnement et Fiabilité de l'Appareil de mesure des paramètres physico-chimique.....</b>	<b>48</b>
1-1 Performance du Capteur Multiparamètre.....	48
1-2 Mécanisme de Détection de la Pollution.....	48
1-3 Résultats des Tests de Terrain.....	49
1. Stidia.....	49
Analyse.....	49
2. Salamandre.....	49
Analyse.....	49
3. Sidi Mejdoub.....	50
Analyse.....	50
4. Sidi Lakhdar.....	50
Analyse.....	50
1.5 Applications Potentielles et Impact.....	51
Surveillance Environnementale.....	51
Aquaculture et Pêcheries.....	51
Efforts de Conservation.....	51
II- Avantages Structurels et Aptitude à Servir de Habitat.....	51
II- 1 Conception Structurelle et Résistance à l'Eau.....	51
II-2 Habitat pour la Vie Marine.....	51
<b>Conclusion.....</b>	<b>53</b>
<b>References Bibliographic.....</b>	<b>54</b>

## Liste des Figures

<b>Figure 1:</b> Causes et conséquences de la pollution marine.....	7
<b>Figure 2:</b> Classement selon les propriétés du déchet.....	9
<b>Figure 3 :</b> La scène de la marée noire dans les eaux autour de l'île maurice après un vraquier japonais.....	11
<b>Figure 4 :</b> Processus de flottation : particules en suspension remontées à la surface pour être éliminées, clarifiant l'eau dans la partie inférieure.....	19
<b>Figure 5:</b> Métaux traces.....	20
<b>Figure 6 :</b> l'éponge phylum Porifera.....	23
<b>Figure 7 :</b> Mode d'alimentation des éponges.....	24
<b>Figure 8 :</b> éponge Glass.....	25
<b>Figure 9 :</b> éponge Barrel.....	25
<b>Figure 10 :</b> Eponge vase <i>Ircinia campana</i> .....	26
<b>Figure 11 :</b> L'ascidie commune <i>Didemnum mole</i> .....	27
<b>Figure 12 :</b> Éponge à tunicier peinte <i>Clavelina picta</i> .....	27
<b>Figure 13 :</b> Éponge arboricole rouge vif <i>Haliclona compressa</i> .....	28
<b>Figure 14 :</b> Éponge jaune.....	29
<b>Figure 15 :</b> Éponge géante.....	29
<b>Figure 16 :</b> éponges siliceuses des grands fonds des îles hawaïennes.....	30
<b>Figure 17 :</b> Arduino Uno.....	31
<b>Figure 18 :</b> Arduino Mega.....	31
<b>Figure 19 :</b> Arduino Nano.....	32
<b>Figure 20 :</b> Arduino Due.....	32
<b>Figure 21 :</b> Localisation de la zone d'étude.....	34
<b>Figure 22 :</b> Site de prélèvement Stidia.....	36
<b>Figure 23 :</b> Site de prélèvement Salamandre.....	37
<b>Figure 24 :</b> Site de prélèvement Sidi Majdoub.....	38
<b>Figure 25 :</b> Site de prélèvement de Sidi Lakhdar.....	38
<b>Figure 26 :</b> Forme de base d'une éponge de Mer.....	39
<b>Figure 27 :</b> Modèle 3D représentant le modèle de lotissement du projet.....	40

<b>Figure 28</b> : ajustement des nœuds par Blender.....	40
<b>Figure 29</b> : Structure avec ombrage défini.....	41
<b>Figure 30</b> : Structure à partir d'un ballon couvert de papier journal.....	41
<b>Figure 31</b> : Résultat après éclatement de balle.....	42
<b>Figure 32</b> : Pâte de papier Journal et colle blanche.....	42
<b>Figure 34</b> : Structure après découpe.....	43
<b>Figure 35</b> : habillage de la structure d'un ciment blanc résistant.....	43
<b>Figure 36</b> : mise en aquarium de la structure.....	44
<b>Figure 36</b> : Système d'éclairage.....	45
<b>Figure 37</b> : Flacons de prélèvement stériles d'eau de Mer.....	45
<b>Figure 38</b> : Site de Stidia.....	45
<b>Figure39</b> : Sidi Mejdoub.....	45
<b>Figure 40</b> : Sidi Lakhdar.....	46
<b>Figure 41</b> : Salamandre.....	46
<b>Figure 42</b> : mesures in situ.....	46

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1:</b> Exemple de déchets dangereux produits par les industries et les entreprises...	9
<b>Tableau 2:</b> Tableau Microorganismes et leur capacité de biodegradation.....	15
<b>Tableau 3:</b> Tableau de demande biochimique en oxygène (DBO) de divers polluants organiques biodégradables.....	17
<b>Tableau 4 :</b> Valeurs des prises au niveau de stidia à différentes profondeurs.....	49
<b>Tableau 5:</b> Valeurs des prises au niveau de Salamandre à différentes profondeurs.....	49
<b>Tableau 6 :</b> Valeurs des prises au niveau de Sidi Mejdoub à différentes profondeurs.....	50
<b>Tableau 7 :</b> Valeurs des prises au niveau de Sidi Lakhdar à différentes profondeurs.....	50

## ***Résumé***

La prise de conscience en matière de lutte contre la pollution marine est relativement récente. Dans un premier temps L'environnement marin et côtier algérien est très riche en ressources naturelles. Il offre d'importantes opportunités aux populations côtières en termes de moyens de subsistance. Toutefois cet environnement se trouve confronté à de nombreux problèmes: l'érosion côtière, la surexploitation des ressources biologiques et abiotiques, la pollution marine et côtière. Ainsi, le défi principal du pays est d'assurer la conservation optimale de cet environnement. C'est dans ce sens que se tourne notre projet, qui développe un dispositif innovant inspiré des éponges de mer pour créer un environnement artificiel pour les créatures marines. Utilisant des technologies de conception 3D de pointe et un processus de sédimentation de calcaire, il offre une structure semi-naturelle et durable. Le dispositif intègre un détecteur de pollution, pour mesurer des variables comme le pH et la température, avec un système lumineux simple (vert pour propre, rouge pour pollué). Son design et ses éclairages sous-marins ajoutent une dimension visuelle attrayant. Ce projet combine biomimétisme et innovations technologiques pour améliorer la surveillance et la préservation des écosystèmes marins.

**Mots clés:** Biomimétisme, éponge de mer, surveillance, préservation.

## *Summary*

Awareness of the fight against marine pollution is relatively recent. First of all, the Algerian marine and coastal environment is very rich in natural resources. It offers significant opportunities for coastal populations in terms of livelihoods. However, this environment is confronted with many problems: coastal erosion, overexploitation of biological and abiotic resources, marine and coastal pollution. Thus, the country's main challenge is to ensure the optimal conservation of this environment. This is the direction of our project, which is developing an innovative device inspired by sea sponges to create an artificial environment for sea creatures. Using state-of-the-art 3D design technologies and a limestone sedimentation process, it offers a semi-natural and durable structure. The device incorporates a pollution detector, to measure variables such as pH and temperature, with a simple light system (green for clean, red for polluted). Its design and underwater lighting add an attractive visual dimension. This project combines biomimicry and technological innovations to improve the monitoring and preservation of marine ecosystems.

Keywords: Biomimicry, sea sponge, monitoring, preservation.

## ملخص

التوعية بشأن مكافحة التلوث البحري حديثة نسبيًا. في البداية، البيئة البحرية والساحلية الجزائرية غنية جدًا بالموارد الطبيعية. توفر فرصًا هامة للسكان الساحليين من حيث سبل العيش. ومع ذلك، تواجه هذه البيئة العديد من المشاكل: التآكل الساحلي، الاستغلال المفرط للموارد البيولوجية وغير البيولوجية، التلوث البحري والساحلي. وبالتالي، التحدي الرئيسي للبلد هو ضمان الحفاظ الأمثل لهذه البيئة. في هذا السياق، يتجه مشروعنا، الذي يطور جهازًا مبتكرًا مستوحى من إسفنج البحر لإنشاء بيئة اصطناعية للمخلوقات البحرية باستخدام تقنيات التصميم ثلاثي الأبعاد المتقدمة وعملية ترسيب الكالسيوم، يوفر هيكلًا شبه طبيعي ومستدام. يدمج الجهاز كاشفًا للتلوث لقياس المتغيرات مثل درجة الحموضة ودرجة الحرارة، مع نظام إضاءة بسيط (أخضر للتنظيف، أحمر للتلوث). يضيف تصميمه وإضاءاته تحت الماء بُعدًا بصريًا جذابًا. يجمع هذا المشروع بين المحاكاة الحيوية والابتكارات التكنولوجية لتحسين مراقبة وحفظ النظم البيئية البحرية.

كلمات مفتاحية: المحاكاة الحيوية، إسفنج البحر، المراقبة، الحفاظ.

---

# *Introduction*

---

## ***Introduction***

La totalité des écosystèmes de la planète sont désormais affectés d'une façon ou d'une autre par le développement des sociétés humaines et les différents rejets pouvant mener à de hauts niveaux de pollution dans les écosystèmes marins côtiers (Smolders *et al.*, 2003 ; Rao *et al.*, 2007; D'Adamo *et al.*, 2008). Ces rejets d'origine urbaine, agricole et industrielle altèrent les communautés et affectent les organismes qui les composent (Boening, 1999; Viaroli *et al.*, 2005; Warwick, 2005).

Le littoral algérien n'échappe pas à cette constatation, connu comme une partie de la Méditerranée qui regroupe un large éventail d'habitats et la biodiversité marine algérienne est considérée parmi les plus élevées du bassin méditerranéen.

Dans le cadre de notre engagement envers l'innovation environnementale et la protection des écosystèmes marins, nous avons développé un dispositif révolutionnaire conçu pour servir d'environnement artificiel pour les créatures marines.

Notre projet s'appuie sur les principes du biomimétisme, en reproduisant la structure complexe et robuste des éponges de mer. Ces organismes, connus pour leur capacité à survivre dans les conditions les plus difficiles des océans profonds, offrent un modèle idéal pour concevoir un dispositif capable de résister aux dynamiques marines. Grâce à l'utilisation de technologies de conception 3D de pointe, nous avons pu créer une structure solide et stable qui peut résister aux vagues marines tout en offrant un habitat nourricier pour la vie marine.

L'une des innovations clés de notre dispositif est le processus de sédimentation du calcaire, qui permet de créer une structure semi-naturelle. Ce processus imite les conditions naturelles de formation des récifs coralliens, offrant ainsi un environnement plus authentique pour les créatures marines. En intégrant des matériaux biocompatibles et respectueux de l'environnement, nous nous assurons que notre dispositif s'harmonise avec les écosystèmes aquatiques, minimisant ainsi son impact écologique.

En plus de sa fonction d'habitat, le dispositif est équipé d'un détecteur de pollution intégré, conçu pour fournir des mesures précises des variables environnementales essentielles telles que le pH, la température, facilitant ainsi une meilleure compréhension des environnements marins. Pour rendre ces informations accessibles à un public non scientifique, notre dispositif est équipé d'un système lumineux simple et efficace : une lumière verte indique une eau propre, tandis qu'une lumière rouge signale une pollution, permettant à tous de comprendre facilement l'état de l'eau.

Notre manuscrit sera composé de six chapitres à savoir :

- La pollution marine
- Les éponges de mer
- Matériels électronique
- Zone d'étude
- Matériels et méthodes
- Résultats et discussion

Et on finira par une conclusion.

---

**CHAPITRE I :**  
**POLLUTION MARINE**

---

## **I- La pollution marine:**

La pollution marine est définie comme l'introduction directe ou indirecte de déchets, de substances, ou d'énergie, y compris de sources sonores sous-marines d'origine humaine, qui entraîne ou qui est susceptible d'entraîner des effets nuisibles pour les ressources vivantes et les écosystèmes marins, avec pour conséquence, un appauvrissement de la biodiversité, des risques pour la santé humaine, des obstacles pour les activités maritimes, et notamment la pêche, le tourisme et les loisirs ainsi que les autres utilisations de la mer, une altération de la qualité des eaux du point de vue de leur utilisation, et une réduction de la valeur d'agrément du milieu marin.

On distingue la pollution générée par les substances chimiques et celle produite par les déchets aquatiques. Les déchets aquatiques comprennent tout solide ménager, industriel, naturel qui se retrouve dans l'environnement maritime et côtier. Ils peuvent être de nature très variée : déchets flottants en surface ou dans la colonne d'eau, déchets déposés dans les fonds, déchets échoués sur les plages et sur le littoral (**Goeury D., 2014**).

80% de la pollution marine est d'origine terrestre. Les polluants sont transportés par le ruissellement des eaux suivant la dynamique des bassins versants mais aussi par l'air du fait du régime des vents, les surfaces marines recevant de nombreux dépôts atmosphériques. Or des phénomènes de saturation génèrent des désordres écologiques grandissant au point de menacer toutes les autres activités (**Goeury D., 2014**).

## **II- Surveillance de la qualité des eaux :**

### **II-1- Qualité physico-chimique et chimique des eaux:**

#### **II-1-1 TEMPÉRATURE:**

La température de l'eau influe sur beaucoup d'autres paramètres. C'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissous (dioxygène) indispensable à la vie aquatique et à la respiration des poissons. En effet plus la température de l'eau s'élève, plus sa quantité maximum d'oxygène dissous diminue. La température de l'eau dans l'environnement se mesure en général avec un appareil multiparamètres (T, pH, conductivité) dont il suffit de plonger l'extrémité. En raison des variations de certains paramètres de l'eau avec la température (oxygène dissous, conductivité,..) les analyses normalisées sont effectuées sur des échantillons d'eau à 20° C. Pour les analyses de terrain, il faut donc tenir compte de la température de l'eau, et faire ensuite la conversion (tables). Certains appareils de mesure de terrain font d'office cette conversion en fonction de la température de l'eau (**Fizli.Z; 2020**).

### **II-1-2 TURBIDITÉ: (Transparence)**

C'est un paramètre, qui varie en fonction des composés colloïdaux (argiles, débris de roche, microorganismes...) ou aux acides humiques (dégradation des végétaux). Avec un appareil (turbidimètre) on mesure la résistance qu'elle oppose par l'eau au passage de la lumière pour lui donner une valeur. on mesure la turbidité par la méthode normalisée NTU (Nephelometric Turbidity Unit) par spectrométrie, c'est à dire mesure de l'absorption de la lumière par l'eau.

NTU < 5 => eau claire

NTU < 30 => eau légèrement trouble

NTU > 50 => Eau trouble.

Une importante turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse). La turbidité de l'eau peut aussi être mesurée en cm par une autre méthode beaucoup plus simple avec un disque de Secchi, C'est un disque de 20 cm de diamètres qui descend horizontalement au bout d'une cordelette (qui peut être graduée en cm) dans l'eau (**Fizli.Z; 2020**).

### **II-1-3 CONDUCTIVITE:**

unité  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à une température de  $25^\circ\text{C}$ , la conductivité permet d'évaluer rapidement et approximativement la minéralisation globale de l'eau. La mesure en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ou  $\text{mS}/\text{cm}$  (micro ou milli Siemens par cm) de la conductivité électrique d'une eau s'effectue à l'aide d'un conductimètre. Celui-ci mesure le passage de l'électricité entre deux électrodes séparées par un cube de  $1\text{cm} \times 1\text{cm}$  d'eau avec compensateur automatique de température. La conductivité d'une eau est l'inverse de sa résistivité électrique en  $\mu\text{ohm}/\text{cm}$  ou  $\text{mohm}/\text{cm}$  (micro ou milli ohm/cm par cm). La mesure de la conductivité est un moyen assez simple de détection d'une anomalie indiquant la présence probable d'une pollution, par comparaison de la valeur mesurée avec celle que l'on était en droit d'attendre (par exemple la conductivité locale moyenne d'un cours d'eau). Elle peut permettre de localiser un apport de pollution. Les charges importante de pollution organique augmente la conductivité.

#### **Échelle de conductivités naturelles:**

60 à 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ : Eau de pluie,

50 à 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ : Eaux peu minéralisées (sols schisteux, volcaniques, granitiques)

550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  environ: Eau du robinet à Besançon (région calcaire),

300 à 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ : Eaux minéralisées (sols calcaires, marneux),

700 à 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ : Eaux fortement minéralisées (sols gypseux, eaux salées)

Un **conductimètre** est l'appareil de base de toute personne qui s'intéresse à la qualité des cours d'eau et aux rejets polluants. La conductivité de l'eau dans l'environnement se mesure en général avec un appareil multiparamètres (T, pH, conductivité) dont il suffit de plonger l'extrémité (**Fizli.Z; 2020**).

### **II-1-4 PH :**

unité pH à la température de mesure Ce paramètre, qui se mesure sur le terrain avec des bandelettes test ou un appareil (pH-mètre), donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau. Le pH (potentiel hydrogène), est le reflet de la concentration d'une eau en ions  $H^+$  :  $pH = - \log [H^+]$ .

L'eau des cours d'eaux avoisine en général la neutralité représentée par un pH de 7.

Le pH doit être compris entre 6 et 8 pour permettre la vie aquatique.

Dans chaque milieu naturel les eaux ont une valeur de pH propre en fonction du sous-sol de leur bassin versant:

> 7 en régions calcaires où les eaux sont basiques car fortement minéralisées,

< 7 en région de sous sol primaire (Vosges, ..) ou less eaux sont acides.

Une mesure de pH, différente de la valeur habituelle du cours d'eau, peut être l'indice d'une arrivée de pollution, en générale industrielle, en amont du point de mesure.

Sa valeur, le plus souvent mesurée à l'aide d'un pHmètre ou de "papier pH", indique si l'eau est acide (de 1 à 7 à 14) ; On dit aussi alcaline.

Le pH varie légèrement selon la température. L'analyse doit donc s'effectuer à 25° C ou avec un pHmètre avec compensateur automatique de temperature (**Fizli.Z; 2020**).

### **II-1-5 DURETÉ:**

Une eau est dite douce ou dure selon sa charge en calcium et en magnésium.

La somme des deux éléments constitue le Titre Hydrotimétrique qui s'exprime en France en degrés français (symbole °f ou °fH) sur une échelle de 0 à 40. (1°f = 4mg/l de calcium ou 2,4mg/l de magnésium).

Une eau sera dite dure si son TH est > à 15 °f. Une eau trop dure a pour inconvénients d'entartrer les canalisation et un usage plus important de détergents pour le lavage.

Une eau sera dite douce si son TH est < à 15 °f. Une eau trop douce sera dite « agressive » parce qu'elle sera corrosive pour les conduites (**Fizli.Z; 2020**).

### **II-1-6 L'OXYGÈNE DISSOUS:**

La présence d'oxygène dans l'eau est indispensable à la respiration des êtres vivants aérobies aquatiques. En dessous d'un certain seuil de concentration en oxygène c'est l'asphyxie des poissons. (7 mg/l pour les salmonidés; 3 mg/l pour les carpes) L'oxygène de l'eau permet

également le processus d'oxydation des matières organiques (autoépuration), mais cette décomposition appauvrit le milieu aquatique en oxygène.

L'oxygénation de l'eau des cours d'eau provient d'abord du contact de sa surface avec l'atmosphère. Elle est favorisée par les turbulences, les chutes et surtout par une basse température de l'eau. Car plus l'eau s'échauffe, moins l'oxygène y est soluble. La pression atmosphérique influe aussi modestement (**Fizli.Z; 2020**).

(pression atmosphérique 760 mm de Hg) :

à 5°C, maximum d'oxygène dissous : 12,3mg/l. ;

à 10°C : 10,9 mg/l. ;

à 15°C : 9,7mg/l. ;

à 20°C : 8,8mg/l. ;

à 25°C : 8,1 mg/l.

### **II-1-7 LA SALINITE:**

La salinité est le poids en grammes de résidu solide contenu dans un kilogramme d'eau de mer quand tous les carbonates ont été transformés en oxydes, le brome et l'iode remplacés par le chlore, et que toute la matière organique a été complètement oxydée. Cette détermination étant difficile à réaliser, une méthode plus simple a été recherchée. Sa mesure En 1903 Knudsen a mis au point une méthode chimique pour mesurer la salinité et la densité. La salinité (S) est, d'après la loi de Dittmar, proportionnelle à la chlorinité (Cl) (**Fizli.Z; 2020**).

Nous considérons actuellement que :  $S = 1.806655 Cl$

### **III- sources de pollution marine:**

#### **1. Les polluants dans le milieu marin :**

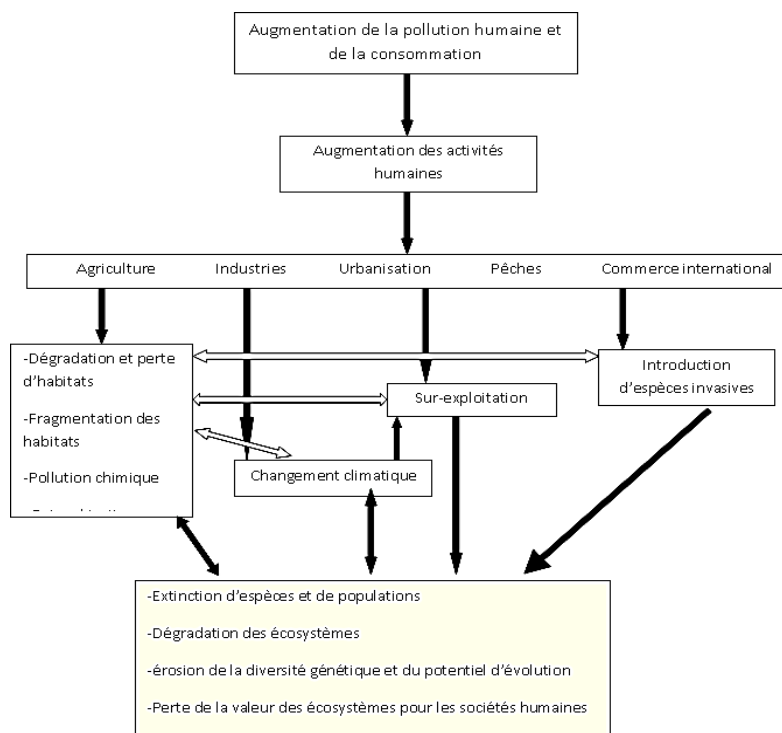
La biodiversité marine est fragilisée par les activités humaines. Les atteintes à la biodiversité marine sont la résultante d'une démographie humaine croissante et d'une activité humaine en pleine expansion économique dont les besoins en ressources renouvelables (pêche) et non renouvelables (minérales, énergétiques) ne cessent de s'accroître. Il est toutefois difficile de différencier les modifications qui résultent des contraintes naturelles (facteurs climatiques) de celles qui sont induites par les activités humaines. Plusieurs causes ont une incidence sur la biodiversité marines, aux niveaux génétique, spécifique et écosystématique ; il est admis d'en reconnaître cinq principales :

- La pêche
- La pollution chimique et l'eutrophisation
- La dégradation physique des habitats

- L'invasion d'espèces exotiques
- Le changement climatique
- Les eaux usées provoquant des agglomérations

Le milieu marin est contaminé par de nombreux produits chimiques dont des éléments métalliques rejetés par les industries, l'agriculture et les communautés urbaines. Les zones estuariennes et côtières, sous forte influence continentale, sont les plus touchées par cette contamination. L'activité humaine n'a apporté aucun changement dans les volumes de métaux lourds. Il n'y a ni réaction, ni suppression. Elle a surtout changé la répartition des métaux, les formes chimiques (spéciation) et les concentrations par l'introduction de nouveaux modes de dispersion (fumées, égouts, voitures...). Si une partie des métaux lourds part directement dans le sol et les eaux, l'essentiel est d'abord émis dans l'atmosphère avant de rejoindre les deux autres éléments (**Miquel, 2001**).

Un polluant ou contaminant est un produit chimique qui existe à un niveau jugé comme étant supérieur à celui qui doit exister normalement dans n'importe quelle composante de l'environnement. Cependant, pour les produits synthétisés par l'homme, tout niveau détectable est considéré comme anormal (**AH-PENG, 2003**) dans l'environnement côtier, un polluant est défini comme un agent physique, chimique ou biologique dans un hydrosystème, qui y provoque, par sa concentration dans l'eau, des perturbations préjudiciables au bon équilibre de l'écosystème et en réduit les possibilités d'usages de l'eau (Fig.1).



**Figure 1:** Causes et conséquences de la pollution marine (modifié par **Groom et al., 2006**)

On distingue :

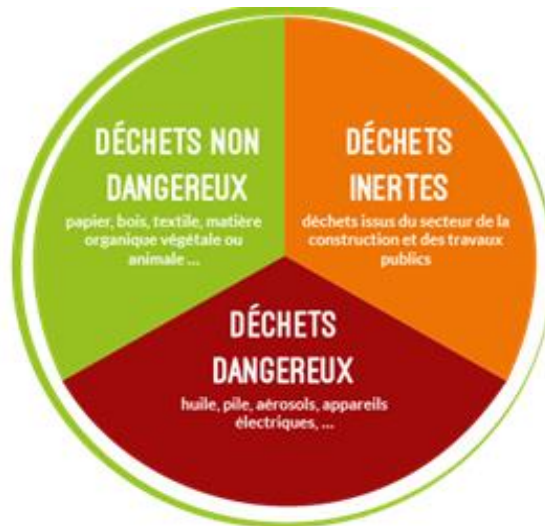
- a- Les micropolluants : qui sont les produits actifs minéraux ou organiques susceptible d'avoir une action toxique à des concentrations infimes (de l'ordre du µg/l au moins).
- b- Les macropolluants : sont des molécules naturelles qui se trouvent dans l'environnement à des concentrations différentes de celles habituellement observées, ce qui entraîne une augmentation de la cinétique des réactions biochimiques. Les polluants agissent au commencement en changeant les propriétés structurales et/ou fonctionnelles des molécules essentielles dans l'activité cellulaire (**Newman, 1998**). Leurs effets sont principalement exercés donc au niveau moléculaire et les toxiques agissent finalement par des actions chimiques avec des substances biochimiques dans les cellules (**Moore, 1985**).

## **2- origine des polluants:**

### **A- Déchets industriels:**

La pollution de l'eau provient d'une multitude de sources, les eaux usées urbaines et les déchets industriels étant les principaux coupables. Les eaux usées urbaines sont constituées d'eaux usées provenant des ménages et des établissements commerciaux, qui transportent souvent un mélange de polluants organiques et inorganiques. Cependant, la menace la plus importante pour la qualité de l'eau provient des déchets industriels. Ce type de déchets est généré par les processus de fabrication et industriels (**Boudouaya.F.Z, 2011**), englobant un large éventail de matériaux, y compris, mais sans s'y limiter, les ordures de cafétéria, la saleté, le gravier, la maçonnerie, le béton, la ferraille, les déchets, l'huile, les solvants, les produits chimiques, l'herbe, les arbres, le bois et les déchets de bois (**World Resources Institute, 1994**).

D'autre part, les déchets industriels non dangereux (**Saadani, 2002**), bien qu'ils ne répondent pas aux critères stricts fixés par l'Agence de protection de l'environnement (EPA) pour les déchets dangereux, constituent toujours un défi important car ils comprennent des matières qui, bien qu'elles ne soient pas immédiatement dangereuses, peuvent s'accumuler et contribuer à la dégradation de l'environnement au fil du temps si elles ne sont pas correctement gérées (Fig.2) (**World Resources Institute, 1994**).



**Figure 2:** Classement selon les propriétés du déchet (dangereux / non dangereux)

L'élimination et le traitement efficaces des déchets industriels sont essentiels pour atténuer leur impact sur la pollution de l'eau. Cela implique une combinaison de mesures réglementaires, de solutions technologiques et de pratiques durables pour garantir que les déchets dangereux et non dangereux sont traités de manière à protéger les ressources en eau et la santé environnementale globale (Tableau 1).

**Tableau 1:** Exemple de déchets dangereux produits par les industries et les entreprises

EXAMPLES OF HAZARDOUS WASTE GENERATED BY INDUSTRIES AND BUSINESSES:	
WASTE GENERATOR	WASTE TYPES
Chemical Manufacturers	Acids and Bases Spent Solvents Reactive Waste Wastewater Containing Organic Constituents
Printing Industry	Heavy Metal Solutions Waste Inks Solvents Ink Sludges Containing Heavy Metals
Petroleum Refining Industry	Wastewater Containing Benzene & other Hydrocarbons Sludge from Refining Process
Leather Products Manufacturing	Toluene and Benzene
Paper Industry	Paint Waste Containing Heavy Metals Ignitable Solvents
Construction Industry	Ignitable Paint Waste Spent Solvents Strong Acids and Bases
Metal Manufacturing	Sludges containing Heavy Metals Cyanide Waste Paint Waste

*Source: Environmental Protection Agency, Solving the Hazardous Waste Problem: EPA's RCRA Program (Washington, DC: EPA, November 1986), 8.*

Le législateur algérien (**JORADP**) dans la Loi n° 01-18 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001, article 3, définit les déchets spéciaux dangereux comme étant: « tous déchets spéciaux qui par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement ».

### **B- Déversements d'hydrocarbures:**

Comme son nom l'indique, les déversements d'hydrocarbures désignent tout rejet incontrôlé de pétrole brut, d'essence, de carburants ou d'autres sous-produits pétroliers dans l'environnement. En général, ces déversements sont souvent associés à l'eau, mais ils peuvent également se produire sur terre.

1. La marée noire de la guerre du golfe Persique (1991) est la plus grande marée noire au monde et a déversé entre 380 et 520 millions de gallons de pétrole dans le golfe.
2. Déversement de pétrole de BP Deepwater Horizon (golfe du Mexique, 2010), qui a déversé entre 140 et 206 millions de gallons
3. La marée noire d'Ixtoc 1 (baie de Campeche 1979) a libéré 140 millions de gallons de pétrole brut
4. Le déversement de pétrole de l'Atlantic Empress (Trinité-et-Tobago, 1979) a libéré 90 millions de gallons de pétrole
5. La marée noire de Mingbulak (Ouzbékistan, 1992) qui a libéré 88 millions de gallons (Victoria Whalen, ACE Fellow June 3 2022)

La pollution marine résultant de déversements accidentels est un problème mondial important et largement reconnu. Les accidents de pétroliers contribuent à environ 10 à 15 % de tout le pétrole qui pénètre dans les océans du monde chaque année. Bien que la fréquence des incidents maritimes ait diminué ces dernières années, d'importants déversements accidentels de pétroliers, en particulier ceux de plus de 20 000 tonnes, continuent de se produire sporadiquement dans les eaux européennes (**AEE, 2008**).

L'étendue des dommages causés par un déversement d'hydrocarbures dépend de plusieurs facteurs, notamment le volume d'hydrocarbures déversés, les produits chimiques en cause, la sensibilité de la zone marine touchée et les conditions météorologiques et de vent dominantes au moment de l'incident (**fig.3**). Le pétrole brut n'est pas une substance uniforme; Il comprend des milliers de produits chimiques différents et sa composition subit des changements dynamiques une fois qu'il est rejeté dans l'environnement. De plus, il existe de

nombreuses variétés d'huiles brutes et raffinées, chacune ayant des caractéristiques distinctes (Coppock et Dziwenka, 2014).



**Figure 3 :** La scène de la marée noire dans les eaux autour de l'île maurice après un vraquier japonais, (mv wakashio, ran aground on 25 July 2020)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), qui peuvent constituer jusqu'à 10 % des composés organiques présents dans le pétrole brut, constituent un composant important du pétrole brut. Les HAP sont des traceurs utiles pour déterminer la répartition générale des hydrocarbures pétroliers dans l'environnement après un déversement. Les déversements d'hydrocarbures sont également une source importante de composés organiques volatils (COV), notamment l'hexane, l'heptane, l'octane, le nonane et les isomères du benzène-toluène-éthylbenzène-xylène (BTEX), ainsi que d'autres composés benzéniques substitués plus légers (Sammarco *et al.*, 2013).

Au cours des dernières années, on s'est intéressé de plus en plus à d'autres composants du pétrole, comme les composés contenant de l'azote, du soufre et de l'oxygène, les acides, les esters, les cétones, les phénols et les métaux comme le fer, le nickel, le cuivre, le chrome et le vanadium (CNRC, 2003). Malgré qu'elles soient peu abondantes, elles peuvent également avoir des effets néfastes sur le milieu marin (Bennett and Larter, 2000).

À la suite d'un déversement d'hydrocarbures, plusieurs moyens de nettoyage sont utilisés pour réduire les impacts globaux sur les écosystèmes marins. Alors que le principal outil de réponse en cas de déversement consiste généralement à récupérer le pétrole de la surface de

la mer à l'aide de divers dispositifs mécaniques de récupération, des dispersants chimiques peuvent être utilisés pour transférer le pétrole de la surface de la mer à la colonne d'eau, sous forme de très petites gouttelettes et de dilution ultérieure dans un très grand volume d'eau qui facilite le processus naturel de biodégradation (EMSA, 2016). L'utilisation de dispersants chimiques peut être considérée comme un ajout d'un autre polluant à l'environnement marin et, la toxicité du mélange dispersant/huile pour le biote marin est souvent une préoccupation environnementale majeure (ITOPF, 2005).

Au sein de l'Union européenne, le pouvoir de décider de l'utilisation de dispersants en tant que stratégie de lutte contre les déversements d'hydrocarbures appartient exclusivement au(x) État(s) membre(s) côtier(s) directement concerné(s) par la marée noire. Chaque pays de l'UE aborde l'utilisation des dispersants avec plus ou moins de considération et de prudence.

Les dispersants en cas de déversement d'hydrocarbures sont des mélanges complexes composés principalement de tensioactifs et de solvants. Les tensioactifs jouent un rôle crucial en facilitant le mélange de l'huile et de l'eau, qu'ils obtiennent en combinant chimiquement des substances grasses, telles que des huiles végétales, avec des matériaux plus solubles dans l'eau, comme les sucres. Les formulations modernes de dispersants comprennent généralement des tensioactifs tels que les esters d'acides gras ou les esters de sorbitan (par exemple, le mono-(9Z)-9-octadécénoate de sorbitan), les esters d'acides gras éthoxylés (comme les polyéthylèneglycols ou PEG), les esters de sorbitan éthoxylés et le diisooctylsulfosuccinate de sodium (DOSS).

Les solvants sont un autre composant essentiel des dispersants, servant à maintenir les tensioactifs mélangés et à faciliter leur dissolution dans l'huile. Les solvants typiques utilisés dans ces formulations comprennent les distillats de pétrole légers et les éthers de glycol, tels que le propylène glycol, le 2-butoxyéthanol, l'éther monométhyle de di-propylène glycol et l'éther monobutylique de di-propylène glycol. Ces ingrédients agissent ensemble pour améliorer l'efficacité des dispersants dans la décomposition et la dispersion des déversements d'hydrocarbures, atténuant ainsi leur impact sur l'environnement (V. Tornero, G. Hanke; 2016).

### **C- Pollution plastique:**

Les déchets plastiques dans l'océan sont devenus une crise mondiale urgente, suscitant une attention croissante de la part de la communauté scientifique, des agences environnementales et du grand public (Zoeter, 2015). L'ampleur du problème est stupéfiante: on estime que 6,4 millions de tonnes de plastique pénètrent dans les océans du monde chaque année, ce qui fait du plastique le composant prédominant des débris marins (Jambeck *et al.*,

**2015).** De plus, plus de 100 millions de tonnes de plastique se sont déjà accumulées dans les environnements océaniques (**Van Franeker et al., 2011**).

La pollution plastique représente un défi anthropique critique qui a un impact sur les écosystèmes côtiers et marins du monde entier. L'accumulation persistante de contaminants plastiques, provenant principalement de la terre et de la mer, perturbe directement et indirectement l'intégrité et la fonctionnalité des écosystèmes et, par conséquent, les services et les valeurs qu'ils fournissent (**Peng et al., 2018, Peeken, 2018**).

Les polluants plastiques se manifestent sous diverses formes, allant du mégaplastique au microplastique, répartis dans les habitats marins et côtiers. Les microplastiques, primaires et secondaires, sont largement dispersés dans les plans d'eau, les sédiments et le biote marin. Des études ont documenté des concentrations de microplastiques variant considérablement selon les différents milieux aquatiques, allant de 0,001 à 140 particules/m<sup>3</sup> dans l'eau et de 0,2 à 8766 particules/m<sup>3</sup> dans les sédiments à l'échelle mondiale. L'accumulation de microplastiques dans les organismes marins présente également une variabilité importante, allant de 0,1 à 15 033 comptages par organisme. (**MacLeod et al., 2021; Villarrubia-Gomez et al., 2018**)

Les impacts écologiques de la pollution plastique englobent l'enchevêtrement, les effets toxicologiques liés à l'ingestion, la suffocation, la famine, la dispersion des espèces et l'introduction d'espèces envahissantes. Ces effets constituent des menaces importantes pour la biodiversité et les interactions trophiques, modifiant les écosystèmes marins et compromettant leurs services et leurs valeurs. De plus, la pollution plastique engendre des répercussions socio-économiques en affectant négativement des industries telles que le tourisme, la pêche, le transport maritime et la santé humaine (**Heliyon; 2020**).

Pour résoudre ce problème, il faut adopter une approche multidimensionnelle, notamment la réduction des sources de plastique, l'adoption des 3R (Réduire, Recycler, Réutiliser), des campagnes de sensibilisation, le renforcement des capacités et la mise en œuvre des responsabilités des producteurs et des fabricants. Des politiques, des législations, des réglementations et des initiatives internationales efficaces jouent un rôle crucial dans l'atténuation des débris plastiques dans les zones marines et côtières. En outre, il est essentiel d'identifier et de combler les lacunes en matière de recherche pour développer des solutions innovantes afin de lutter contre ce défi environnemental de manière globale (**Heliyon; 2020**).

### **- Impacts des plastiques dans l'océan:**

Les impacts des plastiques dans l'océan sont vastes et préoccupants, comme le soulignent diverses études et rapports. Selon le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), l'océan abrite une quantité stupéfiante de débris plastiques, estimée à

18 000 morceaux par kilomètre carré. Ce problème est exacerbé dans certaines zones connues sous le nom de plaques de déchets, où l'accumulation de plastique est nettement plus élevée que dans les régions environnantes.

Le voyage des plastiques dans l'océan ne s'arrête pas à la surface; divers facteurs tels que la dégradation par les ultraviolets (UV), la biodégradation, l'interaction avec la vie marine et la sédimentation contribuent à leur destin. Au fil du temps, les plastiques peuvent couler au fond de la mer, où des études suggèrent que les densités peuvent dépasser 10 000 morceaux par hectare. Fait remarquable, même des sacs en plastique ont été trouvés à des profondeurs supérieures à 1 000 mètres sous la surface de l'océan. Cependant, les données quantitatives détaillées sur les débris des fonds marins restent limitées, et des inquiétudes ont été soulevées quant à la lenteur des taux de biodégradation dans les environnements profonds en raison de l'obscurité et des températures froides.

Ces résultats soulignent la nature omniprésente et durable de la pollution plastique dans les écosystèmes marins, soulignant le besoin urgent de stratégies globales pour atténuer ses impacts sur la santé et la biodiversité des océans (**Barnes *et al.*, 2009; Ryan *et al.*, 2009**).

### **- Type de pollution plastique :**

Les plastiques englobent une gamme variée de matériaux classés comme polymères organiques ou synthétiques. Ces polymères sont composés de grosses molécules constituées d'unités répétées appelées monomères, utilisant principalement des chaînes de squelette carbonées pour l'intégrité structurelle (Derraik, 2002).

#### **1- Macroplastiques :**

Le résultat du nettoyage du plastique côtier, organisé par Ocean Conservancy, a montré que la plupart des débris étaient composés de bouchons de bouteilles en plastique, d'emballages alimentaires, de mégots de cigarettes, de bouteilles de boissons en plastique, de canettes de boisson, de pailles, de bouteilles de boissons en verre, de sacs d'épicerie en plastique, de bouchons métalliques et d'autres plastiques comme les emballages en mousse. Les macroplastiques peuvent rester longtemps dans l'océan, par exemple, les sacs en plastique (50 ans), les bouteilles en polyéthylène (450 ans), les mégots de cigarettes (1 à 5 ans), les gobelets en polystyrène (50 ans), les anneaux en plastique (400 ans) et les lignes de pêche (600 ans). (**Rios et Moore, 2007; Wilcox et coll., 2016**).

#### **2- Microplastiques :**

La présence de petits fragments de plastique dans l'océan Atlantique Nord a été signalée pour la première fois dans les années 1970 (**Cole *et al.*, 2011**). Les périodes prolongées d'exposition des débris marins à la lumière du soleil entraînent la photodégradation des

plastiques, car le rayonnement électromagnétique de la lumière ultraviolette oxyde la matrice polymère (Barnes *et al.*, 2009). Selon Andradý (2011).

**Biodégradation:** l'action des organismes vivants, généralement des microbes.

**Photodégradation:** action de la lumière en cas d'exposition à l'extérieur.

**Thermo Dégradation oxydative:** dégradation oxydative lente à des températures modérées.

= **Dégradation thermique:** l'action des hautes températures. Hydrolyse: réaction avec l'eau.

Comme l'ont rapporté Waller *et al.* (2017) et Essel *et al.* (2015),

**Tableau 2:** Tableau Microorganismes et leur capacité de biodégradation (Paço *et al.*, 2019).

Microorganisms	Plastic Type	Degradation Capacity
<i>Aspergillus tubingensis</i>	Polyurethane	Degraded 90% within 21 days
<i>Pestalotiopsis microspora</i>	Polyurethane	Degraded 90% within 16 days
<i>Enterobacter sp.</i>	Polystyrene (PS)	Degraded a maximum of 12.4% in 30 days
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Polycarbonate	Degraded 5.4% in 12 months
<i>Marine microbial consortium</i>	Polycarbonate	Degraded 8.3% in 12 months
<i>Ideonella sakaiensis</i>	PET	Fully degraded within six weeks
<i>Activated sludge</i>	PET	Degraded up to 60% within a year
<i>Galleria mellonella caterpillars</i>	Polyethylene	Degraded 13% within 14 hours Average degradation rate of 0.23 mg cm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>
<i>Zalerium maritimum</i>	Polyethylene	Degraded 70% within 21 days

#### **D- Ruissellement agricole :**

Les répercussions des activités agricoles vont au-delà des perturbations écologiques et comprennent d'importantes considérations de santé. Par exemple, des liens ont été observés entre les pratiques agricoles, telles que l'agriculture irriguée, et la propagation des maladies véhiculées par les vecteurs d'eau douce. Les exemples incluent la transmission de *Mycobacterium ulcerans* par les punaises naucorides dans des régions comme l'Afrique tropicale et l'Australie, contribuant à l'augmentation des cas d'ulcère de Buruli. De même, l'expansion des systèmes d'irrigation a été associée à une incidence plus élevée du paludisme dans les régions tropicales, illustrant l'interdépendance entre le développement agricole et la santé publique.

Dans une perspective plus large, la pollution résultant de l'agriculture ne se limite pas à la seule contamination chimique, mais englobe tout impact d'origine humaine qui augmente la vulnérabilité des systèmes naturels aux dommages. Tout comme l'agriculture a

fondamentalement transformé le paysage de la Terre, ses répercussions ont profondément remodelé la nature et la résilience des milieux aquatiques dans le monde entier.

En conclusion, aborder les interactions complexes entre l'agriculture et ses impacts nécessite une approche holistique qui intègre les dimensions écologiques, sociales et de santé publique. En comprenant ces dynamiques de manière globale, les parties prenantes peuvent élaborer des pratiques et des politiques durables qui atténuent les effets négatifs tout en favorisant la résilience et la conservation de la biodiversité dans les écosystèmes aquatiques **(Daniel C Nepstad *et al.*, 2008)**.

### **E- Rejets opérationnels:**

Les rejets opérationnels concernent la pollution par les navires qui va au-delà des déversements accidentels. Ces rejets peuvent être largement atténués par l'application rigoureuse des réglementations existantes, ainsi que par le contrôle, le suivi et la surveillance diligents du trafic maritime **(Ferraro *et al.*, 2009)**. Les types de pollution liée à l'exploitation des navires comprennent le rejet d'eaux de cale par les locaux des machines et le rejet d'eau de ballast par les citernes à mazout. Malgré les réglementations environnementales strictes régissant ces opérations, les rejets opérationnels restent fréquents **(AESM, 2008 ; OSPAR, 2010 ; Hassler, 2011)**.

La pollution chronique résultant des rejets opérationnels représente un défi important pour l'évaluation environnementale, car elle est souvent plus complexe à évaluer que la pollution causée par des déversements importants et catastrophiques. Les rejets opérationnels ne se limitent pas au pétrole; Ils impliquent également divers autres contaminants tels que les détergents, les nettoyants, les lubrifiants et les produits chimiques provenant des équipements de réfrigération et des extincteurs. L'établissement d'un inventaire de ces polluants est crucial pour évaluer leurs impacts environnementaux. Cependant, cette question semble avoir été largement négligée par les chercheurs et l'industrie du transport maritime, ce qui entraîne une pénurie d'information dans ce domaine.

Dans l'ensemble, bien que des progrès importants aient été réalisés dans la réglementation et la réduction des rejets opérationnels, la persistance de ces polluants souligne le besoin continu d'une surveillance accrue, d'une application plus stricte des règlements et de recherches supplémentaires pour bien comprendre et atténuer leur impact sur le milieu marin **(Honkanen *et al.*, 2013; McLaughlin *et al.*, 2014)**.

### **F- Polluants organiques biodégradables**

Les bactéries et autres organismes, connus sous le nom de décomposeurs, jouent un rôle crucial dans la décomposition des matières organiques biodégradables. Au cours de ce processus de

décomposition, ils convertissent des substances organiques complexes en composés organiques ou inorganiques plus simples. Cette transformation biochimique nécessite de l'oxygène, que ces organismes utilisent pour décomposer le matériau. Dans les milieux aquatiques, comme les rivières, les lacs et les océans, ce processus peut réduire considérablement la quantité d'oxygène dissous disponible pour d'autres organismes aquatiques, ce qui peut avoir un impact sur l'écosystème.

La mesure dans laquelle les niveaux d'oxygène dissous diminuent dépend de plusieurs facteurs clés. L'un des principaux facteurs est le degré de dilution qui se produit lorsque le polluant se mélange à l'eau douce. Si le polluant est très concentré et pas suffisamment dilué, la réduction de l'oxygène dissous sera plus prononcée. Un autre facteur critique est la demande biochimique en oxygène (DBO) du polluant rejeté. La DBO mesure la quantité d'oxygène dissous dont les bactéries aérobies ont besoin pour décomposer la matière organique dans un échantillon d'eau donné. Cette demande est influencée par la température et la quantité d'oxygène dissous existant dans l'eau douce. En règle générale, la DBO est exprimée en milligrammes d'oxygène consommé par litre d'échantillon à une température standard de 20 °C sur une période donnée.

La température joue également un rôle important dans ce processus. Des températures plus chaudes peuvent accélérer les taux métaboliques des bactéries, augmentant ainsi leur consommation d'oxygène et conduisant potentiellement à une diminution plus rapide des niveaux d'oxygène dissous. À l'inverse, des températures plus fraîches pourraient ralentir ces processus. La concentration initiale d'oxygène dissous dans l'eau douce avant l'introduction de polluants est un autre facteur déterminant. Si le plan d'eau a déjà de faibles niveaux d'oxygène dissous, l'introduction de polluants organiques peut aggraver l'appauvrissement en oxygène plus rapidement (tableau 3) (S.J. Plenty et P. Aldous, 2018.)

**Tableau 3:** Tableau de demande biochimique en oxygène (DBO) de divers polluants organiques biodégradables

Pollutant	Biochemical Oxygen Demand (BOD) (mg O <sub>2</sub> / litre of pollutant)
Treated sewage	20 – 60
Raw sewage	200 – 300
Cattle slurry	10,000 – 20,000
Pig Slurry	20,000 – 30,000
Silage effluent	30,000 – 80,000
Milk	140,000
Blood	160,000 – 210,000

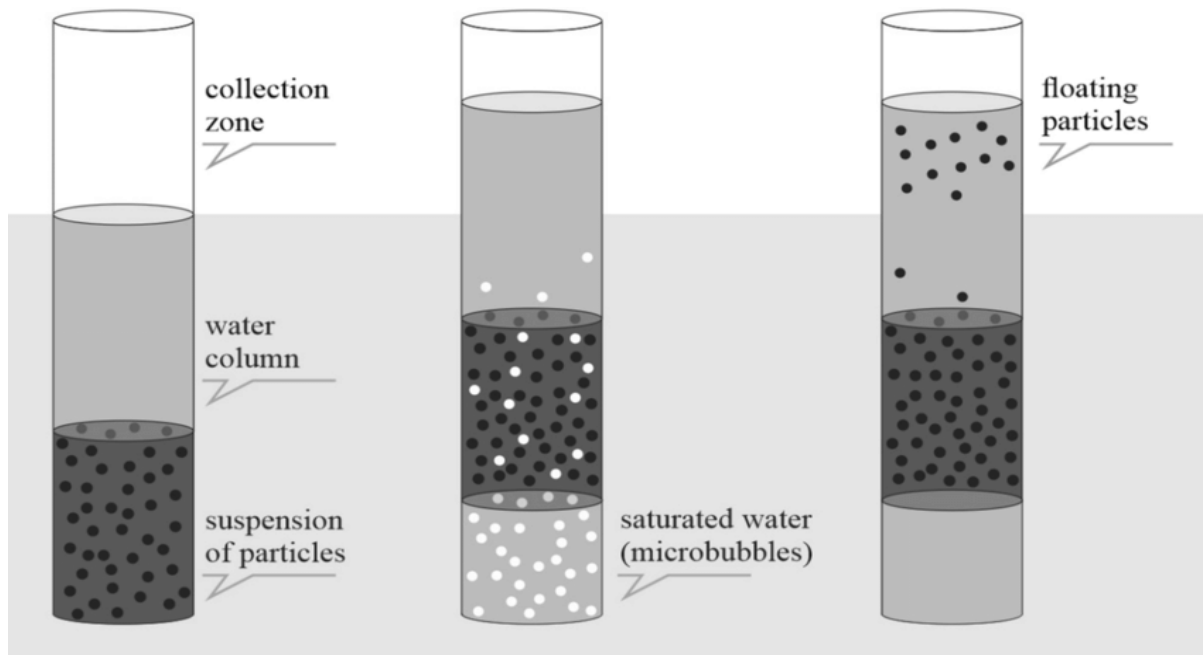
**G- Nutriments :**

Les composés azotés préoccupants comprennent l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), le nitrite ( $\text{NO}_2$ ) et le nitrate ( $\text{NO}_3$ ). Ces composés, en particulier à des concentrations élevées, constituent une menace toxique directe pour la vie aquatique. Parmi ceux-ci, l'ammoniac est reconnu comme le plus toxique pour les macroinvertébrés et les poissons, suivi du nitrite, le nitrate étant le moins toxique (**Russo, 1985 ; Scott et Crunkilton, 2000**). Dans des conditions environnementales normales, l'ammoniac, qui est excrété par les animaux, est rapidement converti en nitrite par les bactéries oxydantes de l'espèce *Nitrosomonas* (**Stumm et Morgan, 1996**). Par la suite, le nitrite est oxydé en nitrate par les bactéries des espèces *Nitrobacter* (**Stumm et Morgan, 1996**). Le nitrate est ensuite absorbé par les plantes et utilisé dans la synthèse des protéines, jouant ainsi un rôle crucial dans le cycle de l'azote aquatique. Ce cycle, bien qu'essentiel, est de nature aérobie et peut entraîner un appauvrissement en oxygène dans l'eau.

Le phosphore, bien qu'il ne soit pas directement toxique pour les organismes aquatiques, peut avoir un impact significatif sur les écosystèmes aquatiques lorsqu'il est présent à des niveaux élevés. Celui-ci, associé aux composés azotés, peut provoquer une augmentation rapide de la croissance des algues. Dans les systèmes d'eau douce, le phosphore est généralement l'élément nutritif limitant la croissance des algues. Par conséquent, même une augmentation mineure des niveaux de phosphore peut entraîner une augmentation substantielle de la productivité des algues. À l'inverse, si l'azote est le nutriment limitant, une augmentation de l'ammoniac, des nitrites ou des nitrates peut entraîner la prolifération de cyanobactéries toxiques, y compris les algues bleu-vert. Ces changements dans la disponibilité des nutriments et les changements qui en résultent dans les populations d'algues mettent en évidence l'interaction complexe entre l'azote et le phosphore dans les écosystèmes aquatiques.

**H- Solides en suspension et sédimentation :**

Les solides en suspension affectent considérablement les organismes aquatiques par plusieurs mécanismes, notamment l'abrasion, l'affouillement et la réduction de la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau. Ces particules peuvent causer des dommages physiques au corps et à l'habitat des organismes. De plus, des concentrations élevées de solides en suspension peuvent entraîner une sédimentation, où les particules se déposent et s'accumulent sur le substrat. Ces dépôts peuvent étouffer les organismes, obstruer leur système respiratoire et modifier la composition physique des habitats benthiques, qui sont essentiels à la survie de nombreuses espèces aquatiques (Fig 4).



**Figure 4 :** Processus de flottation : particules en suspension remontées à la surface pour être éliminées, clarifiant l'eau dans la partie inférieure

(Reviews in Environmental Science and Bio/Technology ,2018)

#### I- Métaux lourds :

Le mercure, le cadmium et le plomb sont reconnus comme les principaux métaux lourds qui menacent considérablement les écosystèmes aquatiques. Ces métaux proviennent principalement d'activités industrielles, le plomb provenant également de l'utilisation historique des poids de pêche avant son interdiction en 1987.

Dans les milieux aquatiques, les macrophytes et les macroinvertébrés jouent un rôle essentiel car ils absorbent directement les métaux lourds de l'eau. La concentration de ces métaux dans ces organismes reflète généralement celle de leur environnement (**Shukla et Pandey, 1985**). Les poissons, quant à eux, absorbent non seulement les métaux lourds par leurs branchies, mais les accumulent également par leur régime alimentaire (**Shukla et Pandey, 1985**) (**Fig. 5**).

L'impact des métaux lourds sur le biote aquatique varie en fonction de facteurs tels que le métal spécifique, sa concentration et la sensibilité de l'organisme. Les effets néfastes sur les poissons comprennent une altération des sens olfactifs, qui affecte l'alimentation et la migration, une fonction immunitaire compromise, une fonction neurologique altérée, des problèmes respiratoires, une sensibilité réduite aux vibrations et des anomalies du développement (**Shukla et Pandey, 1985 ; Jia et al., 2017**).

Ces résultats soulignent l'interaction complexe entre les métaux lourds et les écosystèmes aquatiques, soulignant la nécessité de poursuivre la recherche et de pratiquer des

pratiques de gestion environnementale rigoureuses pour atténuer leurs effets néfastes. La compréhension de ces dynamiques est cruciale pour la sauvegarde de la biodiversité aquatique et la durabilité des ressources en eau douce face aux pressions industrielles et anthropiques.



**Figure 5:** Métaux traces

---

*Chapitre II*  
*Les éponges de mer*

---

### **I- Morphologie et fonction des éponges de mer :**

Les éponges de mer, malgré leur apparence apparemment simple, possèdent une anatomie fascinante qui reflète leurs adaptations évolutives uniques à la vie dans les environnements aquatiques. Le corps d'une éponge est organisé en deux couches principales séparées par une matrice gélatineuse appelée **mésohyle (Fig 6)**. Ces couches sont perforées d'innombrables minuscules pores appelés **ostia**, qui permettent à l'eau de pénétrer dans l'éponge. Les ostia mènent à un réseau complexe de canaux et de chambres qui finissent par converger vers des ouvertures plus grandes appelées **oscules**, par lesquelles l'eau est expulsée (**Manuel M et al., 2003**).

Au centre de l'anatomie de l'éponge se trouvent des cellules spécialisées appelées **choanocytes (Fig 6)** ou cellules du collier. Ces cellules tapissent les chambres internes de l'éponge et jouent un rôle central dans ses processus d'alimentation et de respiration. Les choanocytes possèdent un collier distinctif de microvillosités entourant un flagelle (queue en forme de fouet). Le flagelle crée des courants d'eau à l'intérieur de l'éponge en battant rythmiquement, aspirant l'eau à travers les **ostia** dans les chambres internes. Au passage de l'eau, les choanocytes piègent les particules alimentaires microscopiques, telles que les bactéries et le plancton, à l'aide de leurs colliers, qui sont efficaces pour l'alimentation par filtration (**De Vos. L et al., 1991**).

En plus des choanocytes, les éponges abritent d'autres types de cellules essentielles dans leur mésohyle. **Les archéocytes**, également connus sous le nom de cellules amiboïdes, sont des cellules polyvalentes capables d'exécuter diverses fonctions. Ils transportent les nutriments obtenus à partir des choanocytes vers d'autres cellules de l'éponge, digèrent les particules alimentaires capturées et sont essentiels à la réparation et à la régénération des tissus endommagés. Les archéocytes peuvent également se différencier en d'autres types de cellules, contribuant à la capacité de l'éponge à s'adapter aux conditions environnementales changeantes (**De Vos. L et al., 1991**).

Le mésohyle lui-même sert de plus qu'une simple matrice de support structurel. Il contient les éléments squelettiques de l'éponge, qui varient considérablement selon les espèces. Certaines éponges possèdent des spicules de minuscules structures en forme d'aiguilles faites de carbonate de calcium ou de silice qui assurent la rigidité structurelle et la protection. D'autres, comme les éponges de bain, ont un squelette composé principalement de spongine, un matériau protéique flexible qui leur donne leur texture douce et souple. Cette diversité dans la composition squelettique permet aux éponges de prendre un large éventail de formes, des tubes

## *Chapitre II: Les éponges de mer*

ramifiés aux tapis incrustants, en fonction de leur niche écologique et des facteurs environnementaux (**Manuel M *et al.*, 2003**).

L'absence de tissus et d'organes complexes chez les éponges est une caractéristique déterminante de leur anatomie. Au lieu d'avoir des organes centralisés pour des fonctions spécifiques, les éponges répartissent ces fonctions entre des cellules spécialisées dans toute leur structure corporelle. Cette organisation décentralisée contribue à leur résilience et à leur capacité à prospérer dans divers habitats marins, allant des eaux côtières peu profondes aux environnements sous-marins.

L'intégrité structurelle des éponges est maintenue par des éléments squelettiques intégrés dans le mésohyle. Ces éléments varient considérablement selon les différentes espèces d'éponges et peuvent inclure des spicules en carbonate de calcium ou en silice, ainsi que des fibres de spongine composées de protéines flexibles. Les spicules assurent rigidité et protection, tandis que les fibres de spongine contribuent à l'élasticité et à la résilience de l'éponge. Cette diversité de composition squelettique permet aux éponges d'adopter différentes formes et tailles, allant de tapis incrustants à des structures ramifiées élaborées, s'adaptant à leurs niches écologiques spécifiques et aux conditions environnementales.

Au-delà de leur rôle dans le cycle des nutriments et la dynamique des écosystèmes, les éponges présentent également un intérêt scientifique important en raison de leur position évolutive en tant que l'un des premiers animaux multicellulaires. L'étude de leur anatomie et de leur physiologie permet de mieux comprendre les origines et l'évolution des formes de vie complexes dans l'océan.

En résumé, l'anatomie complexe des éponges de mer reflète leur adaptation à l'alimentation par filtration, leur dépendance aux courants marins pour la respiration et l'absorption des nutriments, et leur diversité structurelle rendue possible par divers matériaux squelettiques. Ces adaptations soulignent l'importance écologique des éponges dans les écosystèmes marins et mettent en évidence leur succès évolutif sur des millions d'années (**Warburton, 2017**).

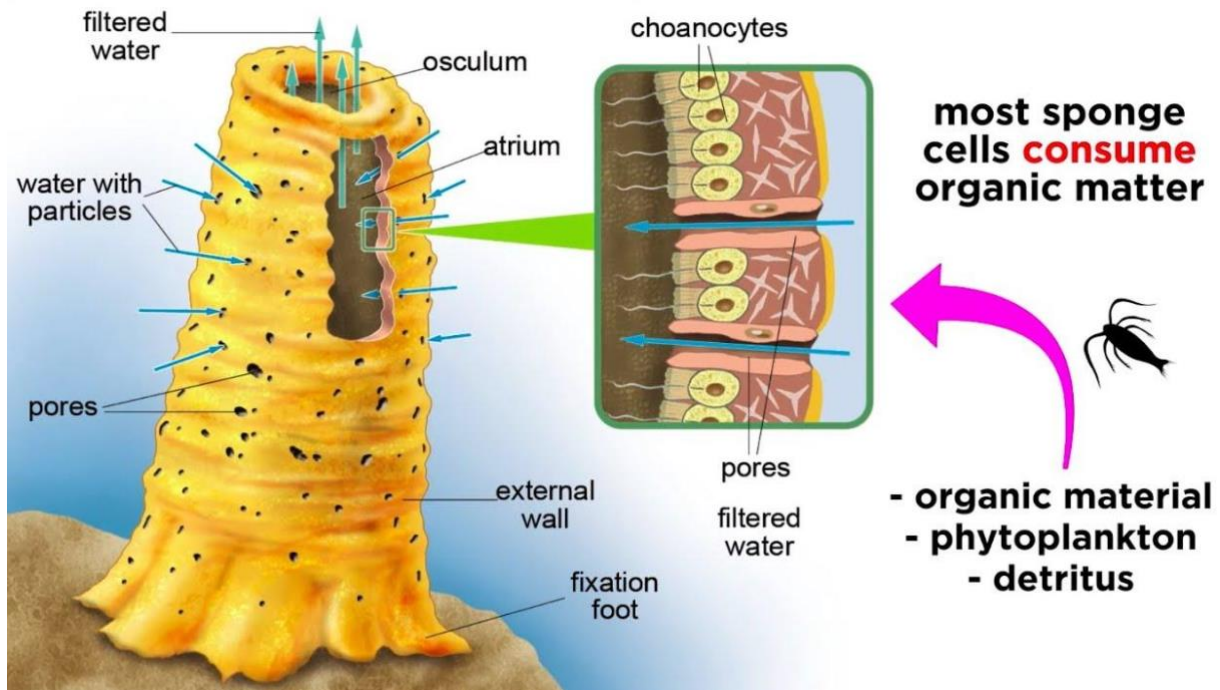


Figure 6 : l'éponge phylum Porifera:

## II- Travail d'une éponge :

Les éponges de mer, classées dans le phylum Porifera, possèdent un plan corporel remarquablement simple mais efficace qui les distingue de tous les autres animaux. Contrairement aux organismes plus complexes, les éponges manquent de tissus et d'organes spécialisés. Au lieu de cela, leur corps est composé d'une agrégation lâche de cellules spécialisées intégrées dans une matrice gélatineuse appelée mésenchyme.

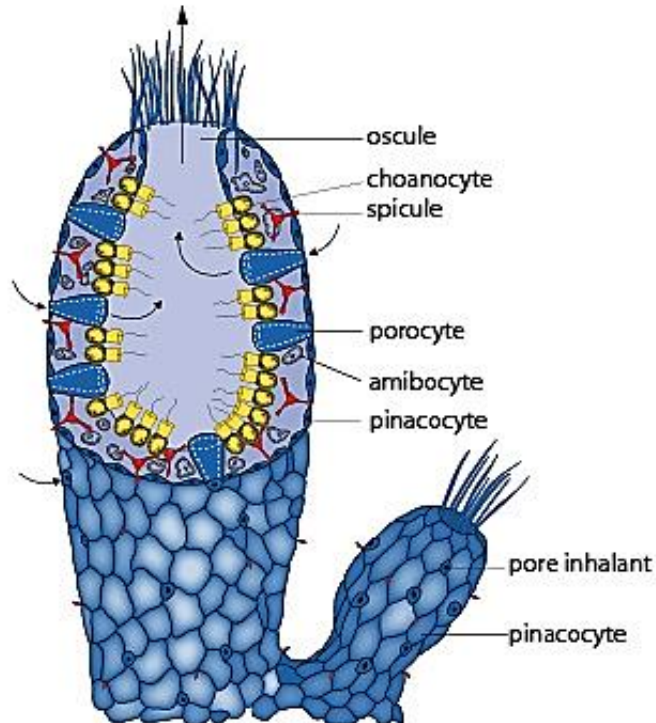
L'un des aspects les plus intrigants de la biologie des éponges est la polyvalence de leurs cellules. Les cellules de l'éponge, en particulier les archécocytes (cellules amiboïdes), présentent une plasticité remarquable, elles peuvent se transformer et s'adapter pour remplir diverses fonctions dans le corps de l'éponge. Ce manque de spécialisation cellulaire signifie que les cellules de l'éponge peuvent jouer des rôles structurels, aider au transport des nutriments, participer à la reproduction et même contribuer aux mécanismes de défense de l'éponge selon les besoins.

Dans des expériences de laboratoire qui mettent en évidence leurs capacités de régénération, les chercheurs ont démontré l'incroyable résilience des cellules d'éponges. Par exemple, lorsque différentes espèces d'éponges sont fragmentées ou même mélangées dans un robot culinaire, les cellules individuelles ne perdent pas leur capacité à reconnaître et à se rassembler avec leur propre espèce. Après avoir été dispersées et laissées dans l'eau stagnante, ces cellules dissociées peuvent migrer les unes vers les autres, se réagréer pour reconstruire la

structure originale de l'éponge. Cette capacité met non seulement en évidence l'autonomie cellulaire et l'adaptabilité des éponges, mais souligne également leur capacité d'auto-réparation et de régénération dans les milieux naturels.

### **III- Alimentation des éponges :**

Le mécanisme d'alimentation des éponges tourne autour de leur système de filtration unique. L'eau pénètre dans l'éponge par de nombreux pores minuscules appelés ostia, répartis sur toute sa surface. Ces ostia mènent à un réseau de canaux et de chambres interconnectés tapissés de choanocytes, ou cellules du collier. Les choanocytes ont un collier distinctif de microvillosités entourant un flagelle, qu'ils utilisent pour générer des courants d'eau dans l'éponge. Lorsque l'eau coule à travers l'éponge, les choanocytes emprisonnent de minuscules particules alimentaires, telles que des bactéries et du plancton, dans leurs colliers. La digestion de ces particules capturées se produit dans les choanocytes ou les archéocytes adjacents, qui distribuent ensuite les nutriments à d'autres cellules dans tout le corps de l'éponge. Une éponge d'un volume de 10 cm<sup>3</sup> peut filtrer 22 litres d'eau par jour. Certaines espèces pourraient même filtrer 10 000 à 20 000 fois leur volume d'eau en une seule journée. **(Fig 7).**



**Figure 7 :** Mode d'alimentation des éponges

En résumé, la fonctionnalité des éponges repose sur leur organisation cellulaire décentralisée, leur plasticité cellulaire remarquable et leurs capacités efficaces d'alimentation par filtration. Ces adaptations permettent aux éponges de prospérer dans divers habitats marins, contribuant au cycle des nutriments, fournissant un habitat à de nombreux organismes et illustrant le succès évolutif d'organismes simples mais hautement spécialisés dans l'écosystème océanique (Warburton, 2017).

### IV- Types d'éponges de mer :

#### IV-1 Éponge tubulaire :

L'éponge tubulaire (*Callyspongia vaginalis*) est un organisme fascinant que l'on trouve dans les milieux marins, en particulier sur les récifs coralliens où elle s'ancre. Connue pour sa forme tubulaire distinctive, cette éponge se distingue par ses couleurs vives allant des nuances de violet et de vert au gris ou au bleu (Fig , 8 et 9).

Sur le plan fonctionnel, l'éponge tubulaire fonctionne un peu comme un système de filtration sophistiqué. Il pompe continuellement de l'eau à travers son corps tubulaire, l'aspirant par une extrémité et l'expulsant par l'autre. Ce flux constant sert plusieurs objectifs cruciaux dans le cycle de vie de l'éponge (Sylvain Le Bris, 2019).

Deuxièmement, lorsque l'eau sort de l'éponge, elle transporte les déchets et le dioxyde de carbone loin de l'organisme. Ce processus aide à maintenir un environnement interne équilibré dans l'éponge, garantissant que les déchets métaboliques ne s'accumulent pas à des niveaux nocifs.



Figure 8 : éponge Glass

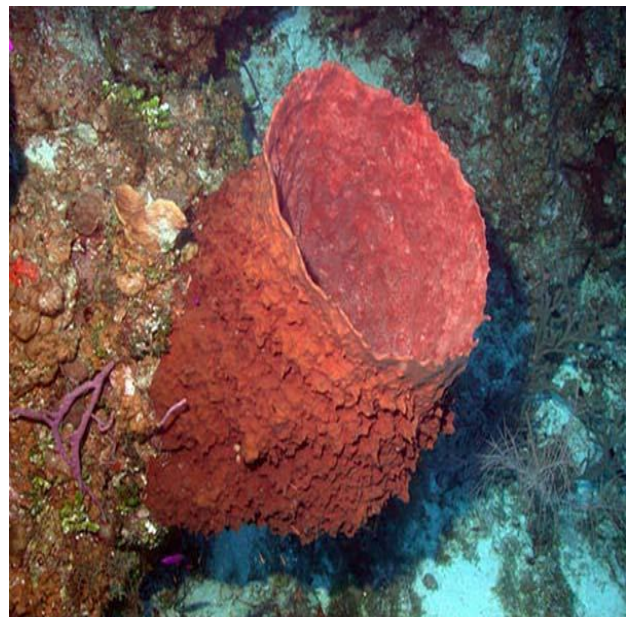


Figure 9 : éponge Barrel

Leur présence soutient la santé globale et la biodiversité des écosystèmes récifaux en fournissant un habitat et des sources de nourriture à divers organismes marins.

La forme tubulaire donc et les couleurs vives de l'éponge tubulaire la rendent non seulement visuellement frappante, mais aussi parfaitement adaptée à son rôle de filtreur dans les environnements marins. Sa capacité à extraire efficacement les nutriments de l'eau souligne son importance dans les écosystèmes des récifs coralliens, soulignant l'interconnexion des formes de vie marine (Roz Zurko., 2019).

### IV-2 Éponge vase :

L'éponge vase, scientifiquement connue sous le nom d'*Ircinia campana*, présente une morphologie caractéristique de son genre. Cette espèce habite généralement les eaux chaudes des Caraïbes et peut également être trouvée le long de la côte est de la Floride, où elle se fixe fermement aux substrats rocheux du fond sablonneux de l'océan. Connue pour sa taille imposante, l'éponge de vase peut atteindre des hauteurs allant jusqu'à 3 pieds et des largeurs d'environ 2 pieds, ce qui en fait l'une des plus grandes espèces d'éponges de son habitat (Fig., 10).



**Figure 10 :** Eponge vase *Ircinia campana*

En termes de coloration, l'éponge de vase affiche une palette saisissante qui va des rouges profonds et des bruns riches aux violets vibrants, contribuant à son attrait visuel au milieu du paysage sous-marin. La conception structurelle de cette éponge joue non seulement son rôle esthétique, mais joue également un rôle crucial dans sa niche écologique, fournissant un habitat et un refuge à divers organismes marins dans son réseau complexe de canaux et de chambres.

**IV-3 Éponge d'ascidie de mer :**

L'ascidie commune (*Didemnum molle*) est une éponge récifale qui adhère aux rochers, formant une croûte. Habitant généralement des eaux plus profondes, il prospère en colonies étendues. Cette éponge ressemble au cuir, avec un corps en forme de sac avec un extérieur tacheté et un intérieur vert vif. Dans les aquariums, on peut souvent l'observer pousser sur des surfaces rocheuses (**Fig 11**).



**Figure 11 :** L'ascidie commune *Didemnum molle*

**IV-4 Éponge à tunicier peinte :**

L'ascidie peinte (*Clavelina picta*) est une éponge fascinante qui se maintient en filtrant les nutriments de l'eau qu'elle aspire et expulse par la suite. Ces éponges sont coloniales, formant souvent des grappes de minuscules individus. Malgré leur petite taille, n'atteignant généralement qu'environ 3/4 de pouce de longueur, ils présentent une apparence frappante. Leurs corps translucides présentent des teintes vibrantes de rouge, de jaune et de violet, créant un spectacle visuellement captivant dans leurs habitats aquatiques (**Fig.12**).



**Figure 12 :** Éponge à tunicier peinte *Clavelina picta*

**IV-5 Éponge arboricole rouge vif :**

L'éponge arborescente rouge vif (*Haliclona compressa*), originaire des Caraïbes, est un choix populaire pour les aquariums domestiques en raison de son apparence frappante et de sa taille gérable. Atteignant généralement des hauteurs allant jusqu'à 8 pouces, cette éponge affiche des teintes rouges vibrantes qui rehaussent n'importe quel environnement aquatique. Pour prospérer en dehors de son habitat naturel, il a besoin d'un débit d'eau modéré et de conditions d'éclairage tamisées. Ces exigences garantissent sa santé et sa coloration vibrante, ce qui en fait un ajout attrayant et gratifiant aux aquariums (**Fig. 13**).



**Figure 13 :** Éponge arboricole rouge vif *Haliclona compressa*

**IV-6 Éponge jaune :**

L'éponge jaune (*Cleona celata*) se trouve principalement dans les eaux côtières de l'océan Pacifique le long des États-Unis. Contrairement aux espèces solitaires, cette éponge a tendance à former de petites colonies. Son nom dérive de son apparence frappante, caractérisée par des teintes jaunes vibrantes avec des accents d'orange. Malgré sa petite taille, l'éponge jaune joue un rôle écologique important, incrustant souvent les récifs rocheux de son habitat. Cette espèce contribue à l'écosystème marin en fournissant des habitats aux petits organismes et en filtrant l'eau pour maintenir la qualité de l'eau (**Fig. 14**).



Figure 14 : Éponge jaune *Cleona celata*

#### IV-7 Éponge géante :

L'éponge géante (*Xestospongia muta*) est un habitant important des récifs coralliens de la mer des Caraïbes et des eaux voisines, connu pour sa taille impressionnante, atteignant des diamètres d'au moins 1,8 m. Cette espèce forme des structures en forme de bol qui servent d'habitats vitaux à un large éventail d'invertébrés tels que les crabes et les crevettes, ainsi qu'à diverses espèces de poissons, notamment les gobies et les poissons cardinaux. Ancrées fermement à la surface du récif, les éponges géantes, comme toutes les éponges, manquent de mobilité et présentent un squelette ressemblant à du verre (Fig 15) (Mau Riquelme, 2020).



Figure 15 : Éponge géante

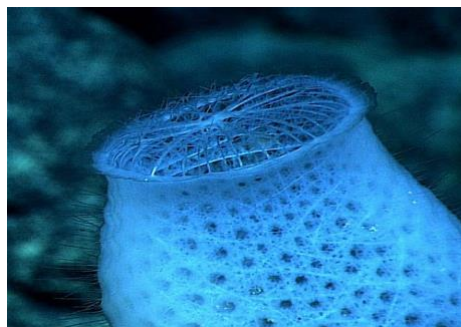
Malgré leur longévité et leur importance écologique, l'état de conservation des éponges géantes reste incertain. Leur dépendance à l'égard d'écosystèmes de récifs coralliens sains les rend vulnérables aux perturbations causées par les activités humaines, ce qui souligne la nécessité d'une gestion responsable de l'environnement pour protéger leurs habitats.

**V Inspiration biologique des éponges de mer pour les matériaux composites avancés. (Stratégies de conception hiérarchique et performance structurelle) :**

Les matériaux composites avancés offrent aux concepteurs une flexibilité de conception significative et des avantages fonctionnels uniques, tels qu'un faible poids, une résistance spécifique élevée et une rigidité. Ils offrent également une tolérance exceptionnelle aux dommages et une résistance aux chocs, facilitée par les progrès des matériaux fibreux et polymères et des procédés de fabrication additive. Ces matériaux permettent l'intégration de capacités multifonctionnelles adaptées à des systèmes spécifiques, où les fonctions structurelles et non structurelles coexistent.

À la recherche de matériaux structurels légers, multifonctionnels et performants, les chercheurs du monde universitaire et de l'industrie se tournent de plus en plus vers les composites biologiques pour s'inspirer. Les systèmes rigides naturels comme les os, les dents, la nacre (nacre) et les éponges de silice présentent des structures et des compositions diverses, mais partagent des principes de conception communs. Il s'agit notamment d'une organisation hiérarchique allant de l'échelle nano à l'échelle macro, de l'adaptation de la forme à la fonction et d'une composition inorganique-organique unique qui contraste avec les matériaux synthétiques traditionnels. Leur efficacité est encore renforcée par de nombreuses interfaces qui contribuent à des mécanismes de trempe efficaces.

La structure hiérarchique du squelette de l'éponge hexactinellid *Euplectella aspergillum*, composé principalement de silice, illustre cette stratégie de conception. La silice, intrinsèquement cassante, est sujette à une perte de résistance due à des défauts de surface lorsque sa structure dépasse quelques micromètres. Pour contourner cette limitation et construire des structures plus grandes, des niveaux hiérarchiques supplémentaires sont utilisés. Ces niveaux modifient la silice en un réseau cylindrique tridimensionnel adaptatif, améliorant ainsi ses performances mécaniques et sa durabilité. (Robson Brown K, Bacheva D, 2019).



**Figure 16 :** éponges siliceuses des grands fonds des îles hawaïennes

---

*Chapitre 3*

*Matériels électronique*

---

## I- Arduino :

Arduino est une plate-forme open source polyvalente qui permet aux étudiants, aux éducateurs, aux amateurs et aux professionnels du monde entier de développer des projets et des applications à l'aide de petits microcontrôleurs programmables. Il offre un point d'entrée accessible dans le monde de l'électronique et de la programmation, ce qui le rend populaire dans les milieux éducatifs ainsi que parmi les fabricants et les innovateurs (Karl Söderby ;2024) .

## II- Matériel:

Au cœur de l'écosystème Arduino se trouve le matériel, qui se compose de différents types de cartes Arduino. Chaque carte contient un microcontrôleur - un petit ordinateur sur un seul circuit intégré qui peut être programmé pour effectuer un large éventail de tâches. Les cartes Arduino courantes comprennent l'Arduino Uno, l'Arduino Nano et l'Arduino Mega, chacune avec des spécifications et des capacités différentes pour répondre aux différents besoins du projet. Ces cartes sont dotées de broches d'entrée/sortie (E/S) numériques et analogiques, qui leur permettent d'interagir avec une variété de capteurs, d'actionneurs et d'autres composants électroniques (Karl Söderby ;2024) .

Ces cartes sont disponibles dans différentes configurations pour répondre à une gamme de besoins de projet. Les modèles populaires incluent :

### II-1 Arduino Uno :

Connu pour sa simplicité et sa facilité d'utilisation, il est idéal pour les débutants.



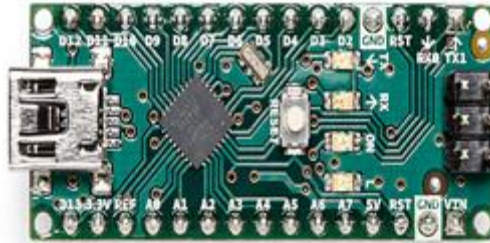
Figure 17 : Arduino Uno

II-2 Arduino Mega : Offre plus de broches d'entrée/sortie et de mémoire, adapté aux projets complexes.



Figure 18 : Arduino Mega

**II-3 Arduino Nano :** Une version plus petite et compacte, parfaite pour les projets avec des contraintes d'espace.



**Figure 19 :** Arduino Nano

**II-4 Arduino Due :** Dispose d'un microcontrôleur plus puissant pour les applications avancées.



**Figure 20 :** Arduino Due

Ces cartes fournissent une variété de broches d'entrée/sortie (E/S) numériques et analogiques, ce qui leur permet de s'interfacer avec des capteurs, des moteurs, des LED et d'autres composants électroniques.

### **III- Logiciel d'Arduino:**

Le composant logiciel d'Arduino est tout aussi crucial que le matériel. L'outil principal est l'environnement de développement intégré (IDE) Arduino, une application logicielle conviviale utilisée pour écrire, modifier et télécharger du code sur les cartes Arduino. L'IDE Arduino prend en charge le langage de programmation Arduino, également connu sous le nom d'API Arduino, qui est basé sur C/C++. Il simplifie de nombreuses tâches de programmation grâce à des fonctions intégrées, ce qui facilite l'apprentissage et la création pour les débutants (Karl Söderby ;2024) .

### **IV- Langage de programmation Arduino :**

Le langage de programmation Arduino, ou API Arduino, est conçu pour être facile à apprendre pour les débutants tout en offrant des fonctionnalités puissantes pour les utilisateurs

plus avancés. Il comprend des bibliothèques et des fonctions qui simplifient les tâches complexes, telles que le contrôle du matériel, la gestion du timing et la gestion des communications. Le langage est très flexible et peut être utilisé pour programmer un large éventail d'applications, des simples clignotants LED aux systèmes robotiques complexes.

En résumé, Arduino est une plate-forme puissante et accessible qui comble le fossé entre le logiciel et le matériel. Sa combinaison de matériel facile à utiliser, d'outils logiciels polyvalents et d'une communauté de soutien en fait un choix idéal pour toute personne intéressée par l'exploration du monde de l'électronique et des systèmes embarqués (**Karl Söderby ;2024**).

#### **V- Introduction aux pH-mètres et aux capteurs de température :**

##### **1-Composants du pH-mètre :**

- Électrode de pH : La sonde qui mesure le pH.
- Électrode de référence : Fournit un signal de référence constant.
- Compensation de température : La plupart des pH-mètres modernes ont une compensation de température pour tenir compte de l'effet de la température sur les lectures de pH.

##### **2-Capteurs de température :**

- Thermistances : Dispositifs résistifs qui modifient la résistance en fonction de la température.
- Thermocouples : mesurent les différences de température entre deux points.
- RTD (Resistance Temperature Detectors) : Capteurs très précis et stables.

---

# **ZONE D'ÉTUDE**

---

## I- Présentation de la baie de Mostaganem :

### I-1- Caractéristiques physique de la côte de Mostaganem :

Elle est située au Nord-Ouest du Territoire National et couvre une superficie de 2269 Km<sup>2</sup>, avec une façade maritime de l'ordre de 120km; Entre les coordonnées géographiques (0°8' Ouest 36°29' Nord) et (0°46' Est 35°37' Nord).

La région de Mostaganem se caractérise par un climat semi-aride à hiver tempéré et une pluviométrie qui varie entre 350mm et 400mm et un relief qui s'individualise en deux principales unités morphologique.

-Les Monts Dahra

-Le Plateau de Mostaganem sa population est passée de 504 991 habitants<sup>1</sup> à 629 445 habitants 1998 pour arriver à 737 118 habitants en 2008, soit un taux d'accroissement 1.7 (1998-2008) avec une densité de 333 hab. /Km<sup>2</sup> (Fig 21).

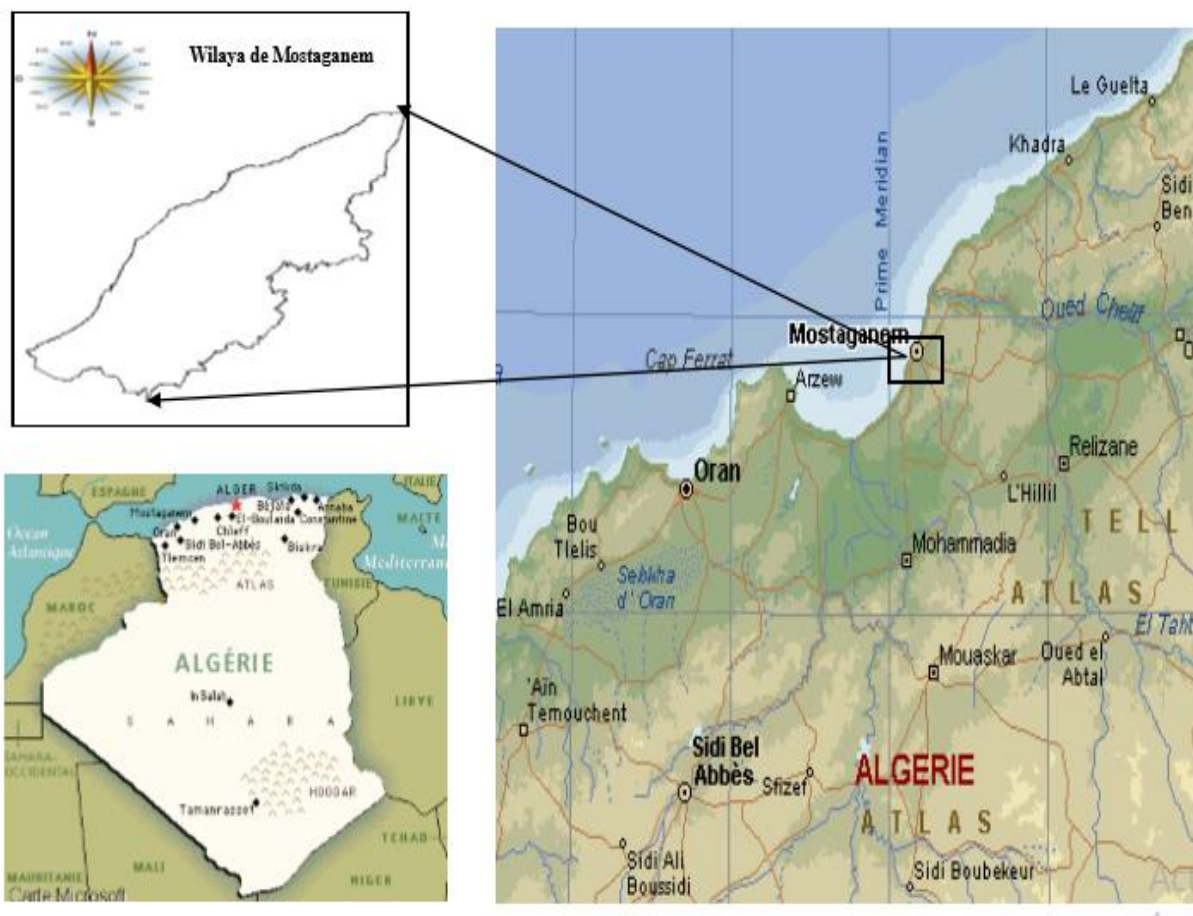


Figure 21: Localisation de la zone d'étude (la Wilaya de Mostaganem) (Megherbi., 2015).

### **I.1.1-Hydrodynamisme :**

Le courant dominant au large de la région de Mostaganem est d'origine atlantique. Le flux en provenance du détroit de Gibraltar coule le long de la côte algérienne où il prend le nom de courant algérien d'épaisseur moyenne de 200 Km, est initialement structuré en une veine collée à la côte, étroite et profonde (**Benzohra, 1993**).

Au fur et à mesure que ces eaux se déplacent vers l'Est, la veine de courant devient plus large environ 50Km de diamètre accompagné de phénomène d'Upwellings (**Millot, 1985**). Ces Upwelling induisent des zones de plus fortes productivités biologiques (**Millot, 1987**).

Ces turbulences pénètrent dans les régions côtières et interfèrent avec la veine majeure du courant lui-même (**Millot, 1987**). Elles donnent naissance à des méandres tourbillons dans cette partie de la côte algérienne (**Benzohra, 1993**).

### **I.1.2- Climat :**

Lalami Talib (1970) a montré que les couches superficielles sont directement affectées par les températures extérieures en raison de l'échange de chaleur entre le milieu intérieur et l'air ambiant, et elles varient entre 21 ° C et 27 ° C en moyenne. Les températures les plus élevées sont en octobre, et les températures les plus basses sont en février et mars. En profondeur, les températures sont relativement basses et stables, et oscillent entre 13 ° C et 14°C en toute saison. **Korishi (1988)** estime qu'il existe deux périodes principales:

- Période froide entre novembre et mars avec une température d'environ 15 ° C et une précipitation moyenne de 89,49 mm.
- Une période chaude entre avril et octobre avec une température de 23 ° C et de faibles précipitations.

Le climat de Mostaganem se caractérise par un climat semi-aride en hiver tempéré et une pluviométrie qui varie entre 350 mm sur le plateau et 400 mm sur les piémonts du Dahra. (**Megherbi .W; 2015**)

### **I.1.3- Salinité :**

La salinité de l'eau dans la région de Mostaganem est de 35‰, dont 27‰ de NaCl, et les cations les plus abondants sont: Na, K, Mg et Ca (**Benghali, 2015**).

### I.1.4-Vents :

Il existe deux types de vent dans la baie de Mostaganem (Millot, 1985 à Korichi, 1988):

- Vents d'ouest à une vitesse de 2 m / s entre novembre et avril.
- Vents d'est avec une vitesse moyenne supérieure à 2 m / s jusqu'à 15 À 20 m / s pendant 3 mois consécutifs entre mai et octobre. Les vents d'ouest provoquent généralement des intempéries. (Rouane-Hacene, O ; 2013).

### I.2-Choix des stations d'étude :

Pour la collecte de nos échantillons nous avons choisi 4 stations au niveau de la wilaya de Mostaganem (Stidia, Salamandre, Sidi Majdoub ainsi que Sidi lakhdar).

Stidia et Salamandre situées à la région Ouest de la ville Mostaganem contrairement à Sidi El Majdoub et Sidi Lakhdar situées par contre elles à l'Est. Le choix s'est fait suite à leurs accessibilités et leurs positions géographiques intéressantes mais aussi suite au réceptacle des différents rejets de différentes sources.

#### I.2.1- Stidia :

Stidia se situe à 20 km à l'ouest de Mostaganem sur la route d'Oran entre cap Carbon (Oran) et cap de Salamandre (Mostaganem) (Fig. 22), de superficie 55km<sup>2</sup>, elle est caractérisée par un substrat rocheux avec fond sableux.

Le site de Stidia est soumis à de nombreuses activités anthropiques (pollution) correspond à la présence de produits chimiques ou de déchets industriels. Cette pollution due principalement aux activités humaines entraîne une dégradation de la qualité de l'eau et perturbe le milieu aquatique (Kima ., 2015), occupation humaine (rejets et apports des zones habitées) (Fig. 22), agriculture, tourisme en période estivale (baignade, plongée). Ainsi, ce site est par son Méridien de Greenwich une richesse en diversités faunistique et floristique mais aussi c'est un lieu idéal pour les amateurs de la pêche (ancrage, chalutage).



Figure22 : Site de prélèvement Stidia

De plus Stidia connaît des projets aquacoles comme la ferme conchylicole, par deux stations d'une distance de 550 m entre eux, et qui produisent plus de 150 Tonnes de moules. Plusieurs apports ont une influence sur la plage de Stidia, l'urbanisation par le non-respect de la distance réglementaire du littoral (100m) et Selon **Karfouf et al (2015)**, la décharge de l'eau urbaine de la population indigène qui vive sur la cote de la plage est rejetée directement dans la Mer) ; c'est les raisons pour lesquelles notre choix s'est porté sur ce site, d'autant plus qu'il est aisément accessible. (**Mezali, 2007 ; Boudjra et al., 2010 ; Belbachir, 2012; Bouaziz , 2012 ; Oulhiz , 20 12 ; Karfouf et al., 2015**).

### ✓ Les coordonnées géographiques de la plage de stidia

Les coordonnées géographiques de Stidia sont définis comme suit : **35,83195° N, 0,01695° W**

### I.2.2- Salamandre :

Le point d'échantillonnage de l'eau de Mer depuis le site pollué est à une distance de 2.81 Km à l'ouest du centre de la ville de Mostaganem (**Fig. 23**).

Le site est exposé aux vents dominants fort « nord-ouest », et par conséquent exposé à différentes formes de pollutions (urbaine, industrielle, Pollution physique/chimique, Pollution par des métaux lourds, Pollution organique ou bactérienne, pollution biologique, pollution par les eaux usées) (**KHEDIMI F, BACHKET.E, 2020**).

Le choix de ce site était fondamental car il représente un lieu lointain du quai de débarquement (lieu dissimulé du contrôle), les navires effectuent leur dégazage la majorité du temps dans cette partie du port l'opération peut être nocive et polluante. (**DPRH ,2020**)

### ✓ Les coordonnées géographiques du site de Salamandre :

Le site se positionne à **35,91024° N, 0,05465° E**.



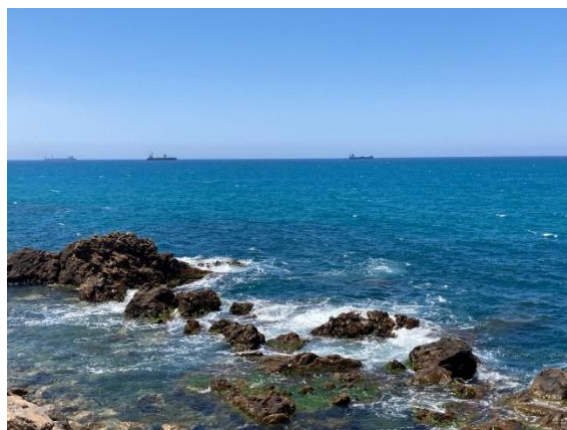
**Figure 23 : Site de prélèvement Salamandre**

**I.2.3- Sidi Madjdoub (Matarba) :**

Le point de prélèvement choisi est une plage située à Sidi Madjdoub, elle prend le nom de Matarba. Elle est située à trois kilomètres à l'Est du centre-ville de Mostaganem, entre le cap de Salamandre à l'ouest et plage de Sonakter à l'Est sur un littoral de 124 km (**Fig. 24**).

✓ **Les coordonnées géographiques de la plage Sidi El Majdoub:**

L'emplacement exacte du site se trouve à : **35,96823° N, 0,09202°E**



**Figure 24 : Site de prélèvement Sidi Majdoub**

**I.2.4- Sidi Lakhdar :**

La commune de Sidi Lakhdar est située à l'est de la wilaya de Mostaganem, à environ 400 kilomètres d'Alger et à 50 kilomètres de la ville de Mostaganem (Fig 25).

✓ **Les coordonnées géographiques de la plage Sidi lakhdar:**

Le point exact est représenté par un petit port : **36,21111° N, 0,38993° E**.



**Figure 25 : Site de prélèvement de Sidi Lakhdar**

---

## MATÉRIELS ET MÉTHODE

---

Dans cette partie nous explorerons le processus de création d'un modèle 3D inspiré de la structure des éponges de mer à l'aide de Blender. En tirant parti des nœuds géométriques de Blender, nous obtiendront des formes qui imitent les formes naturelles des éponges de mer. Cette structure est choisie pour sa grande résistance à la pression, caractéristique vitale pour les éponges d'eau profonde, et sa capacité à fournir un habitat à diverses créatures marines.

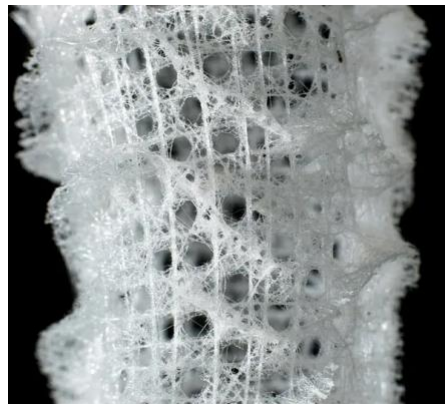
La structure fonctionne comme un habitat artificiel, elle sera recouverte de carbonate de calcium, ce qui en fera un mélange d'éléments artificiels et naturels, et évitera les matières toxiques pour un usage marin. Ce concept est en cours de développement et pourrait évoluer dans les phases futures.

De plus, le projet intègre un système de détection de la pollution utilisant des matériaux bon marché. Ce système facilite le suivi des données et fournit des informations précieuses au public et aux biologistes marins, en indiquant les fluctuations et les changements dans les paramètres de l'eau qui signifient une pollution. L'appareil s'allumera en rouge au contact de l'eau polluée et en jaune au contact d'eau propre, offrant une touche esthétique lorsqu'il fonctionnera sous l'eau.

## **Méthodologie:**

### **Partie 1 :**

**1- Création de la forme de base de la structure basée sur le bio-mimétisme des éponges de Mer :**  
Le squelette des éponges de Mer est poreux, complexe et organique (Fig 26). Les motifs de la conception des éponges de mer réduisent la pression sur le niveau inférieur afin de diviser les forces appliquées sur celui-ci.



**Figure 26 :** Forme de base d'une éponge de Mer

En utilisant le logiciel Blender, on reproduit la forme des éponges simplifiée en éliminant certaines structures (Fig. 27, 28).

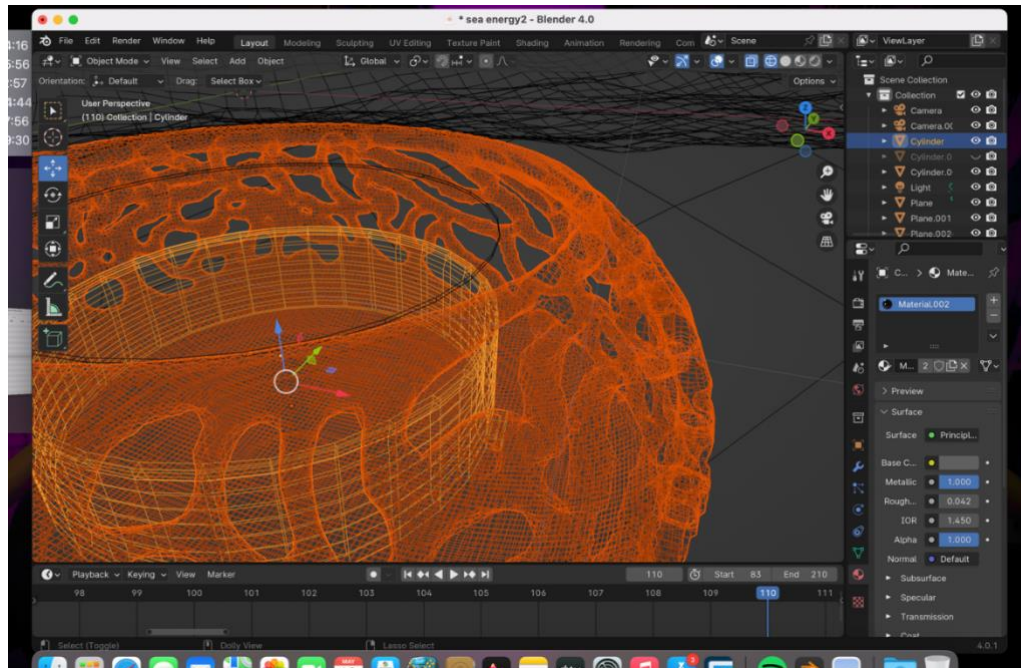


Figure 27 : Modèle 3D représentant le modèle de lotissement du projet (chenine ouassim 2024)

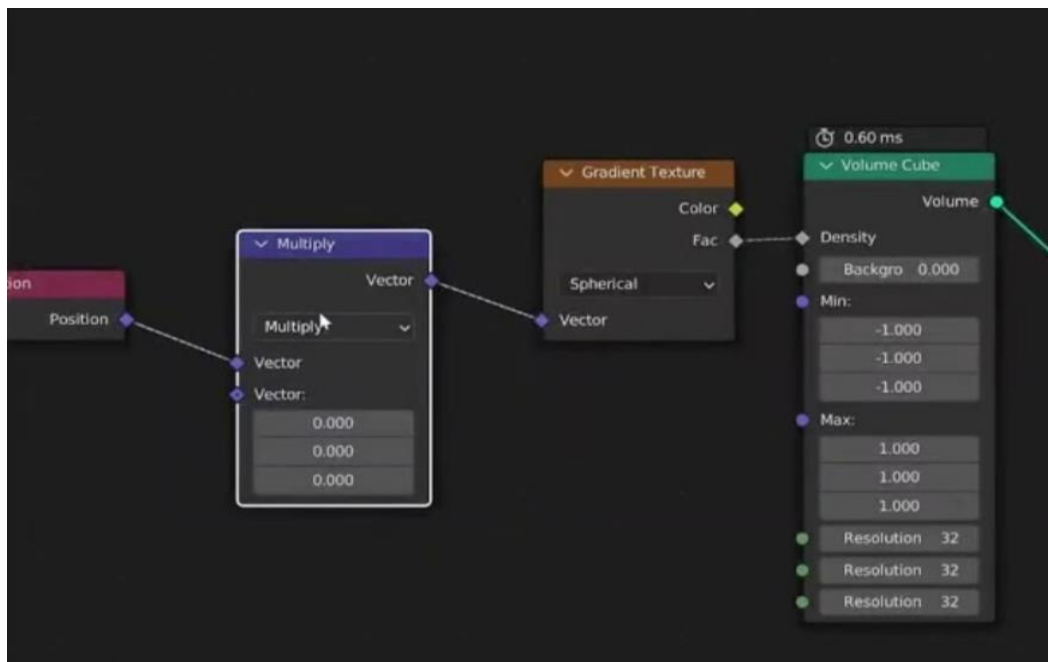


Figure 28 : ajustement des nœuds par Blender (chenine ouassim 2024)

## 2- Affiner le modèle :

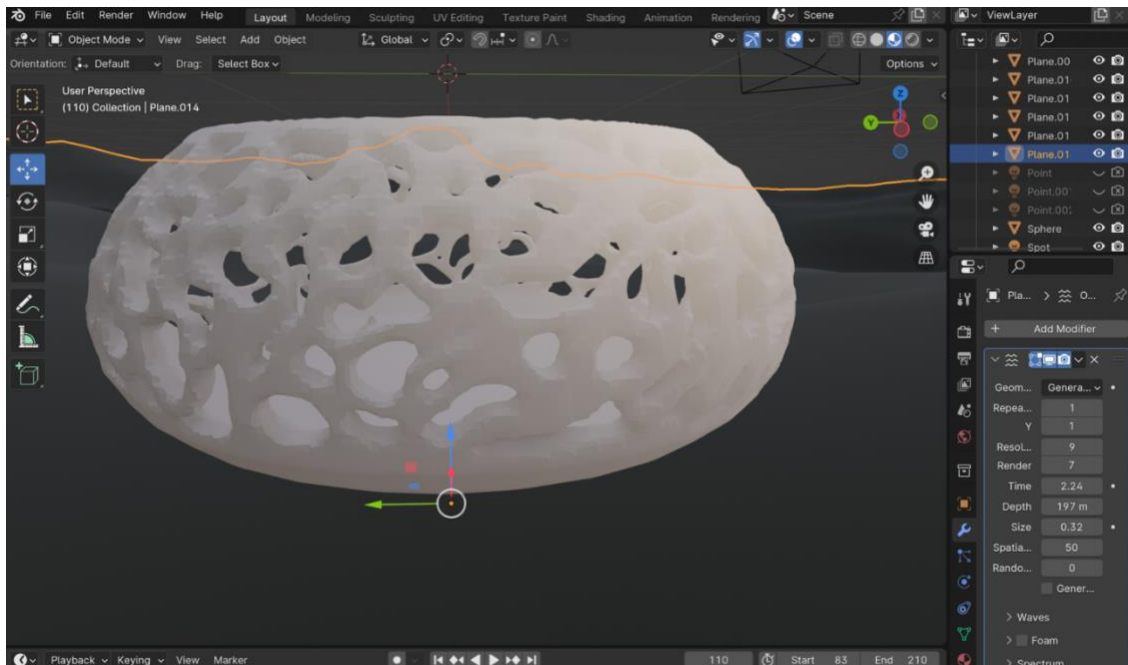


Figure 29 : Structure avec ombrage défini (Chenine ouassim 2024)

## 3- Réalisation du modèle

En utilisant un ballon, on a créé une base qu'on a recouverte de plusieurs couches de papier journal trempé dans de la colle blanche (Fig 30).



Figure 30 : Structure à partir d'un ballon couvert de papier journal

Chaque couche doit sécher avant l'application de la suivante, jusqu'à obtenir une coque dure en papier mâché. Une fois le papier mâché durci, on se sépare du ballon pour obtenir une forme creuse (Fig 31).



**Figure 31** : Résultat après éclatement de balle

Cette structure a ensuite été recouverte d'une pâte spécialement préparée pour obtenir une consistance solide et durable, semblable à de la roche (**Fig 32**).



**Figure 32** : Pâte de papier Journal et colle blanche

Une fois la pâte durcie, on se calque sur l'inspiration de la forme naturelle des éponges de mer réalisée au Blinder (Fig 33).



**Figure 34:** Structure après découpe

La structure a ensuite été recouverte de ciment spécial résistant à l'eau pour assurer sa durabilité dans l'environnement aquatique.



**Figure 35 :** habillage de la structure d'un ciment blanc résistant

Après séchage complet du ciment, on applique une autre couche de ciment pour bien fermer les fissures et avoir une forme plus réaliste.

On ajoute un dispositif d'oxygénation et une source de lumière pour favoriser le développement des algues sur la structure.

**Remarque :** Initialement, l'idée était de créer un écosystème marin, mais en raison de la difficulté à trouver des créatures marines, l'aquarium a été peuplé de poissons d'eau douce.



**Figure 36 :** mise en aquarium de la structure

## **Partie 2 :**

### **Paramètre physico-chimique de l'eau de Mer :**

L'étude a été menée dans des conditions météorologiques variables le long de la région supra-océanique des quatre stations d'étude Stidia, Salamandre, Sidi Lakhdar et Sidi Majdoub (Fig.38, 39, 40, 41).

Les prélèvements ont été réalisés depuis les sites précédemment cités, à des profondeurs variables allant de 0m à 2m en passant par le premier mètre. Les échantillons sont récupérés dans des flacons stériles et étiquetés (Fig 37).

#### **1- Collecte des échantillons :**

L'eau de Mer est récupérée à la surface depuis 0m (supralittoral), 1m (infralittoral supérieur) et 2m (infralittoral inférieur).

Suite à cela une série d'analyses des deux paramètres physico-chimiques (pH et température) choisis est effectuée.

#### **2- Dispositif de détection de pollution :**

Notre appareil dispose comme précédemment expliqué de deux sondes de mesure (Fig :36)

- pH (l'acidité/alcalinité) de l'eau.
- Capteur de température : mesure la température de l'eau.

L'appareil est aussi muni de voyant jaune et rouge pour identifier l'état de santé du milieu.

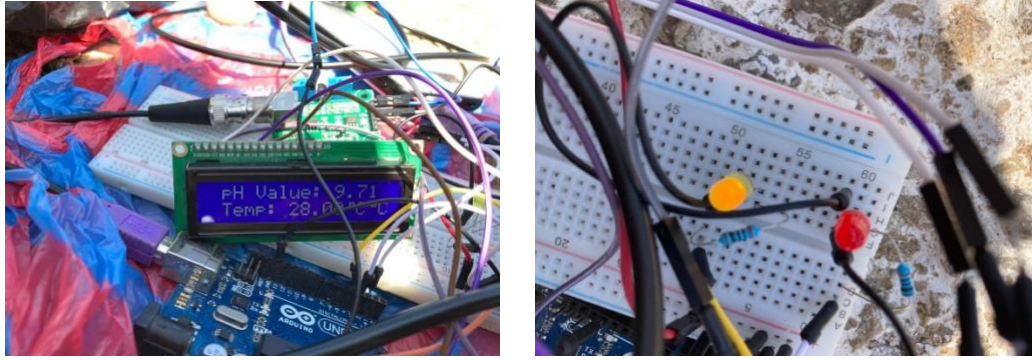


Figure 36 : Système d'éclairage (rouge et jaune)

3- Points de prélèvement :



Figure 37: Flacons de prélèvement stériles d'eau de Mer

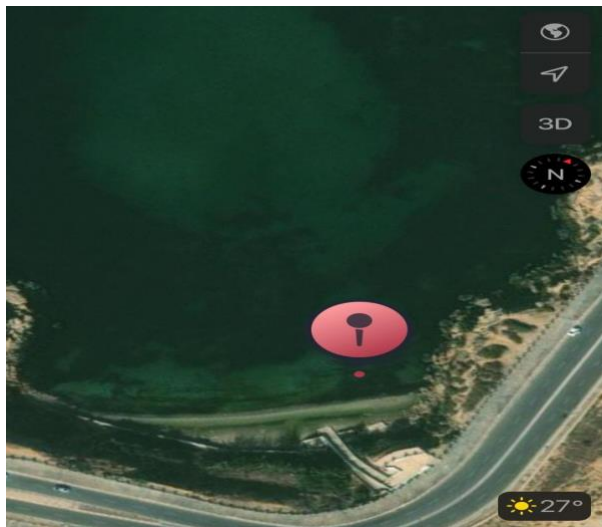


Figure 38 : Site de Stidia

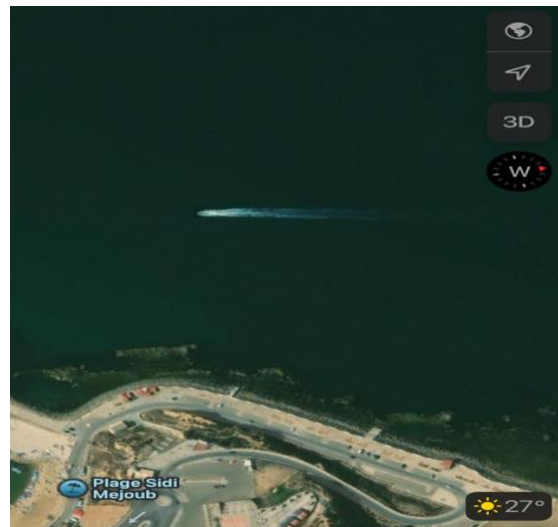


Figure39 : Sidi Mejdoub

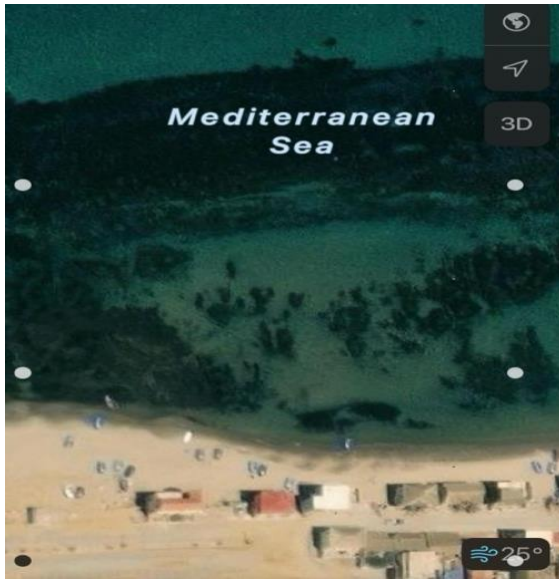


Figure 40 : Sidi Lakhdar ( Petit port)

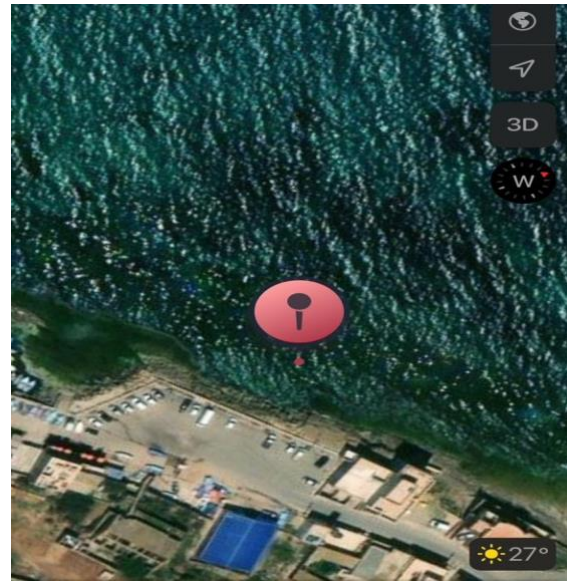


Figure 41 : Salamandre

### 3. Mesure :

#### - Mesures in site :

Le pH et la température ont été mesurés immédiatement après le prélèvement de l'échantillon pour garantir des lectures précises.

#### - Procédure :

L'appareil a été calibré avant chaque session de mesure. Pour chaque échantillon, les capteurs de pH et de température ont été immergés dans l'eau et les lectures ont été enregistrées. Le système d'éclairage de l'appareil indiquerait la qualité de l'eau (rouge pour pollué, jaune pour normal). (Fig41).

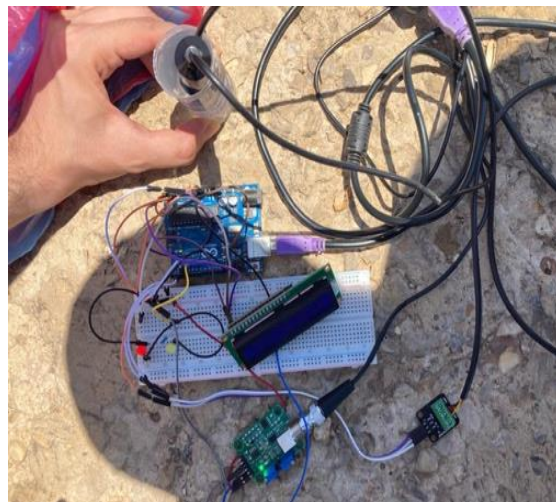


Figure 42 : mesures in situ

L'étude visait dans un premier temps à créer un micro habitat et cela par la mise en place d'une structure basée sur le mimétisme d'une espèce d'éponge marine. Pour la prolifération des espèces faunistiques et floristiques, on se devait d'avoir une surveillance pointue pour détecter la pollution et cela en mesurant les paramètres physicochimiques entre autre le pH et la température à différentes profondeurs dans quatre régions de la côte mostaganémoise.

---

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

---

La pollution aquatique est une menace grave pour les écosystèmes marins et la biodiversité, causée par des activités humaines comme les déversements industriels et l'urbanisation côtière. Cette pollution affecte non seulement la vie marine, mais aussi les communautés humaines dépendant de ces ressources.

Ce projet combine technologie de surveillance avancée et conservation de l'habitat, offrant une approche complète pour lutter contre la pollution aquatique. Nous visons à fournir un outil accessible pour les chercheurs, les opérateurs d'aquaculture, les conservateurs et les communautés locales, afin de protéger et restaurer les écosystèmes marins.

### **I- Fonctionnement et Fiabilité de l'Appareil de mesure des paramètres physico-chimique:**

#### **1-1. Performance du Capteur Multiparamètre :**

Le capteur multiparamètre intégré dans l'appareil surveille efficacement les paramètres choisis de la qualité de l'eau à savoir le pH et la température. Lors de plusieurs tests effectués dans divers environnements aquatiques le capteur a constamment fourni des relevés précis et fiables. La calibration a été vérifiée par rapport à des équipements de laboratoire standard et les résultats ont montré une déviation de moins de 6 % indiquant une haute précision.

#### **1-2. Mécanisme de Détection de la Pollution**

Le mécanisme de détection de la pollution qui utilise un système simple de lumière rouge (polluée) et jaune (non polluée) s'est avéré très efficace. Les chercheurs comme les non-initiés trouveront l'appareil facile à comprendre et à utiliser. Lors des tests sur le terrain, l'appareil a correctement identifié les conditions de l'eau. Ce système de rétroaction visuelle immédiate assure une intervention rapide pour résoudre les problèmes de qualité de l'eau.

**1-3. Résultats des Tests de Terrain:**

**1. Stidia:**

**Tableau 4 :** Valeurs des prises au niveau de stidia à différentes profondeurs

PROFONDEUR	0 M	1 M	2M
PARAMETRES			
<b>pH</b>	<b>9.15</b>	<b>9.50</b>	<b>9.29</b>
<b>Température</b>	<b>27.50°C</b>	<b>28.62°C</b>	<b>27.81°C</b>

**Analyse:**

Les valeurs de pH sont significativement plus élevées qu'un site référentiel (8.00-8.30), indiquant une pollution potentielle. Le système de lumière de l'appareil s'est allumé en **rouge**, confirmant la pollution. La température diminue avec la profondeur, ce qui est un résultat attendu, elles restent relativement élevées ce qui correspond parfaitement aux températures de la période estivale.

**2. Salamandre:**

**Tableau 5:** Valeurs des prises au niveau de Salamandre à différentes profondeurs

PROFONDEUR	0 M	1 M	2M
PARAMETRES			
<b>pH</b>	<b>9.70</b>	<b>9.71</b>	<b>9.30</b>
<b>Température</b>	<b>28°C</b>	<b>27°C</b>	<b>26.12°C</b>

**Analyse:**

Les résultats restent similaires à ceux du site de Stidia. Les valeurs du pH sont au-dessus de la plage normale, témoignant de la présence d'activité anthropique. L'indicateur lumineux de l'appareil s'est allumé en rouge, indiquant une eau polluée. Les mesures de température montrent une légère variation avec la profondeur.

**3. Sidi Mejdoub (Matarba) :**

**Tableau 6 :** Valeurs des prises au niveau de Sidi Mejdoub à différentes profondeurs

<b>PROFONDEUR</b>	<b>0 M</b>	<b>1 M</b>	<b>2M</b>
<b>PARAMETRES</b>			
<b>pH</b>	<b>9.60</b>	<b>9.52</b>	<b>9.46</b>
<b>Température</b>	<b>25.87°C</b>	<b>26°C</b>	<b>25°C</b>

**Analyse:**

Le site de Sidi Majdoub ne fait pas exception aux deux sites précédent et cela par des valeurs de Ph qui restent élevées, signalant ainsi une perturbation. Le voyant s'affiche en rouge évidemment, confirmant ainsi la présence de pollution. La température reste moins importante que celles des deux sites précédents.

**4. Sidi Lakhdar:**

**Tableau 7 :** Valeurs des prises au niveau de Sidi Lakhdar à différentes profondeurs

<b>PROFONDEUR</b>	<b>0 M</b>	<b>1 M</b>	<b>2M</b>
<b>PARAMETRES</b>			
<b>pH</b>	<b>8.75</b>	<b>8.20</b>	<b>8.15</b>
<b>Température</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>25</b>

**Analyse:**

Les valeurs de pH sont plus proches de la plage normale mais toujours légèrement élevées. La température des eaux sur les trois profondeurs indique des valeurs correctes. Le système lumineux affiche la lumière jaune, indiquant une eau normale.

Au finale on peut dire que des quatre sites d'échantillonnage, le site de Sidi Lakhdar s'avère être le plus au moins référentiel.

### **1.5 Applications Potentielles et Impact :**

#### **Surveillance Environnementale :**

Cet appareil peut être un outil précieux pour les programmes de surveillance environnementale. Sa capacité à fournir des données en temps réel sur la qualité de l'eau et à alerter les utilisateurs de la pollution en fait une solution proactive pour maintenir la santé aquatique. La facilité d'utilisation et la rétroaction visuelle immédiate le rendent accessible à un large éventail d'utilisateurs, des chercheurs professionnels aux bénévoles communautaires.

#### **Aquaculture et Pêcheries**

Dans les environnements d'aquaculture, le maintien d'une qualité d'eau optimale est crucial. Cet appareil peut aider les opérateurs d'aquaculture à surveiller et à gérer les conditions de l'eau de manière plus efficace, assurant la santé et la croissance des espèces cultivées. De plus, sa conception d'habitat peut améliorer la durabilité des fermes piscicoles en fournissant des environnements naturels pour les poissons.

#### **Efforts de Conservation**

Son déploiement dans des habitats menacés pourrait aider à la restauration et à la préservation de la biodiversité. En fournissant un environnement stable et adapté pour diverses espèces, il peut contribuer à la résilience et à la récupération des écosystèmes.

### **II- Avantages Structurels et Aptitude à Servir de Habitat :**

#### **II- 1 Conception Structurale et Résistance à l'Eau:**

Inspirée par la structure naturelle des éponges de mer, le réseau poreux interconnecté imite la capacité de l'éponge à dissiper l'énergie des vagues, réduisant le risque de dommages structurels.

#### **II-2 Habitat pour la Vie Marine**

La structure semblable à une éponge fournit non seulement une résistance mécanique mais crée également un habitat idéal pour les organismes marins offrant ainsi un abri et des terrains de reproduction favorisant la biodiversité. Les observations de la structure mise en place ne témoignent malheureusement pas de ce que la théorie avance, et on relie ce résultat directement au manque de

## *Chapitre 6: Résultats et Discussion*

temps qui aurait très certainement permis aux microalgues de s'y installer et de créer un micro-habitat.

Les résultats démontrent que l'appareil est un outil fiable et efficace pour la surveillance de la qualité de l'eau et l'amélioration des habitats. Sa conception facilite un engagement communautaire plus large dans la gestion de l'environnement. En rendant la technologie de surveillance sophistiquée accessible aux non-experts, l'appareil permet à un plus grand nombre de personnes de participer aux efforts de conservation.

Bien que l'appareil fonctionne bien dans sa forme actuelle, les futures itérations pourraient bénéficier de capteurs supplémentaires pour surveiller davantage de paramètres tels que l'oxygène dissous et la turbidité. L'intégration de la transmission de données sans fil pourrait encore améliorer son utilité, permettant une surveillance et une analyse des données à distance.

La combinaison de la surveillance en temps réel et du soutien aux habitats représente une avancée significative dans les technologies de gestion aquatique. Le succès de cet appareil pourrait inspirer des innovations similaires dans diverses applications de surveillance environnementale, promouvant des pratiques durables et améliorant les résultats écologiques.

---

# CONCLUSION

---

## *Conclusion*

L'appareil développé marque une avancée significative dans la surveillance de la qualité de l'eau et la promotion de la biodiversité marine. Grâce à un capteur multiparamètre, il mesure avec précision des paramètres clés tels que le pH et la température, permettant une détection rapide et fiable de la pollution. Le mécanisme de rétroaction visuelle, qui utilise des lumières rouge et jaune, assure une utilisation simple et intuitive.

En aquaculture, il aidera à surveiller et gérer les conditions de l'eau, assurant la croissance et la santé des espèces cultivées. Pour les efforts de conservation, il offre un double avantage en surveillant la qualité de l'eau tout en soutenant la vie marine, contribuant ainsi à la restauration et à la préservation des écosystèmes menacés.

Inspirée par la structure naturelle des éponges de mer, la conception de l'appareil intègre une résistance accrue aux forces des vagues. Cette structure poreuse, dissipe efficacement l'énergie des vagues, réduisant ainsi le risque de dommages structurels.

Au-delà de sa robustesse, l'appareil crée un habitat idéal pour une variété d'organismes marins. Les observations faites sur la structure réalisée n'ont révélé aucune colonisation rapide par des algues et autres microorganismes, par contre à l'observation on a pu voir que l'installation de poissons à l'intérieur de la structure était immédiate, laissant à croire que ça fera la prochaine nurserie qui par sa conception poreuse offre des refuges et des terrains de reproduction, favorisant la résilience des écosystèmes.

Les perspectives d'amélioration pour cet appareil sont prometteuses. L'ajout de capteurs pour d'autres paramètres tels que l'oxygène dissous et la turbidité, ainsi que l'intégration de la transmission de données sans fil, pourraient augmenter son utilité et son efficacité. De telles améliorations permettront une surveillance et une analyse des données à distance, renforçant encore les capacités de gestion environnementale.

L'appareil développé représente une fusion réussie de technologie et de conception biomimétique, offrant une solution écologique pour la gestion de la qualité de l'eau.

En Perspective, notre appareil portera plus d'innovation en intégrant des technologies avancées telles que l'intelligence artificielle pour l'analyse prédictive des données environnementales et la connectivité Internet des objets (IoT) pour une surveillance à distance. Ces améliorations permettront une gestion proactive et préventive des écosystèmes aquatiques, renforçant ainsi leur résilience face aux défis environnementaux actuels et futurs.

---

## ***RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

---

- **Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1997).** Toxicological profile for tetrachloroethylene (PERC). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- **Aizenberg, J., Addadi, L., Weiner, S. (2003).** Biological mechanisms of skeletal biomineralization: Lessons from the sponges. *Annual Review of Materials Research*, 33, 399-428.
- **Benghali, S.( 2015).** Biologie et dynamique de la population de la moustelle blanche *Phycis blennoides* (Brünnich, 1768) pêchée dans la région de Mostaganem. Thèse de doctorat (3e cycle), Université d’Oran, Algérie. 501 p
- **Benzohra, M., (1993).** Les structures hydrodynamiques le long des côtes algériennes. In“Water Circulation Sea and Pollution in the Maghrebian Coasts of the Mediterranean Sea”, Ed. Inoc. IZMIR. TURKIYE: 33-45.
- **Bilotta, G. S., & Brazier, R. E. (2008).** Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42(12), 2849-2861.
- **Boudouaya. F.Z. (2011).** op cite.  
Cas de la région Mostaganem:34-40 p
- **Chapman, D. V. (1996).** Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. *E & FN Spon. ISBN: 0419215905*
- **Daniel C Nepstad , Claudia M Stickler, Britaldo Soares- Filho et Frank Merry; (2008).** Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point.,*Id pubmed central*. 363(1498): 1737–1746.
- **Darren Warburton; (2017).** L’incroyable éponge de mer.
- **de Leon, A. C., Chen, Q., Palaganas, N. B., Palaganas, J. O., Manapat, J. Z., & Advincula, R. C. (2016).** High performance polymer nanocomposites for additive manufacturing applications. *Reactive and Functional Polymers*, 103, 141-155.
- **De Vos L., Rützler K., Boury-Esnault N., Donadey C. & Vacelet J., (1991).** Atlas de morphologie des Eponges – Atlas of sponge morphology. Smithsonian Institution Press, Washington, 117 p.

- **Derby, B. (2010).** Inkjet printing of functional and structural materials: Fluid property requirements, feature stability, and resolution. *Annual Review of Materials Research*, 40, 395-414.
- **Dodds, W. K., & Whiles, M. R. (2010).** *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology. Academic Press.* ISBN: 0123747240.
- **Ehrlich, H., Worch, H., & Bäuerlein, E. (2010).** Silica biomineralization in sponges: The involvement of collagenous and noncollagenous proteins in spiculogenesis. *Advanced Functional Materials*, 20(23), 3948-3954.
- **Fizli.Z; 2020. Fiche de TD\_Hydrochimie\_L3\_Hydro,** Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau au laboratoire, Ferhat Abbas, université de Setif.
- **GESAMP (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) (2007).** Estimates of oil entering the marine environment from sea-based activities. Reports and Studies GESAMP No. 75.
- **Goeury D., (2014).** "La pollution marine", in Woessner Raymond (dir.), Mers et océans, Paris : Atlante, Clefs concours
- **Heliyon, (2020).** Plastic pollution in the marine environment6(8): e04709.
- **Horne, A. J., & Goldman, C. R. (1994).** *Limnology.* McGraw-Hill. ISBN: 0070236739.
- **Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A & Law, K. L. (2015).** Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- **Jennar. Jambeck , Roland Geyer, Chris Wilcox, Theodoror. Siegler, Miriam Perrym an, Anthony Andrady, Ramani Narayan, and kara Lavender Law (2015).** Plastic waste in the ocean has emerged as a pressing global crisis garnering increasing attention from the scientific community. *Sources of Marine Pollution.*
- **Korichi, H-S., (1988).** Contribution a l'étude biologique de deux espèces de saurels *Trachurus trachurus* (Linné, 1758) et *Trachurus mediterraneus* (Stindachner, 1868) et la dynamique de *Trachurus trachurus* (Linné, 1758) en baie de Bou Ismail (Alger). *mémoire de Magister, ISMAL, Alger:* 260.
- **Lewis, J. A. (2006).** Direct ink writing of 3D functional materials. *Advanced Functional Materials*, 16(17), 2193-2204.

- **MacLeod, M., Arp, H. P. H., Tekman, M. B., Jahnke, A., (2021).** The global threat from plastic pollution. *Science* 373 (6550), 61–65.
- **Manuel M., Boury-Esnault N. & Vacelet J., (2003).** L'éponge... une république cellulaire. *Pour la Science*, 310 : 69-75.
- **MEGHERBI W.(2015).** L'ensablement, un risque négligé en zone tellienne littorale Cas de la région Mostaganem.,16p.
- **Megherbi .w ; (2015).** L'ensablement, un risque négligé en zone tellienne littorale
- **Melchels, F. P. W., Feijen, J., & Grijpma, D. W. (2010).** A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. *Biomaterials*, 31(24), 6121-6130.
- **Meyers, M. A., Chen, P. Y., Lin, A. Y. M., & Seki, Y. (2008).** Biological materials: Structure and mechanical properties. *Progress in Materials Science*, 53(1), 1-206.
- **Mezali K., (2007).** Etude de la pollution de la côte de Mostaganem et étude systématique et écologique de la patelle *Patella ferruginea* (Gmelin, 1971) dans la zone de Stidia, Algérie. 7eme Congrès Maghrébin des Sciences de la Mer et 1<sup>er</sup> Congrès Franco-Maghrébin de zoologie et d'Ichtyologie sous le thème : Environnement aquatique et ses ressources, Connaissances, gestion et valorisation- El Djadida (Maroc) du 4 au 7 novembre 2007. P. 130
- **Millot C. (1987).** Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 10 (2): 143- 149.
- **Millot, C., (1985).** Some features of the Algerian current. *J. geophy. Res.*, 90 (C4): 7169-7176 p.
- **Miquel, M. (2001).** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (Dir). Rapport Sénat n° 261 : 360.
- **Moran, M. J., Zogorski, J. S., & Squillace, P. J. (2007).** Chlorinated solvents in groundwater of the United States. *Environmental Science & Technology*, 41(1), 74-81. doi:10.1021/es061553y
- **Mortara, L., Hughes, J., Ramsundar, P. L. F., & Probert, D. (2009).** Proposed classification scheme for direct writing technologies. *Rapid Prototyping Journal*, 15(4), 299-309.

- **Peeken, I., Primpke, S., Beyer, B., Gütermann, J., Katlein, C., Krumpen, T., Bergmann, M., Hehemann, L., Gerdts, G., (2018).** Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. *Nat Commun* 9 (1), 1–12
- **Peng, X., Chen, M., Chen, S., Dasgupta, S., Xu, H., Ta, K., Du, M., Li, J., Guo, Z., Bai, S., (2018).** Microplastics contaminate the deepest part of the world’s ocean. *Geochem Perspect Lett* 9 (1), 1–5.
- **Pham, D. T., & Gault, R. S. (1998).** A comparison of rapid prototyping technologies. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38(10-11), 1257-1287.
- **Region de bruxelles-capitale (2005).** « Arrêté du Gouvernement de la Région de BruxellesCapitale du 30 juin 2005 remplaçant l’annexe II à l’arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles Capitale du 20 septembre 2001 relatif à la protection des eaux de surface contre la pollution causée par certaines substances dangereuses », MB du 07.09.2005.
- **S.J. Plenty and P. Aldous, (2018).** *Freshwater Pollution: Ecological Impact Assessment and Remediation*, FR/R0029.
- **Saadani, S. &. (2002).** Comportement des bétons à base de granulats recyclés. Constantine: Université Mentouri Constantine.
- **Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. ,(1999).** Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1-3), 179-196. doi:10.1016/S0269-7491(99)00091-3
- **Stumm, W., & Morgan, J. J. (1996):** *Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. Aquatic Chemistry.* Wiley. ISBN: 0471511854.
- **Sylvain Le Bris; (2019).** Généralité sur les éponges., *Environnement et biosubaquatique.*
- **Tornero V., Hanke G. (2016).** Water pollution arises from a multitude of sources with urban sewage and industrial waste standing out as the primary culprits. (*Marine Pollution Bulletin* 112).
- **Tornero, V., & Hanke, G. (2016).** Chemical contaminants entering the marine environment from sea-based sources: A review with a focus on European seas. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1-2), 17-38.
- **Tornero. V, Hanke. G. (2016).** *Marine Pollution Bulletin* 112. P:17–38.

## *Références bibliographiques*

- **Villarrubia-Gómez, P., Cornell, S. E., Fabres, J., (2018).** Marine plastic pollution as a planetary boundary threat – The drifting piece in the sustainability puzzle. *Mar Policy* 96, 213–220
- **Wang, X., & Li, X. (2008).** *Nano to macro mechanical properties of sponge spicules and their hierarchical structure.* *Acta Biomaterialia*, 4(6), 1681-1688.
- **Weaver, J. C., Morse, D. E., & Aizenberg, J. (2007).** Hierarchical assembly of the siliceous skeletal lattice of the hexactinellid sponge *Euplectella aspergillum*. *Journal of Structural Biology*, 158(1), 93-106.
- **Wetzel, R. G. (2001).** *Limnology: Lake and River Ecosystems.* Academic Press. ISBN: 0127447601.
- **Wilber, C. G. (1969).** *The Biological Aspects of Water Pollution.* Charles C. Thomas. ISBN: 0398001696
- **World Resources Institute (1994),** *The 1994 Information Please Environmental Almanac* (Boston : Houghton Mifflin Company,), 101.