

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme

d'Ingénieur et Master en Sciences de la Mer

Option : Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier

Thème :

**Les paramètres physicochimiques dans l'eau de mer et le sédiment de la  
plage Ouest de Sidi Fredj**

Présenté par :

**BOUZEGHADA Imen**

**DAD Khedidja**

Soutenu le 14/11/2020 devant le jury composé de :

<b>M. LOURGUIOUI, H.</b>	<b>Maître- conférences B</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Président</b>
<b>M. DRICHE, M.</b>	<b>Maître- conférences A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Promoteur</b>
<b>M. AROUA, M.</b>	<b>Doctorant</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examineur</b>
<b>M.ZERROUKI, M.</b>	<b>Maître- Assistant A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examineur</b>

**Année universitaire : 2019-2020**

## Remerciement

*En tout premier lieu, nous remercions **ALLAH**, tout puissant, de nous avoir donné la force, la volonté, le courage et surtout la santé pour réaliser ce travail.*

*Au terme de ce travail, une grande gratitude à notre encadreur Monsieur **DRICHE M**, qui nous soutient pendant toutes les étapes de mémoire en manifestant un grand intérêt pour notre travail.*

*On tient à remercier également les membres de Jury qui nous ont fait l'honneur de juger ce travail:*

*Monsieur **LOURGUIOUI, H** Maitre de conférences B à l'ENSSMAL qui nous fait l'honneur de présider le jury.*

*Monsieur **AROUA, M** Doctorant à l'ENSSMAL d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Monsieur **ZERROUKI, M** Maitre-assistant A à l'ENSSMAL d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin, par un geste, une parole ou un conseil, nous leur disons merci.*

*Sans oublier tous nos enseignants de l'ENSSMAL qui nous ont assurés des études de haut niveau et qui nous permis d'acquérir des connaissances.*

*Dédicace*

*Je dédie ce travail à :*

*Mes parents,*

*Mes frères Abd El hafid et Ibrahim*

*Et ma sœur Fatiha,*

*Et à ma grande famille*

*A tous mes amis Khiera, Ficha, Khadija*

*Amen*

*Du plus profond de mon cœur, je dédie ce travail :*

*Avant tout à ma mère qui m'a donné le courage pour la réussite de ce mémoire.*

*Aucune dédicace ne serait exprimer mon amour et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous portez depuis mon enfance.*

*A ma chère et seule sœur Nacira,*

*A mon oncle Mahmoud,*

*A mon fiancé,*

*A ma famille,*

*A tous mes proches pour leurs soutiens et leurs confiances, sans eux ce travail n'aurait pas pouvoir le jour.*

*Khedidja*

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**°C** : Degré Celsius

**ENSSMAL** : Ecole National Supérieur des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

**GESAMP** : Groupe des Experts Scientifiques et Aspect de Protection de l'environnement Marin

**GPS** : Global Positioning System

**h** : heure

**km** : kilomètre.

**ml** : millilitre.

**mg** : milligramme

**L.E.M** : Laboratoire d'Etude Maritime

**MES** : Matière En Suspension

**mg/l** : Milligramme par litre

**MO** : Matière Organique

**NH<sub>3</sub>** : Ammoniac

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : Ammonium

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : Nitrites

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Nitrates.

**OD** : l'Oxygène Dissous

**P** : Poids

**pH** : Potentiel d'Hydrogène

**P.N.U.E** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

**POPs** : Polluants Organiques Permanent

**PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, HPO<sub>4</sub><sup>-</sup>** : les Orthophosphates

**PSU** : Practical Salinity Unit

**S** : Salinité

**Si** : Silicium.

**St** : Stations.

**V** : Volume.

**µm** : Micromètre

<b>Tableau 01</b> : classes granulométriques d'un matériau ( <b>Liang Y., 2012 in Zerouali et al ., 2016</b> ).....	14
<b>Tableau 02</b> : la Répartition des différents types de sédiment.....	20
<b>Tableau 03</b> : Classification des grains de sables ( <b>Folk et Ward, 1954</b> ).....	41
<b>Tableau 04</b> : classement des sédiments selon l'indice de Trask So. ( <b>Folk ,1966</b> ).....	42
<b>Tableau 05</b> : classement des sédiments selon l'indice de Skewnes SK. ( <b>Folk ,1966</b> ).....	43
<b>Tableau 06</b> : comparaison de taux de matière organique dans le sédiment, paramètres et indices granulométriques des sédiments au niveau de plage ouest de Sidi Fredj entre l'année 2011 et 2017 au niveau de la station St6.....	56

<b>Figure 01</b> : Cycle global des sels nutritifs : production et minéralisation de la matière organique (Jacques et Tréguer, 1986).....	10
<b>Figure 02</b> : Situation géographique de la zone d'étude (Google earth, 2020).....	17
<b>Figure 03</b> : Rejet d'eau usée.....	18
<b>Figure 04</b> : Rejet de centre de thalassothérapie.....	18
<b>Figure 05</b> : Rejets d'eaux domestiques directes.....	18
<b>Figure 06</b> : Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la Baie de Bou-Ismaïl (Belkessa et al., 2008; Alsid Chikh et al., 2009).....	22
<b>Figure 07</b> : Carte de positionnement des stations de prélèvement de littoral Ouest de Sidi Fredj....	24
<b>Figure 08</b> : Bouteille de prélèvement de type NISKIN.....	25
<b>Figure 09</b> : Benne de prélèvement du sédiment de type Van-veen.....	26
<b>Figure 10</b> : Four à moufle de type WiseTherm.....	28
<b>Figure 11</b> : Dispositif de filtration de marque Millipore®.....	29
<b>Figure 12</b> : Dessiccateur.....	29
<b>Figure 13</b> : Balance de précision .....	29
<b>Figure 14</b> : pH mètre.....	34
<b>Figure 15</b> : Auto Analyser San Plus (SKALAR®,1998).....	35
<b>Figure 16</b> : Les étapes principales de la granulométrie.....	39
<b>Figure 17</b> : Représentation graphique et cartographique de la variation de la température.....	46
<b>Figure 18</b> : Représentation graphique et cartographique de la variation de salinité.....	47
<b>Figure 19</b> : Représentation graphique et cartographique de la variation de pH.....	48
<b>Figure 20</b> : Représentation graphique et cartographique de la variation de teneur en MES (mg/l)..	49
<b>Figure 21</b> : Représentation graphique de variation des teneurs en MOP.....	50
<b>Figure 22</b> : Représentation graphique de variation de concentrations de la chlorophylle a (µg/l)....	51
<b>Figure 23</b> : Représentation graphique de variation de concentrations des Nitrites (µmol/l).....	52
<b>Figure 24</b> : Représentation graphique de variation de concentrations des Nitrates (µmol/l).....	53
<b>Figure 25</b> : Représentation graphique de variation de concentrations des Orthophosphates (µmol/l)	54

<b>Figure 26</b> : Représentation graphique de variation de concentrations des silicates ( $\mu\text{mol/l}$ ).....	55
<b>Figure 27</b> : Répartition de Q25 au niveau de littoral Ouest de Sidi Fredj entre 2011 et 2017.....	56
<b>Figure 28</b> : Répartition de Q 50 au niveau de littoral Ouest de Sidi Fredj entre 2011 et 2017.....	57
<b>Figure 29</b> : Répartition de Q75 au niveau de littoral Ouest de Sidi Fredj entre 2011 et 2017.....	57
<b>Figure 30</b> : Répartition d'indice de tri $S_o$ au niveau de littoral Ouest de Sidi Fredj entre 2011 et 2017.....	58
<b>Figure 31</b> : Répartition d'indice d'asymétrie au niveau de littoral Ouest de Sidi Fredj entre 2011 et 2017.....	58
<b>Figure 32</b> : Représentation graphique de variation du pourcentage de la MO.....	59

**Remerciement**

**Dédicace**

**Liste des acronymes**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Introduction générale.....2**

**Chapitre I : Synthèse bibliographique**

1 Généralités.....4

1.1 La pollution marine.....4

1.1.1 Définition.....4

1.1.2 Les principaux types de pollution.....4

1.1.2.1 Pollution chimique.....4

1.1.2.2 Pollution biologique .....4

1.1.2.3 Pollution physique.....5

1.1.3 Sources de pollution .....5

1.1.3.1 Pollution domestique.....5

1.1.3.2 Pollution industrielle.....5

1.1.3.3 Pollution agricole .....6

1.1.4 Descripteurs physico-chimiques des milieux marins.....6

1.1.4.1 La température.....6

1.1.4.2 La salinité.....7

1.1.4.3 Potentiel d'hydrogène (pH).....7

1.1.5 Les paramètres indicateurs de pollution.....8

1.1.5.1 Matière en suspension (MES).....8

1.1.5.2 Matière organique particulaire (MOP).....	8
1.1.6 Les sels nutritifs.....	8
1.1.6.1 Origines des sels nutritifs .....	8
a. Source interne.....	9
b. Source externe.....	9
1.1.6.2 Cycle biogéochimique des sels nutritifs.....	9
1.1.6.2.1 La photosynthèse.....	10
1.1.6.2.2 La minéralisation.....	10
1.1.6.2.3 L'excrétion.....	11
1.1.6.2.4 La nitrification .....	11
1.1.6.2.5 La dénitrification.....	11
1.1.6.3 Rapport de Redfield.....	11
1.1.6.4 Chlorophylle a.....	12
1.1.6.5 Eutrophisation.....	12
1.2 Les sédiments .....	12
1.2.1 Définition et origine.....	12
1.2.2 Caractéristiques d'un sédiment.....	13
1.2.2.1 Granulométrie des sédiments.....	13
1.2.2.2 Composition des sédiments.....	14
a. La phase eau.....	14
b. La phase inorganique.....	15
c. La phase organique.....	15

**Chapitre II : Présentation de la zone d'étude**

2. La zone d'étude .....17

    2.1 Situation géographique .....17

    2.2 Présentation du site d'étude : littoral Ouest de Sidi Fredj .....18

        2.2.1 Plage de Thalassothérapie.....18

        2.2.2 Plage Ouest de Sidi Fredj .....18

    2.3 Cadre géologique .....19

        2.3.1 Géologie régionale .....19

        2.3.2 Géologie locale.....19

    2.4 Couverture sédimentaire .....19

    2.5 Facteurs hydrodynamiques .....20

        2.5.1 La Température .....20

        2.5.2 Précipitation .....21

        2.5.3 Les Vents .....21

        2.5.4 les Houles.....21

        2.5.5 Les Courants .....21

    2.6 Réseau hydrographique.....22

**Chapitre III : Matériels et Méthodes**

3.1 Choix et localisations des stations .....24

3.2 Prélèvement et échantillonnage .....25

    3.2.1 Conditionnement du matériel .....25

    3.2.2 Prélèvement d'eau de mer .....25

3.2.3 Prélèvement du sédiment .....	26
3.3 Mesure des paramètres physico-chimiques .....	26
3.3.1 Les mesures in situ.....	26
3.3.2. Analyses au laboratoire .....	27
A. Analyse de l'eau de mer .....	27
1. Analyse de la matière en suspension .....	27
1.1 Principe de la méthode .....	27
1.2 Matériels et Appareils utilisés.....	27
1.3 Mode opératoire .....	28
1.3.1 Conditionnement des filtres au laboratoire avant la sortie .....	28
1.3.2 Filtration de l'eau de mer .....	28
1.4 Calcul et expression des résultats .....	29
2 Analyse de la matière organique particulaire .....	29
2.1 Principe de la méthode .....	29
2.2 Matériels et Appareils .....	30
2.3 Mode opératoire .....	30
2.4 Calcul et expression des résultats .....	30
3. La chlorophylle « a » .....	30
3.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire .....	31
3.1.1Principe de la méthode.....	31
3.2 Matériel et appareillage .....	31
3.3 Réactifs .....	31

3.4 Mode opératoire .....	31
3.4.1 Filtration et conservation.....	31
3.4.2 Extraction des pigments.....	31
3.4.3 Centrifugation et la mesure spectroscopique.....	32
3.4.4 Mesure d'absorbance.....	32
3.5. Calcul et expression des résultats.....	32
4. pH.....	33
4.1 Principe de la méthode.....	33
4.2 Prélèvement et conservation .....	33
4.3 Analyse au laboratoire .....	33
4.3.1 Etalonnage de l'appareil .....	33
4.3.2 Mesure de pH .....	34
5. Sels nutritifs .....	35
5.1 Méthode d'analyse .....	35
5.1.1 Principes de la méthode .....	35
5.1.2 Analyse automatique des sels nutritifs .....	36
5.2 Etalonnage.....	37
B. Analyses du sédiment .....	37
1. Détermination de l'humidité et de la perte au feu.....	37
1.1 Matériel spécial.....	37
1.2 Mode opératoire.....	37
2. Analyse de la matière organique .....	37

2.2 Préparation de l'échantillon.....	38
2.3 Matériels et appareillage .....	38
2.4 Mode opératoire .....	38
3. Analyse granulométrique .....	38
3.1 Principe de la méthode .....	38
3.2 Matériels et appareillage .....	40
3.3 Mode opératoire .....	40
3.4 Les paramètres et indices granulométriques .....	41
3.4.1 Les paramètres centraux ou de position .....	41
3.4.1.1 La médiane .....	41
3.4.1.2 Les quartiles .....	41
3.4.2 Les indices granulométriques .....	42
3.4.2.1 Indice de classement de Trask ou indice de tris.....	42
3.4.2.2 Indice d'asymétrie ou indice de Skewnes (SK) .....	43
 <b>Chapitre IV : résultats et discussions</b>	
A. Etude comparative des paramètres mesurés au niveau de la plage Ouest de Sidi Fredj entre les années 2011, 2012 et 2017.....	45
1 Les paramètres physicochimiques.....	46
1.1 La température.....	46
1.2 Salinité.....	47

1.3. Le potentiel d'hydrogène.....	48
2. Paramètres indicateurs de la pollution.....	49
2.1 Matières en suspension.....	49
2.2 Matière Organique Particulaire (MOP) dans l'eau.....	50
3. Chlorophylle a.....	51
4. Les sels nutritifs.....	52
4.1 Les Nitrites « $\text{NO}_2^-$ » ( $\mu\text{mol/l}$ ).....	52
4.2 Les Nitrates « $\text{NO}_3^-$ » ( $\mu\text{mol/l}$ ).....	53
4.3 Les orthophosphates « $\text{PO}_4^{3-}$ ».....	54
4.4 Les silicates « $\text{H}_4\text{SiO}_4$ dissous ».....	55
B. Etude comparative des paramètres et indices granulométriques des sédiments entre 2011 et 2017 au niveau de la station St6.....	56
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>61</b>
<b>Références bibliographique.....</b>	<b>63</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>68</b>

# **Introduction générale**

Le milieu marin et, à plus forte raison, les milieux côtiers et estuariens sont soumis à de perpétuels changements d'origines physique, chimique et biologique (**Aminot A., 1983**).

La pollution est un problème d'actualité, elle affecte pratiquement tous les écosystèmes, y compris l'environnement marin.

Le littoral Algérien présente un patrimoine environnemental et écologique riche et varié tant par sa valeur intrinsèque, il connaît à son tour une dégradation progressive engendrée par des facteurs naturels et/ou anthropiques. Cette zone côtière représente des systèmes très vulnérables, elle est le support de nombreux aménagements et d'activités humaines.

L'étude du milieu marin actuellement est l'une des préoccupations majeures de toute la communauté scientifique pour la préservation de ce milieu marin et ses ressources.

L'objectif principal de notre travail est de comparer les résultats des paramètres mesurés au niveau de la plage Ouest de Sidi Fredj entre les années 2011, 2012 et 2017.

Notre mémoire s'articulera selon la démarche suivante :

- Le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique qui concerne des généralités sur la pollution marine et les différents paramètres physico-chimiques.
- Le deuxième chapitre consiste à une présentation de notre zone d'étude avec ses caractéristiques météorologiques, géologiques et hydrologiques.
- Le troisième était réservé à la description des matériels et méthodes.
- Le dernier chapitre sera dédié à la discussion des différents résultats obtenus

Finalement nous terminerons par une conclusion générale.

# **Synthèse bibliographique**

## 1.1. La pollution marine

La pollution marine résulte de tous les produits rejetés dans les mers et les océans en conséquence de l'activité humaine. Cette pollution arrive dans le milieu marin par le vecteur des voies fluviales, des vents, de l'air en basse altitude ou directement rejetée à la mer.

### 1.1.1. Définition

Selon la convention de MONTEGO-BAY 1982 des nations unies sur le droit de la mer, le terme de pollution fait l'objet d'une définition reconnue par l'ensemble de la communauté scientifique internationale (GESAMP), comme étant : « *l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) occasionnant des effets néfastes tels que des nuisances envers les ressources biologiques, des risques pour la santé de l'homme, des entraves aux activités maritimes (y compris la pêche), une altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et une dégradation des valeurs d'agrément* » (Ramade, 2000).

### 1.1.2. Les principaux types de pollution

#### 1.1.2.1. Pollution chimique

Cette pollution est due à l'entrée d'un ou plusieurs éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau de mer. Ces éléments peuvent être soit organiques, minéraux ou des composés organochlorés (Amrouche et Khechni, 2012).

Deux types de paramètres permettent d'évaluer l'état de cette pollution :

- Les paramètres globaux qui résultent de la juxtaposition des effets de plusieurs substances en même temps par exemple le pH, la turbidité et la demande chimique en oxygène ;
- les paramètres spécifiques qui caractérisent des composés de mêmes propriétés chimiques (Kankou, 2004).

#### 1.1.2.2. Pollution biologique

Il s'agit de la pollution par les micro-organismes (bactéries, virus, parasites, champignons et les phycotoxines). Parmi ces polluants, la pollution bactérienne est de loin la plus répandue et la plus étudiée. Dans le milieu marin, les bactéries servent de nourriture à de nombreux organismes marins, elles favorisent la fixation d'algues ou de larves sur certains substrats, elles permettent également la dégradation de certains polluants tels que les pesticides et les hydrocarbures.

Cependant leurs effets peuvent être nuisibles. Certaines bactéries ont la capacité de concentrer des polluants tels que les métaux lourds (mercure), leur consommation par des mollusques filtreurs ou des vers peut contaminer la chaîne alimentaire (**Equinox, 1990**).

### 1.1.2.3. Pollution physique

- **Pollution thermique** : qui est engendrée par l'introduction des centrales thermiques sur littoral (utilisant l'eau pour le refroidissement des machines).
- **Pollution radioactive** : liée à la matière radioactive, qui se résulte des centrales nucléaires et des usines de traitement des combustibles irradiés.
- **Pollution mécanique** : c'est une pollution due aux décharges des particules solides apportés par les eaux de ruissellement et les eaux égouts.

On parle de ce type de pollution quand le milieu marin est modifié dans sa structure physique par divers facteurs.

### 1.1.3. Sources de pollution

Selon la source des substances polluantes, on caractérisera :

#### 1.1.3.1. Pollution domestique

Dues aux rejets d'effluents domestiques qui sont des eaux résiduaires véhiculées en mer directement sans épuration (**Bachouche, 2010**).

La pollution domestique se caractérise par (**Gaujous, 1998**) :

- Des germes fécaux.
- Des fortes teneurs en matière organique.
- Des sels minéraux (azote, phosphore...etc.).
- Des détergents.

#### 1.1.3.2. Pollution industrielle

La pollution industrielle est la pollution de l'environnement par l'industrie qui affecte de manière plus ou moins importante le fonctionnement de l'écosystème.

Ce phénomène provenant des usines, elle est caractérisée par une grande diversité, suivant à l'utilisation de l'eau ; tous les produits ou les sous-produits de l'activité humaine (**Gaujous, 1998**) :

- Matières organique et graisses (industries agro-alimentaires,..) ;
- Hydrocarbures (raffineries) ;
- Métaux (traitement de surface, métallurgie) ;
- Acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...) ;
- Eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques) ;
- Matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

### 1.1.3.3. Pollution agricole

L'agriculture, l'élevage et l'aviculture sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans l'eau de mer. Ces contaminants comprennent à la fois des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles, des composés phosphores azotés issus des déchets animaux et des engrais commerciaux des nitrates.

Ainsi, parmi les polluants d'origine agricole, les pesticides qui sont utilisés en agriculture pour protéger les cultures contre leurs ennemis afin d'augmenter leurs rendements (**Galaf, 2003**).

Cette pollution est généralement aggravée lorsque le sol est perméable et permet donc aux substances chimiques agricoles de migrer rapidement vers les aquifères.

### 1.1.4. Descripteurs physico-chimiques des milieux marins

#### 1.1.4.1. La température

La température est un paramètre important pour la connaissance des masses d'eaux, elle influe sur l'activité biologique dont dépend la production totale, et sur la répartition des espèces (référéndums thermiques). La mesure de la température est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres tels que : la saturation des gaz dissous, la mesure du pH (**Aminot et Kérouel, 2004**).

La température est mesurée par thermosonde ou par thermomètre. Son unité principale est le degré Celsius (°C) ou le kelvin K.

Le milieu peut être perturbé et même peut induire une pollution thermique en cas d'une élévation de la température (**Gaujous, 1995**).

### 1.1.4.2. La salinité

La salinité est le descripteur indispensable en milieu marin, associé à la température. La mesure de la salinité est importante dans l'étude du milieu marin. Par son influence sur la densité de l'eau de mer, elle permet de connaître la circulation océanique, d'identifier les masses d'eau d'origines différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la côte ou dans les estuaires.

La première définition de la salinité est :

« La salinité est la masse, en grammes, des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromure et iodure sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toute la matière organique oxydée »

En méditerranée, elle avoisine 38 à 39 PSU, mais près des côtes, elle varie entre 36 et 37 PSU (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

La salinité pratique de symbole S s'exprime en nombre sans dimension (**Copin-Montégut, 1996**).

Le symbole utilisé pour la salinité est : S ‰. L'unité de la salinité a eu un changement. Actuellement la salinité se mesure par l'unité P.S.U (Practical Salinity Unit).

### 1.1.4.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est un paramètre caractérisant l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau (**Goumella et Gueree, 1978**). La variation du pH suivant celles de la température, salinité, l'oxygène dissous et le volume du CO<sub>2</sub> dissous (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Le pH de l'eau de mer est voisin de 8,2 (**Aminot, 1983**), il est principalement fixé par les carbonates comprend en solution le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> ; hydrogénocarbonates HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et les carbonates CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (**Aminot, 2004**).

L'eau de mer est moins sensible aux variations du pH grâce à l'effet tampon des sels dissous (**Aminot et Chaussepied, 1983**). La mesure de pH aura deux applications à considérer : le suivi de la qualité des eaux, qui peut être un indicateur de certaines pollutions directes ou indirectes d'une part et les études thermodynamiques dans les équilibres chimiques d'autre part (**Aminot, 2004**).

### 1.1.5. Les paramètres indicateurs de pollution

#### 1.1.5.1. Matière en suspension (MES)

La connaissance des teneurs en matière en suspension est importante pour l'étude des milieux aquatiques. Elle représente la fraction de matières particulaires organique et inorganiques entraînées passivement par les mouvements d'eaux (**Aminot, 1983**), et dont la taille serait supérieure à 0.5  $\mu\text{m}$  (**Strickland et Parsons, 1972 in Aminot, 1983**). Selon la nature des côtes et du fond marin, les matières en suspension peuvent être des sels minéraux précipités, des sédiments, des fragments minéraux, des squelettes planctoniques, ou encore des organismes vivants servent de nutriments aux organismes filtreurs tels que les moules et les bivalves (**Lefebvre et al, 1993**). Les teneurs les plus élevés sont rencontrés à proximité des côtes estuaires et plages, ou elles sont le résultat de l'association de nombreux phénomènes physiques tels que l'érosion, les transports par les voies atmosphériques, peut-être de rejet anthropique ou d'un remaniement du sédiment par les courants marins.

Les concentrations peuvent atteindre plusieurs centaines de milligrammes par litre et dans les estuaires peuvent atteindre jusqu'à plusieurs grammes par litre. Leur présence dans le milieu marin affecte la photosynthèse en réduisant la transparence eaux (**Aminot, 1983**).

#### 1.1.5.2. Matière organique particulaire (MOP)

Les nutriments sont assimilés par le phytoplancton pendant la photosynthèse et produisent la matière organique considéré comme une source d'énergie et de nutriments pour les microorganismes (bactéries, protozoaires), elle correspond à la fraction endogène qui est facilement dégradable. Alors que la fraction exogène est formée par les débris des animaux et des végétaux possédant une certaine résistance à la dégradation bactérienne. (**Aminot, Kérouel., 2004**)

La Matière organique particulaire (MOP) est exprimée en milligrammes par litre (mg/l).

### 1.1.6. Les sels nutritifs

#### 1.1.6.1. Origine des sels nutritifs

Les sels nutritifs, dans l'eau de mer ont plusieurs origines qu'on peut classer en deux types de sources :

### a. Les sources internes

La régénération des sels nutritifs dissous dans l'océan se fait principalement à partir de l'oxydation des déchets organiques le long de la colonne d'eau de mer. Dans une moindre mesure, les sels nutritifs sont régénérés à partir des sédiments marins (**Boulaïdid, 1987**).

### b. Les sources externes

Ce sont les apports continentaux fluviaux, éoliens et hydrothermaux englobant les processus naturels (biologie, géologie,...etc.) et la pollution anthropogénique (industrie, produits fertilisants, détergents,...etc.) (**Levitus et al., 1993**).

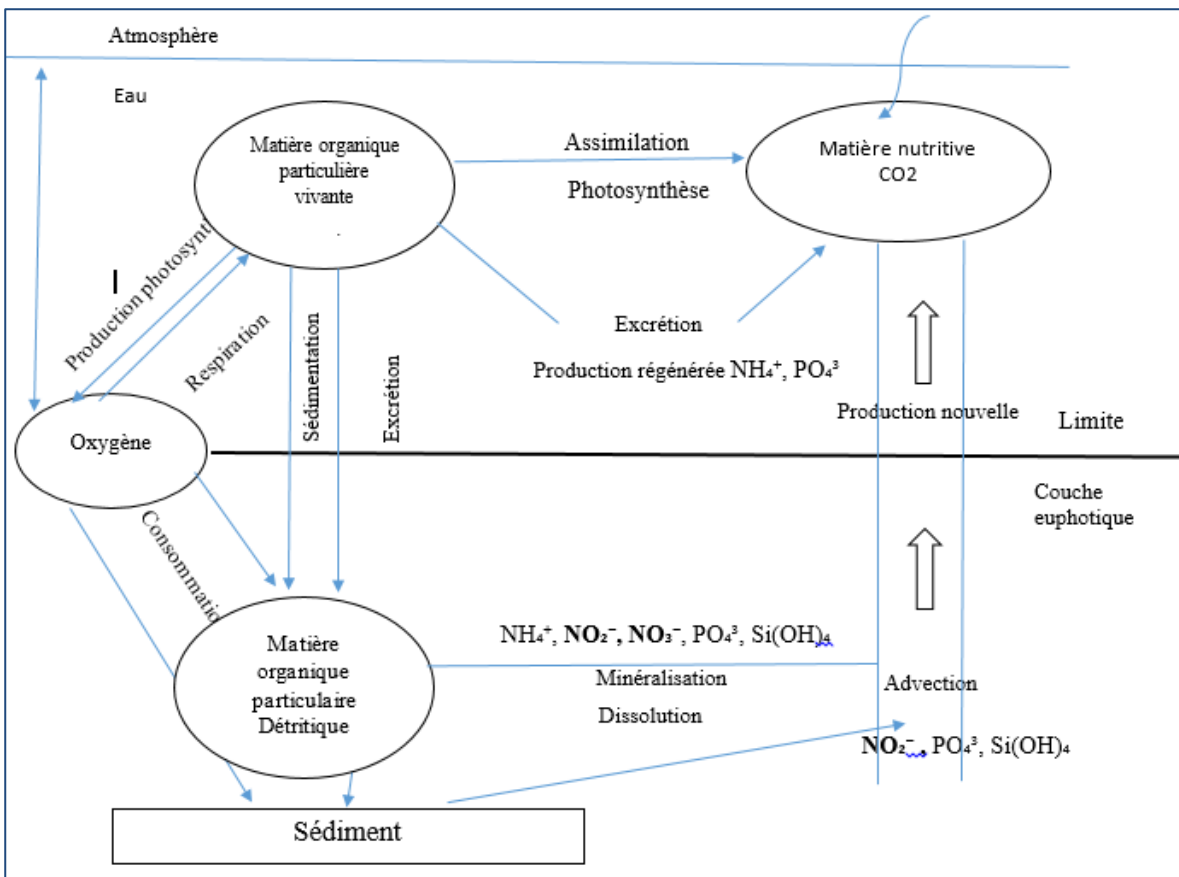
#### 1.1.6.2. Cycle biogéochimique des sels nutritifs

Dans un écosystème naturel, les nutriments sont consommés sous forme minérale dissoute par les producteurs primaires, majoritairement constitués par des algues unicellulaires (le phytoplancton). Intégrés dans la biomasse (assimilés), ils permettent la multiplication du nombre de cellules. Les nutriments passent ainsi sous forme organique particulaire.

Les nutriments organiques sont ensuite progressivement régénérés sous leur forme minérale originale (**Benhalima, 2016**) :

- Soit par le biais de leur ingestion puis de leur excrétion par les différents échelons animaux de la chaîne alimentaire
- Soit, à la mort de la biomasse, par suite de la dégradation directe par les bactéries hétérotrophes.

C'est le cycle des éléments nutritifs.

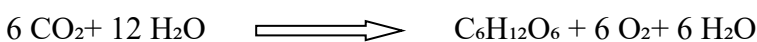


**Figure 01** : cycle global des sels nutritifs : production et minéralisation de la matière organique (Jacques et Tréguer, 1986)

Ce cycle fonctionne grâce à plusieurs processus qui selon les conditions environnementales, peuvent se dérouler plus ou moins simultanément ou se succéder (Aminot et Kerouel, 2004).

**1.1.6.2.1. La photosynthèse**

La photosynthèse est le principal mécanisme de production primaire de la biomasse dans le milieu marin. C’est un processus assurant la transformation de l’énergie lumineuse en énergie chimique sous forme de pouvoir réducteur et d’ATP au niveau de complexes protéines-pigments, les antennes et les centres réactionnels.



**1.1.6.2.2. La minéralisation**

Elle est la réaction inverse de la photosynthèse, consiste à la conversion de la matière organique dissoute (sécrétée par les cellules ou libérée à leur mort) et de la matière organique particulaire détritique (excrétée par les organismes supérieurs, ou constituée de débris de cellules mortes) en nutriments minéraux par les bactéries hétérotrophes (Aminot et Kerouel, 2004).

### 1.1.6.2.3. L'excrétion

Des composés organiques solubles sont sécrétés par le phytoplancton vivant. Les plus connus sont les acides aminés et les polysaccharides.

L'ammonium et les phosphates sont excrétés par les microflagellés hétérotrophes, les ciliés et le zooplancton, qui ont en outre du matériel organique particulaire (**Aminot et al., 2004**).

### 1.1.6.2.4. La nitrification

La nitrification est un processus qui s'opère en deux étapes par des groupes de bactéries chimiotrophes qui puisent leur énergie de l'oxydation de l'ammonium et de nitrite.

En présence d'oxygène dissous l'ammonium est oxydé en nitrite puis nitrate par les bactéries nitrifiantes.

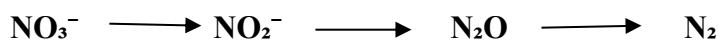


Les bactéries nitrifiants sont autotrophes, c'est-à-dire qu'elles consomment le carbone inorganique (CO<sub>2</sub>, carbones) pour synthétiser leur biomasse (**Aminot et al., 2004**).

### 1.1.6.2.5. La dénitrification

La dénitrification est un phénomène écologique qui s'opère par le mécanisme bactérien. Il s'effectue en milieu oxygène (eau oxique) et milieu en état d'anoxie (eau anoxique).

Dans les milieux anoxiques, après l'épuisement de l'oxygène dissous, c'est l'ion nitrite qui est utilisé en tant qu'oxydant (accepteur d'électron) pour décomposer la matière organique selon une réaction qui est spontanée mais se fait par l'intermédiaire de micro-organismes anaérobies. La dénitrification s'effectue selon le schéma suivant :



### 1.1.6.3. Rapport de Redfield

L'assimilation des composants nutritifs et leur régénération à partir du matériel biogénique se font dans des proportions bien déterminées qu'on a appelé rapports biogéochimiques de Redfield. Après plusieurs travaux, **Redfield et al. (1963)** ont donné les rapports suivants par l'analyse de la composition chimique de la matière organique et de l'eau de mer:

$$\text{P/N/C/-O}_2 = 1/16/106/138$$

**1.1.6.4. Chlorophylle**

La chlorophylle, de couleur verte, est le pigment photosynthétique essentiel des feuilles des plantes supérieures. C'est un composé chimique indispensable à la photosynthèse. Sa présence dans tous les organismes végétaux, associée à l'énergie solaire, lui permet de synthétiser ses propres matières organiques carbonées à partir du carbone minéral. Dans les milieux aquatiques, les algues possèdent une diversité de pigments dont les plus importants sont les chlorophylles a, b, c1, c2 et d. **(Aminot et Chausse-Pied, 1983)**.

**Chlorophylle a :**

C'est le pigment qui est considéré comme étant un bon indicateur de la santé de l'océan et de son niveau de productivité et de la biomasse phytoplanctonique **(Aminot et Chausse-Pied, 1983)**.

**1.1.6.5. Eutrophisation**

Elle est définie comme : l'élévation du taux de la production primaire et l'accumulation de la matière organique. Elle résulte habituellement d'un apport excessif en nutriment, ce qui a pour conséquence une baisse de l'oxygène dissous dans le milieu entraînant un changement indésirable des écosystèmes.

Ce phénomène est causé par l'enrichissement des eaux en produits azotés et phosphorés.

Les phénomènes qui caractérisent l'eutrophisation :

- Bien qu'un apport modéré de matière organique puisse être bénéfique, la sur-fertilisation entraîne une croissance extravagante des plantes et la décomposition bactérienne de la matière végétale morte peut entraîner un appauvrissement en oxygène.
- La croissance excessive des plantes et l'appauvrissement en oxygène entraînent une altération de la structure de la communauté, parfois de manière désastreuse.

**1.2. Les sédiments****1.2.1. Définition et origine**

Les sédiments sont définis comme des dépôts continentaux ou marins constitués de particules qui proviennent de l'altération ou des désagréations des roches préexistantes et de la précipitation de matières en suspension qui transitent dans la colonne d'eau **(Loustau Cazalet,**

**2012).** Les particules qui composent les sédiments sont plus ou moins grosses et sont constituées de composés organiques et inorganiques provenant de sources distinctes (**Schneider, 2001**) :

**Une source terrigène**, signifiant que les particules proviennent de l'érosion des terres émergées. Cette source est enrichie par divers apports tels que les apports éoliens, volcaniques, glacières, l'apport lié à l'érosion propre des cotes doit être pris en considération, sans oublier les apports fluviaux et /ou de ruissellement qui constituent à eux seuls l'apport cumulé le plus important.

**Une source endogène**, désignant les particules qui proviennent du bassin de sédimentation comme les débris de macrophytes (plantes aquatiques, microphytes) ou encore les fragments de coquilles des organismes.

### **1.2.2. Caractéristiques d'un sédiment**

Le sédiment se caractérise principalement par :

- Sa granulométrie,
- Sa composition minérale,
- Sa teneur en eau et en matière organique.

#### **1.2.2.1. Granulométrie des sédiments**

Le ruissellement contient des particules solides en suspension érodées des surfaces terrestres et des berges, y compris de la matière organique et des minéraux, allant du gravier au sable, en passant par le limon et l'argile.

La distribution granulométrique d'un sédiment et plus globalement, de n'importe quel matériau, constitue son empreinte physique. Elle caractérise en effet la taille des particules constituant la phase solide du matériau. D'autre part, la répartition de fréquence de taille des grains explique la répartition des sédiments dans un milieu aquatique. En effet, les grosses particules restent en amont tandis que les plus fines se retrouvent en aval. Les différentes classes granulométriques couramment utilisées sont présentées dans le tableau suivant (**Scordia J. Y., 2008**) :

Tableau 01 : classes granulométriques d'un matériau (Liang Y., 2012 in zerouali et al., 2016)

Classification des matériaux						
<b>Matériaux fins</b>	<b>Dénomination en 5 classes</b>	Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers
	Limites de taille en $\mu\text{m}$	<2	2 à 20	20 à 50	50 à 200	200 à 2000
	<b>Dénomination en 3 classes</b>	Argiles	Limons		Sables	
	Limites de taille en $\mu\text{m}$	<2	2 à 50		50 à 2000	
	<b>Dénomination en 3 classes</b>	graviers		cailloux	Blocs rocheux	
	Limites de taille en mm	2 à 20		20 à 200	>200	
<b>Matériaux grossiers</b>						

### 1.2.2.2 Composition des sédiments

La composition de la matrice sédimentaire est très hétérogène. C'est une des difficultés majeures pour l'étude des sédiments. Elle est constituée de matériaux détritiques inorganiques et organiques (Power et Chapman, 1992 in zerouali et al., 2016).

#### a. La phase eau

C'est une fraction très variable dépendant de plusieurs facteurs, tels que les conditions de dragage et la position des dépôts. Généralement on peut distinguer l'eau libre, l'eau capillaire, l'eau colloïdale et l'eau pelliculaire.

**b. La phase inorganique**

Cette fraction est principalement formée de minéraux provenant de l'écorce terrestre et de débris coquilliers. Elle se compose principalement d'argiles, de carbonates et de silicates.

**c. La phase organique**

Les composés organiques rencontrés dans les sédiments sont généralement d'origines naturelles. Ils proviennent, soit de débris végétaux, soit de microorganismes.

La matière organique naturelle comprend les détritiques de feuilles à divers degrés de composition, les acides humiques et fulviques, et les pigments tels que la chlorophylle, ainsi que les micro-organismes; les composants inorganiques typiques des sédiments comprennent les minéraux argileux (par exemple, kaolinite, illite, smectite, chlorite) et d'autres aluminosilicates (par exemple, zéolites, quartz, feldspath, mica), le carbonate de calcium (par exemple, calcite, dolomite) et les minéraux de fer (par exemple, goethite, hématite, magnétite, sidérite, marcassite, pyrite).

Ces particules sont transportées dans les eaux de surface et rester en suspension à un débit élevé. Dans la condition de faible débit, les particules en suspension vont subir une décantation gravitationnelle pour former des sédiments de lit au fond.

En fonction des conditions hydrodynamiques, les sédiments du lit peuvent former une couche relativement stable ou être transportés progressivement vers l'aval en tant que charge de lit.

Les sédiments du lit sont caractérisés par une structure en couches, due à :

- Le processus de leur formation, où par couches successives de matière peuvent se déposer et se consolider dans le temps, conduisant à des variations de composition et de porosités des sédiments en fonction de la profondeur.
- Contrôle du transport de l'oxygène depuis l'interface sédiment-eau par une lente diffusion de l'oxygène dissous dans l'eau interstitielle des sédiments, ce qui limite la croissance des organismes aérobies vers la région oxique immédiatement sous l'interface.
- Développement de gradients de pH, dus à la réaction du CO<sub>2</sub> de la minéralisation de la matière organique au bicarbonate / carbonate et à l'acide, ou à la synthèse d'acides organiques par des anaérobies dans la région anoxique.

# **Présentation de la zone d'étude**

## 2. La zone d'étude

### 2.1. Situation géographique

La zone de Sidi Fredj est considérée comme une presqu'île, qui se situe à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest d'Alger. C'est une localité étendue sur un kilomètre au bord de la mer, orientée vers le Nord-Ouest, elle forme le cap Est de la baie de Bou Ismail et la limite Ouest de la baie d'El Djamila. Elle se situe entre  $2^{\circ}50'48''$  E de longitude et  $36^{\circ}45'17''$  de latitude jusqu'à  $2^{\circ}50'41''$  E de longitude et  $36^{\circ}45'17''$  de latitude jusqu'à  $2^{\circ}50'41''$  E de longitude et  $36^{\circ}45'06''$  N de latitude.

Du point de vue administratif, elle appartient à la commune de Staouali, daïra de Zéralda wilaya d'Alger (Abid et Sehil, 2017).



**Figure 02** : Situation géographique de la zone d'étude (Google earth, 2020).

**2.2. Présentation du site d'étude : littoral Ouest de Sidi-Fredj**

Notre zone d'étude qui se situe au niveau de l'anse ouest de la presqu'île, s'étend d'une distance de 220 m de l'épi Sud jusqu'à un centre de la thalassothérapie au Nord, et de la haute plage à l'Est jusqu'à un grand rocher à l'Ouest.

**2.2.1. Plage de Thalassothérapie**

La plage de Thalassothérapie se situe dans l'anse Ouest de presqu'île de Sidi-Fredj. Elle est exposée à différents types de pollution pouvant provenir des égouts des agglomérations de la région, et aux déchets laissés par les estivants, du centre de thalassothérapie (eaux usées et eaux de mer sanitaires chaudes) (Mezali, 1998). Ainsi que beaucoup d'autres déchets solides déposés un peu partout sur la plage après les tempêtes.



**Figure 03 :** Rejet d'eau usée

**Figure 04 :** Rejet de centre de thalassothérapie

**2.2.2. Plage Ouest de Sidi-Fredj**

La plage Ouest est délimitée au Nord par la digue du centre de thalassothérapie et au Sud par la digue du centre de repos de l'ANP. Elle est bordée par plusieurs habitations, une base nautique et un restaurant (et des gargotes), certaines de ces habitations rejettent leurs eaux usées sur la plage. Cette plage est très fréquentée durant la période estivale.



**Figure 05 :** Rejets d'eaux domestiques directes

### 2.3. Cadre géologique

#### 2.3.1. Géologie régionale

De point de vue géologique la presqu'île de Sidi-Fredj est caractérisée par deux ensembles : Le socle dont les affleurements sont considérés comme une partie du massif d'Alger qui est formé par des roches métamorphiques (gneiss, micaschistes et calcaires métamorphiques (**Degiovanni, 1973**)). Les formations sédimentaires déposées au-dessus du socle sont d'âge pliocène, calabrien et en fin quaternaire. Les affleurements de la presqu'île de Sidi-Fredj sont les prolongements de l'important ensemble cristallin de la grande Kabylie, auquel se rattache le massif granitique de Thénia (**Leclaire, 1972**).

#### 2.3.2. Géologie locale

Notre zone d'étude regroupe toutes les formations géologiques citées. En effet le socle métamorphique forme le promontoire Est, les ilots et le platier rocheux. Les formations quaternaires constituent une partie de l'arrière plage sur laquelle repose actuellement le mur de protection et le parking du complexe, une partie du platier rocheux est constituée de grès de plages anciennes.

### 2.4. Couverture sédimentaire

La répartition et la nature des sédiments du plateau continental dépendent de son relief, dès les apports terrigènes, des courants et des houles (**Leclaire, 1972**).

**Tableau 02** : la Répartition des différents types de sédiment

Types	Localisation
Sable fins	Recouvrant les zones peu profondes de cap de Sidi Fredj.
Sable grossiers	Occupe une large bande qui s'étale du parti Ouest de cap jusqu'à l'embouchure de l'Oued Mazafran.
Sable graveleux	Occupe la partie Est de la baie d'El Djamila
Sable envasés	
Vases-sableux	Existant dans la baie de Bou Ismail au-delà de l'isobathe (-20 m)
Graviers envasés	Localisées :  -Au large de Ras Acrata  -Au niveau de l'embouchure de l'Oued Bénis Messous et s'étend vers l'Ouest de Bou-Ismaïl.
Vases pure	Quasiment absente de la baie d'El Djamila (apparaît au large de la presqu'île de Sidi Fredj) et forme une bande qui s'étale entre Zéralda et Bou Ismail.

## 2.5. Facteurs hydrodynamiques

### 2.5.1. La Température

Comme l'ensemble des zones côtières Algériennes, celle de Sidi Fredj est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré, relativement froid et humide en hiver et chaud en été.

- **En période hivernale** : les températures sont très variables s'échelonnant entre 6°C et 20°C.
- **En période estivale** : les températures sont très élevées variant entre 25°C et 38°C atteignant parfois les 40°C (Bellahcene, 2002 in Haoua et Laloui, 2006).

### 2.5.2. Précipitation

- **En période hivernale** : la pluviométrie est relativement importante de Décembre à mai, elle varie de 15 à 108 mm.
- **En période estivale** : la pluviométrie est réduite, de juin à septembre avec une quantité qui varie de 4 à 25 mm.

### 2.5.3. Les Vents

Dans la région de Sidi-Fredj, la répartition des vents est parfaitement liée au régime annuel des houles.

D'après les données recueillies par le S.S.M.O (Summary of Synoptic Meteorological Observations), on distingue deux périodes:

- **Une période hivernale** (Octobre -Mars), ou les vents dominants sont de secteur Ouest avec des fréquences allant de 60 à 80% par le secteur Ouest et des fréquences de 90 à 99% pour secteur Nord-ouest.
- **Une période estivale** (Avril -Septembre), ou les vents dominants sont de secteur Est et Nord Est, avec des fréquences de 45 à 75% pour le secteur Nord-est (**Khaldi, 2016**).

### 2.5.4. Les Houles

Ce sont des oscillations qui dépendent du vent. Les résultats obtenus par le LEM (2002), concernant la variation de régime de la houle montrent:

- Les houles d'Ouest sont les plus dominants en période hivernal, avec des amplitudes entre 1 et 3 m et parfois atteint les 5m, elles engendrent des courants de retour qui entraînent les sédiments vers le large (**Nadir, 2016**).
- Les houles les plus fréquentes en période estivale sont du secteur Nord-est, avec des amplitudes moins faibles.

### 2.5.5. Les Courants

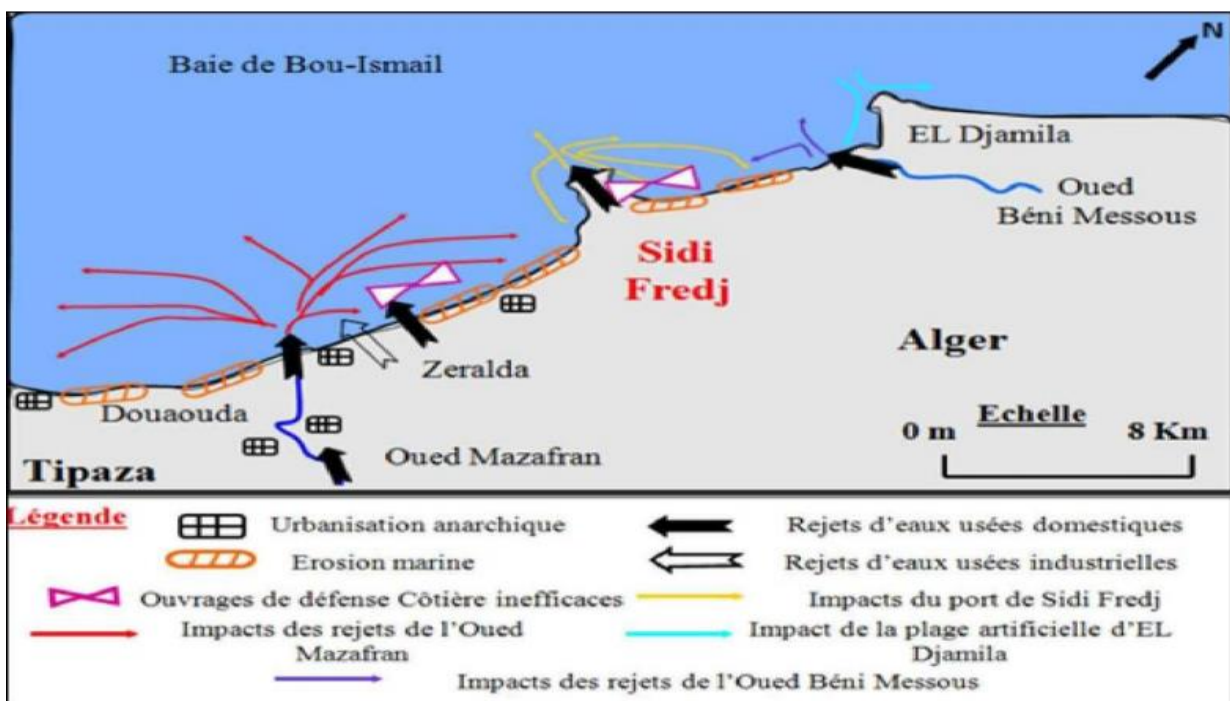
La zone de Sidi Fredj est caractérisée par la dominance du courant Algérien, ce courant est d'origine Atlantique, il se déplace d'Ouest en Est le long des côtes algériennes sous l'effet de la

force de Coriolis. Il forme des tourbillons anticycloniques accompagnés de phénomènes d'upwelling (Millot, Taupier-Letage, & Benzohra, 1990).

## 2.6. Réseaux hydrographique

La dynamique sédimentaire de la zone de Sidi Fredj est influencée à grande échelle par l'Oued Mazafran et celui de l'oued de Béni Messous.

- a) **Oued Mazafran** : il dérive son nom de la couleur de ses eaux : El Ma Essafra (eau jaune) ; formé l'un des principaux cours d'eau de la Mitidja et le plus important débouchant dans la baie de Bou-Ismaïl.
- b) **Oued de Béni Messous** : il se situe à droite de cap du Sidi Fredj et au centre de la baie d'El Djamila. Il traverse les communes de Béni Messous et de Chéraga au Nord, de Bouzaréah au Nord-est, Dely Ibrahim à l'Est et d'Ain Benian à l'Ouest. Il débouche au niveau de la plage « les Dunes » qui font partie de la baie d'El Djamila.



**Figure 06** : Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la Baie de Bou-Ismaïl (Belkessa et al., 2008; Alsid Chikh et al., 2009)

# **Matériels et Méthodes**

Dans ce chapitre nous avons pris en considération les analyses des paramètres étudiés auparavant tel que :

✚ **Les paramètres physico-chimiques :**

la température (T), la salinité (S) et le pH.

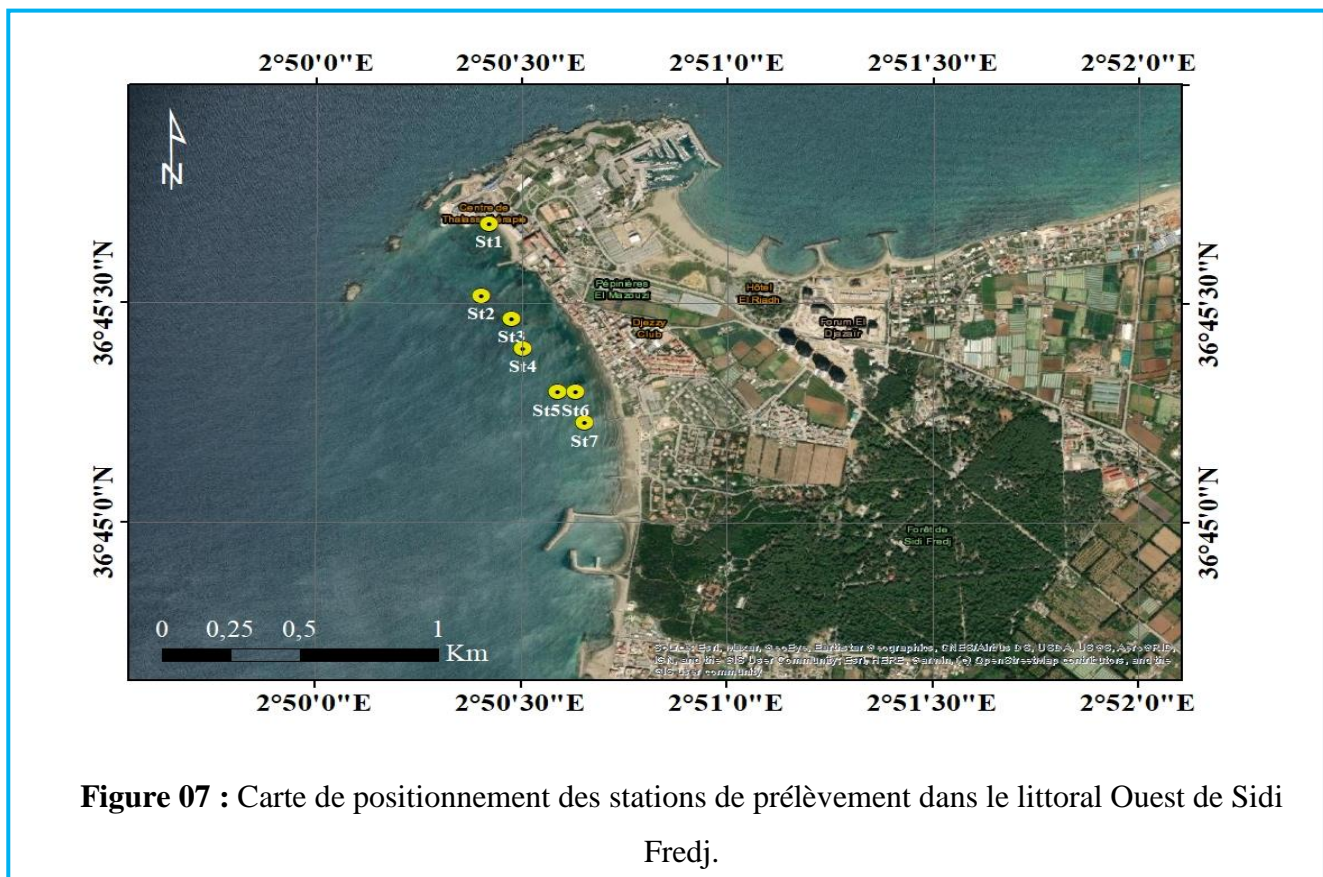
✚ **Les paramètres indicateurs de pollution :**

Matière en suspension dans l'eau, Matière Organique Particulaire dans l'eau, Matière Organique dans le sédiment, la chlorophylle-a et les sels nutritifs.

✚ **La granulométrie par tamisage**

### 3.1. Choix et localisations des stations

Le choix des stations de prélèvement (**figure 07**) a été effectué on tenant compte du rapprochement des stations de prélèvements aux sources de pollution, dans le but de surveiller et de contrôler la qualité des eaux marines dans le littoral ouest de Sidi Fredj et afin de faire un suivi de l'évolution du degré de pollution (**Annexe I**).



## 3.2. Prélèvement et échantillonnage

### 3.2.1. Conditionnement du matériels

D'après les sorties qui ont été effectués en 2011, 2012 et 2017 , tous le flaconnage a été préalablement rincé à l'eau de robinet, puis rincé une deuxième fois à l'eau acidulée à base d'acide chlorhydrique à 0,1 N.

Un autre rinçage a été réalisé à l'eau distillée, les flacons sont séchés à l'étuve à 70 °C. Ces flacons ont été numérotés, étiquetés et stockés afin d'éviter tout risque de contamination.

### 3.2.2. Prélèvement d'eau de mer

Les prélèvements d'eau de mer ont été réalisés en général dans des hauteurs d'eau très variées, comprises entre quelques centimètres et plusieurs centaines de mètres.

Les prélèvements d'eau de mer ont été effectués à l'aide d'une bouteille NISKIN de capacité de 5 litres en 2017 (figure 08) et de capacité de 8 L en 2012. Par contre en 2011, les prélèvements ont été réalisés à l'aide des bouteilles en plastiques opaque (polyéthylène de 500ml).

Les échantillons qui ont été destinés à l'analyse physicochimique ils étaient prélevés dans des flacons en polyéthylène d'un volume de 250 ml à 1l, et pour les sels nutritifs des flacons de capacité de 100 ml ont été suffisant pour les prélèvements. Chaque flacon est rincé deux fois avec l'eau de mer à analyser, puis chaque flacon était rempli de façon à ne pas provoquer des contaminations sur les échantillons, ensuite ces flacons ont été mis dans une glacière à l'abri de lumière.



**Figure 08** : bouteille de prélèvement de type NISKIN

### 3.2.3. Prélèvement du sédiment

Les prélèvements de sédiment marin superficiel ont été réalisés à l'aide d'une benne de type « Van-veen » (figure 09). Dès que la benne est remontée, l'échantillon du sédiment est récupéré dans des sachets en plastiques étiquetés.



**Figure 09** : Benne de prélèvement du sédiment de type Van-veen

Les échantillons doivent être réfrigérés dans une glacière lors du transport jusqu'au laboratoire de l'ENSSMAL, pour conserver tous les propriétés du sédiment.

### 3.3. Mesure des paramètres physico-chimiques

#### 3.3.1. Les mesures in situ

La température et la salinité sont des propriétés conservatives des masses d'eau (**Lécuyer, 2014**). Les mesures in situ de T (°C), S et pH ont été effectués en 2012 à l'aide d'une valise Multiparamètre de type WTW (pH mètre de terrain type WTW 315 i/Set et conductimètre de type WTW 315i/Set). En 2017 et 2011 les mesures de la température et de la Salinité ont été faite à l'aide d'une sonde conductimétrique de type (WTW, 197i).

### 3.3.2. Analyses au laboratoire

#### A. Analyse de l'eau de mer

#### 1. Analyse de matière en suspension (MES)

##### 1.1. Principe de la méthode

Les matières en suspension sont définies selon la norme AFNOR 1999 comme étant des « matières éliminées par filtration ou centrifugation dans des conditions définies ».

La méthode consiste à filtrer l'eau de mer sur membrane filtrante afin de retenir toutes les particules de taille supérieure à 0,5-1  $\mu\text{m}$ . La membrane est séchée à 105°C pendant 2h et pesée avant et après filtration. La différence de poids permet de connaître la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant (**Aminot, A., 1983**).

##### 1.2. Matériels et appareils utilisés

- Dispositif de filtration de marque Millipore ® (**figure 11**).
- Filtres en fibre de verre de porosité  $\sim 0.7 \mu\text{m}$ .
- Dessiccateur contenant du gel de silice (**figure 12**).
- Balance de précision de type Denver Instrument M-220 D (**figure 13**).
- Etuve réglée à 105 °C  $\pm$  2°C de type WTB BINDER.
- Four à moufle de type Wisetherm (**figure 10**).
- Pinces en acier inoxydable, portes filtres avec couvercle, pissette d'eau distillée, éprouvettes graduées de 500 ml.



**Figure 10** : four à moufle de type WiseTherm

### 1.3. Mode opératoire

#### 1.3.1. Conditionnement des filtres au laboratoire avant la sortie

- Mettre les filtres de fibre de verre sur une feuille d'aluminium et les mettre au four à moufle à 450-500 °C pendant 1h environ.
- Placer chaque filtre sur le support-filtre, sans mettre l'entonnoir, et laver abondamment toute sa surface à l'eau distillée (50 à 70 ml d'eau par membrane) sous un très léger vide.
- Déposer les filtres dans leurs boîtes et les placer à l'étuve à 70 °C pendant 1 h.
- Laisser refroidir au dessiccateur.
- Numéroté les boîtes à filtres de façon indélébile.
- Peser le filtre pour avoir P1.
- Replacer aussitôt chaque filtre dans sa boîte, et les mettre au dessiccateur à l'abri de la poussière

#### 1.3.2. Filtration de l'eau de mer

- Mélanger doucement l'échantillon
- Mesurer 500 ml d'eau de mer avec l'éprouvette
- Placer un filtre dans le dispositif de filtration et verser l'échantillon
- Appliquer le vide avec la pompe à vide puis filtrer progressivement tout le volume mesuré.
- Eteindre le dispositif de filtration et récupérer les filtres et les mettre dans leurs boîtes
- Mettre les boîtes à sécher dans l'étuve sans le couvercle à 70 °C pendant 2h
- Sortir les boîtes à filtres et les laisser refroidir au dessiccateur

- Peser chaque filtre pour avoir la masse P2.



**Figure 11** : Dispositif de filtration de marque Millipore®.



**Figure 12** : Dessiccateur



**Figure 13** : Balance de précision

#### 1.4. Calcul et expression des résultats

Soit :

**P1** : Poids du filtre avant filtration de l'échantillon (g).

**P2** : Poids du filtre après la filtration de l'échantillon (g).

**V** : Volume d'eau filtrée en litres (l).

La concentration de la matière en suspension (mg / L) est donnée par l'expression suivante :

$$[\text{MES}] \text{ (mg/l)} = (\text{P2-P1}) * 1000 / \text{V} \dots \text{III.1}$$

## 2. Analyse de la matière organique particulaire

### 2.1. Principe de la méthode

La détermination de concentration de la M.O.P dans un échantillon d'eau de mer basée sur la perte de poids consiste à incinérer les filtres issus de la mesure de MES contenant les résidus sèches dans un four à moufle à 450 °C pendant 2 heures pour éliminer toute trace de la matière organique (Rodier J., 1984).

## 2.2. Matériels et appareils

- Four à moufle de type Wisetherm réglé à 450 °C.
- Creusets en porcelaine préalablement conditionnés.
- Filtres contenant les résidus de la matière en suspension.
- Une balance de précision de type Denver Instrument M-220 D.
- Dessiccateur, pince.

## 2.3. Mode opératoire

- Numéroter au crayon les creusets à vide sur la face rugueuse.
- Peser les creusets munis du filtre (P3).
- Mettre les creusets dans le four à moufle de type Wisetherm, à 450 °C pendant 2h.
- Récupérer les creusets et laisser refroidir au dessiccateur.
- Peser à nouveau les creusets (P4).

## 2.4. Calcul et expression des résultats

La concentration de matière organique est donnée par l'expression suivante :

$$[\text{M.O.P}] \text{ (mg/l)} = (\text{P4-P3})/\text{V} \dots \text{III.2}$$

**P3** : Poids du creuset avec le filtre avant calcination (mg).

**P4** : Poids du creuset avec le filtre après calcination (mg).

**V** : Volume d'eau filtré en litres (l).

## 3. La chlorophylle « a »

En milieu marin, comme en eau douce, la mesure de la chlorophylle permet de caractériser la biomasse (quantité de matière vivante) phytoplanctonique.

Cet indicateur est particulièrement adapté pour avoir une idée globale des apports en nutriments et mettre en œuvre une étude sur l'eutrophisation. C'est un descripteur de la capacité de production d'un végétal.

D'une manière générale, la mesure des pigments phytoplanctoniques est basée sur leurs propriétés optiques : absorption de la lumière (spectrométrie) ou fluorescence (fluorimétrie).

La mesure de la concentration en chlorophylle « a », les phéopigments, est décrite selon deux méthodes de mesure spectroscopiques : la spectrophotométrie utilisée en 2017 et la fluorimétrie utilisées en 2011 et 2012 (**Annexe II**).

### **3.1 Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire**

#### **3.1.1. Principe de la méthode**

L'échantillon est filtré après leur prélèvement et la filtration devra être réalisée à très faible lumière. Les filtres subiront une extraction à l'acétone (90 %). La concentration de chlorophylle a est déterminée en mesurant l'absorption de la lumière avant et après acidification.

### **3.2. Matériel et appareillage**

- Dispositif de filtration et des filtres GF/F 0,7 µm de porosité.
- Tubes de d'extraction de 10ml.
- Centrifugeuse de marque SIGMA.
- Spectrophotomètre fluorescence, modèle JASCO V-730.
- Matériels courant de laboratoire.

### **3.3. Réactifs**

- Solvant d'extraction : acétone à 90%.
- Solution d'acide chloridrique 0,3N.

### **3.4. Mode opératoire**

#### **3.4.1. Filtration et conservation**

Dès le retour au laboratoire les échantillons sont homogénéiser et filtrés le plus rapidement

Une fois la filtration terminée, le filtre est prélevé et plié en quatre à l'aide des pinces et enrobé dans un papier d'aluminium préalablement étiqueté et placer au congélateur.

#### **3.4.2. Extraction des pigments**

- Verser 5ml d'acétone à 90% dans le tube recouvert par papier aluminium puis introduire le Filtre et déchiqueter le filtre à l'aide d'une baguette.
- Rajouter 5ml et fermer le tube.

- Placer les tubes au réfrigérateur et laisser l'extraction acétonique se poursuivre une nuit.

### 3.4.3. Centrifugation et la mesure spectroscopique

- Placer les tubes dans la centrifugeuse
- Centrifuger 1 min, pour faire tomber les fibres de verres.
- Centrifuger à nouveau 5 à 10 min à 3000-4000 tr/min (les tubes doivent rester boucher

pour éviter l'évaporation).

### 3.4.4. Mesure d'absorbance

-Récupérer les tubes et les mettre dans le portoir tout en évitant la lumière.

-Transférer le surnageant de centrifugation dans la cuve de spectromètre ; on évite l'entraînement de fibres de verre en aspirant l'extrait à l'aide, par exemple, d'une seringue de verre.

-Mettre la cuve en place et s'assurer de son positionnement correct.

-Mesurer les absorbances brutes des extraits non acidifiés aux longueurs d'ondes de 665 et 750 nm, soit  $A_{665na}$  et  $A_{750na}$ . La mesure à 750 nm doit être restée inférieure à 0,005 par centimètre de trajet optique.

-Acidifier par addition de 10  $\mu$ l d'acide chlorhydrique 0,3 mol/l par millilitre d'extrait (Soit une goutte pour environ 5 ml) directement dans la cuve et attendre 2 à 3 min

-Mesurer les absorbances brutes des extraits acidifiés à 665 et 750 nm, soit  $A_{665a}$  et  $A_{750a}$ .

### 3.5. Calcul et expression des résultats :

Les absorbances brutes à 665 nm et les blancs de turbidité à 750 nm doivent être corrigés en soustrayant les blancs des cuves puis on obtient les absorbances nettes en soustrayant les absorbances corrigés mesurés à 750 nm des absorbances corrigées mesurées à 665 nm, c'est à dire :

- Avant acidification :

$$A_{665na} = (A_{665na} - bc_{665}) - (A_{750na} - bc_{750})$$

- Après acidification :

$$A_{665a} = (A_{665a} - bc_{665}) - (A_{750a} - bc_{750})$$

Les autres données sont :

- **V** : volume d'eau filtrée (litres).

- **v** : volume de solvant d'extraction (millilitres).

- **l** : longueur de trajet optique de la cuve de mesure (centimètre).

La concentration de chlorophylle a est calculée d'après la relation suivante :

$$[\text{Chlorophyll a}](\text{ug/l}) = 27.7 * (A_{665}^{\text{NA}} - A_{665}^{\text{A}}) * (V / v1) \dots \text{III.3}$$

#### 4. Le pH

Le pH est un indicateur des processus biologiques et physiques qui ont lieu dans la colonne d'eau. Il a été estimé par rapport au pH de TRIS La méthode de mesure utilisée pour le pH est celle décrite dans le Handbook (version 3) de DICKSON (2007).

En 2011 et 2012 le pH est mesuré in situ, par contre en 2017 il est mesuré au laboratoire suivant la méthode écrit-en-dessous :

##### 4.1. Principe de la méthode

Le pH est mesuré à partir de la différence des potentiels mesurés en plongeant successivement une électrode dans une solution standard appelé TRIS de pH connu et l'échantillon.

##### 4.2. Prélèvement et conservation

L'échantillonnage du pH a été fait dans des petits flacons en verre borosilicaté avec des bouchons de polyéthylène de 300 ml, et immédiatement empoisonné par 100 µl de chlorure de mercure saturé (HgCl<sub>2</sub>) pour stopper l'activité biologique. les échantillons ont été conservés après les sortie en mer à 4°C jusqu'au jour de la mesure.

##### 4.3 Analyse au laboratoire

###### 4.3.1 Etalonnage de l'appareil

Avant chaque mesure de pH, il est nécessaire de faire un étalonnage de l'appareil avec deux solutions étalons à pH connu, pH = 4 et pH = 7. Les mesures de pH ne sont donc correctes que si la solution de pH inconnu ne diffère pas trop de la solution étalon, en particulier du point de vue ionique (l'eau de mer a une très forte force ionique par apport aux tampons). Pour cela un étalonnage secondaire doit être fait à l'aide d'une solution étalon TRIS à salinité connue et proche de celle des échantillons.

Le TRIS sert à corriger les valeurs du pH mesuré par l'électrode. Son pH varie selon la température et la salinité. Le pH du TRIS est calculé par la formule (DICKSON, et al., 2007):

$$\text{pH} (s) = (11911.08 - 18.2499 * S - 0.039336 * S^2) \frac{1}{T(K^\circ)} - 366.27059 + 0.53993607 * S + 0.00016329 * S^2 + (64.52243 - 0.084041 * S) * \ln (T (K^\circ)) - 0.11149858 * T (K^\circ) \dots \text{III.4}$$

**pH(s)** : pH calculé du TRIS préparé en fonction de la température et de la salinité.

**S** : salinité en g/kg du tampon.

**T** : température de l'échantillon au moment de la mesure en degré Kelvin.

#### 4.3.2 Mesure de pH

Le pH est un paramètre qui est influencé par la température, c'est pour cette raison que les échantillons et le TRIS doivent être à la même température.

La calibration et la mesure de pH se font comme suit :

- Plonger l'électrode de pH dans la solution étalon à pH=4 puis pH=7
- Plonger l'électrode dans le TRIS, en mentionnant la valeur du pH, la différence de potentiel ainsi que la température.
- on introduit l'électrode de pH dans les échantillons, et on mentionne la valeur du pH, la différence de potentiel, et la température.



**Figure 14** : pH mètre

La valeur de pH des échantillons est calculée par rapport au TRIS d'après la formule de Nernst:

$$(X) = (S) + \frac{E(s) - E(x)}{RT \ln 10 / F} \dots \text{III.5}$$

**(x)** : pH mesuré de l'échantillon.

**(s)** : pH du tampon TRIS.

**ES** : Différence de potentiel mesuré pour le tampon TRIS en (V).

**EX** : Différence de potentiel mesuré pour l'échantillon de l'eau de mer en (V).

**R** : Constante des gaz parfait,  $R=8.3143 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ .

**T** : Température en Kelvin.

**F** : Constante de faraday ( $96\,487 \text{ C.mol}^{-1}$ ).

## 5. Sels nutritifs

### 5.1. Méthode d'analyse

L'analyse de sels nutritifs a été faite par colorimétrie à flux continu (méthode automatique, SKALAR Auto-analyser sur San +) pour les sels suivants  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_3^{4-}$ ,  $\text{SiO}_2$ .

#### 5.1.1. Principe de la méthode

L'analyse des sels nutritifs est faite par la méthode de colorimétrie à flux continu sur chaîne automatisée SKALAR (Auto-analyser San Plus) (troisième génération), selon les protocoles décrits par le constructeur SKALAR (**Figure 15**).

Le fonctionnement de l'appareil repose sur un principe dynamique, celui de l'analyse liquide en flux continu : Une veine liquide propulsée en continu par une pompe péristaltique dans un circuit analytique spécifique à chaque paramètre analysé. Les réactions chimiques s'effectuent dans cette veine en progression. L'analyse des échantillons est réalisée par séquence, ce qui permet une grande cadence de travail. Cette chaîne de mesure automatisée est totalement pilotée par un microordinateur doté d'un logiciel spécifique. A la fin de l'analyse, ce dernier fournit un fichier numérique contenant les résultats accompagnés de toutes les informations relatives à l'analyse.



**Figure 15** : Auto Analyser San Plus (SKALAR®, 1998).

La colorimétrie est basée sur la loi de *Beer-Lambert* qui définit comme suit :

$$A = D.O = \log (I_0 - I) = \epsilon.L.C \dots III.6$$

$I_0$  et  $I$  : sont respectivement les intensités lumineuses incidentes et du milieu absorbant.

$\epsilon$  : Le coefficient d'extinction molaire variant en fonction de la température et la longueur d'onde.

$L$  : la Longueur du milieu traversé exprimé en cm.

$C$  : Concentration de la solution absorbante exprimée en mol/l.

$A$  : Absorbance de la solution.

$D.O$  : Densité Optique de la solution.

### 5.1.2. Analyse automatique des sels nutritifs

- **Dosage des nitrites**

Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) forment un diazoïque par action avec la sulfanilamide en milieu acide  $\text{pH} < 2$ . Ce composé formera ensuite en présence de N-naphtylethylénediamine un composé azoïque de couleur rose absorbant la lumière à 540 nm.

- **Dosage des nitrates**

La méthode est basée sur la réduction des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) par le passage de l'échantillon à travers une colonne réductrice de cadmium traité au cuivre. Les nitrites (en réalité  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$  réduits) seront ensuite dosés par colorimétrie selon la méthode précédemment décrite. Il suffira alors d'en déduire la concentration des nitrites déterminés directement (sans passage de l'échantillon sur la colonne réductrice) pour trouver les concentrations des nitrates (**Rodier et al.1996**).

- **Dosage des orthophosphates**

En présence d'antimoine oxytartrate de potassium à une température de 40°C (bain marie), les ions orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe antimoine phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique (**Murphy et Riley, 1962**). Cette forme réduite de coloration bleue à un maximum d'absorption à 880nm.

- **Dosage de silicium dissous**

Dans l'eau de mer, le silicium dissous se trouve à 95 % sous forme d'acide orthosilicique ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) (**Aminot et Chaussepied, 1983**). Cette forme réagit avec le molybdate d'ammonium en milieu acide pour former un complexe silicomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique en un composé coloré en bleu absorbant à 810 nm (**Mullin et Riley, 1955**). On y ajoute d'acide oxalique pour éviter les interférences des phosphates (**Annexe III**).

## 5.2. Etalonnage

Cette opération nécessite la préparation d'une solution mère puis une solution fille pour chaque élément à analyser. Les droites d'étalonnage sont établies automatiquement par le logiciel en utilisant les concentrations connues étalons et leurs hauteurs de pic correspondant (**Annexe III**).

## B. Analyses du sédiment

### 1. Détermination de l'humidité et de la perte au feu

#### 1.1. Matériel spécial

- Capsule à fond plat de 200 ml environ.
- Étuve à 105 °C.
- Four à moufle à 525 °C.

#### 1.2. Mode opératoire

Placer dans une capsule tarée M la moitié du prélèvement passé sur tamis. Soit  $M_1$  la masse en gramme. Sécher le sédiment en plaçant la capsule dans une étuve réglée à 105 °C. Laisser la capsule à l'étuve jusqu'à obtention d'une masse constante. Soit  $M_2$ . Le pourcentage d'humidité est obtenu à partir de la relation suivante :

$$\text{Humidité (g \%)} = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1 - M} \times 100 \dots \text{III.7}$$

Placer ensuite la capsule dans un four, monter la température jusqu'à 525 °C, laisser la capsule 4 heures. Peser après refroidissement de la capsule au dessiccateur. Soit  $M_3$ . Recommencer jusqu'à obtention d'une masse constante :

$$\text{Perte au feu} = \frac{(M_2 - M_3)}{M_2 - M} \times 100 \dots \text{III.8}$$

### 2. Analyse de la matière organique

#### 2.1. Principe de la méthode

La matière organique peut être analysée par différentes méthodes, la plus connue est la perte au feu, cette dernière permet de mesurer directement la matière organique après avoir calciné les sédiments (préalablement séché) à une haute température. La perte du poids représente le taux de la matière organique.

La teneur en matière organique est évaluée par la perte de masse de 1 g d'échantillon sec après chauffage à 525 °C.

## **2.2. Préparation de l'échantillon**

## **2.3. Matériel spécial**

- Tamis de 2 mm.
- Cristalliseur.

## **2.4. Mode opératoire**

Faire passer la totalité de l'échantillon par petites quantités sur le tamis pour éliminer les fractions les plus grossières (cailloux, débris végétaux). Recueillir le sédiment dans un cristalliseur.

## **3. Analyse granulométrique**

### **3.1. Principe de la méthode**

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques : poids, taille,... il existe plusieurs types d'analyse granulométrique, dans notre étude on s'intéresse à l'analyse granulométrique par tamisage.

Cette méthode consiste à faire passer l'échantillon à travers une série de tamis de différentes mailles normalisées classées en ordre décroissant, la dimension de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon. Ensuite peser le refus de chaque tamis. A partir des normes de tamisage on pourra déduire les différentes classes du sédiment analysé.



Figure 16 : Les étapes principales de la granulométrie.

### 3.2. Matériels et appareillage

- Série de Tamis série AFNOR (norme NF X 11-501 : dont les mailles sont respectivement (3150 µm, 2000 µm, 1600 µm, 1400µm, 1250µm, 1000 µm, 800 µm, 630µm, 500µm, 400µm, 315µm, 250µm, 180µm, 160µm, 125µm, 100µm, 80µm, 63µm, 50µm, 40µm.).
- Balance de précision de type ADVENTURER.
- Grandes boîtes de pétries en verre.
- Etuve ventilée de marque MEMMERT.
- Colonne vibrante de marque RETSCH.

### 3.3. Mode opératoire

- Etuver une quantité de sédiment a une température de 105 °C pendant 24 h dans des boîtes de pétries (**figure 16.a**).
- Peser 200g de chaque échantillon P1 (**figure 16.b**).
- Passés les échantillons sous un courant d'eau dans un tamis de 40µm de diamètre afin de soustraire les fractions fines (**figure 16.c**).
- Sécher à nouveau l'échantillon lavé, à 105 °C pendant 24 h
- Après séchage, on pèse l'échantillon à nouveau et noté P2 (pour déterminer la **quantité de fraction pélitique**).

Le taux des pélites est déterminé par l'expression suivante :

$$P \% = \frac{P1-P2}{P1} \times 100 \dots III.9$$

**P1**: Poids initial de l'échantillon en g.

**P2**: Poids sec de l'échantillon après rinçage en g.

- Faire passer le sédiment à travers une série de tamis de maille décroissante et tamiser à l'aide d'une tamiseuse de fréquence 45 Hertz pendant 10 minutes (**figure 16.d**).
- A la fin de tamisage, peser le refus de chaque tamis (**figure 16.e**).

### 3.4 Les paramètres et indices granulométriques

#### 3.4.1 Les paramètres centraux ou de position

##### 3.4.1.1 La médiane

La médiane est un paramètre clé, il correspond au diamètre du grain moyen dont l'ordonnée est à 50 % du poids total du sédiment échantillonné, elle est déduite aussi à partir de la courbe cumulative. La médiane est aussi le deuxième quartile Q2.

##### 3.4.1.2 Les quartiles

**Le 1er Quartile Q1** : Correspond au diamètre du grain représentant 25 % en poids total du sédiment.

**Le 2ème Quartile Q2 (Médiane)** : est la taille pour laquelle il y a 50 % du matériel de taille supérieure et 50 % en dessous.

**Le 3ème Quartile Q3** : Correspond au diamètre du grain représentant 75 % en poids total du sédiment. Ces paramètres nous montrent la part des sédiments grossiers et des sédiments fins dans un échantillon (**Tableau 03**).

**Tableau 03** : Classification des grains de sables (**Folk et Ward, 1957**)

Diamètre du grain	Classification
<110 $\mu\text{m}$	Sable très fin
110-150 $\mu\text{m}$	Sable fin
150-200 $\mu\text{m}$	Sable moyen
200-500 $\mu\text{m}$	Sable grossier
>500 $\mu\text{m}$	Sable très grossier

### 3.4.2 Les indices granulométriques

#### 3.4.2.1 Indice de classement de Trask ou indice de tri $S_0$ .

Appelé également indice de Trask (storting de Trask) et noté  $S_0$ , Il indique la dispersion des tailles par rapport à la moyenne de l'échantillon (**Chamley, 1987**).

Exprimé par la formule suivante :

$$S_0 = (Q75 / Q25)^{1/2} \dots \text{III.10}$$

Soit :

**$S_0$**  : Indice de classement de Trask

**Q25 (le 1<sup>er</sup> quartile)** : Correspond au diamètre du grain représentant 25 % en poids total du sédiment.

**Q75 (le 3<sup>ème</sup> quartile)** : Correspond au diamètre du grain représentant 75 % en poids total du sédiment.

Cet indice permet de faire un tri du sédiment selon les coupures adaptées par **Folk, 1966**. Les différentes classes de sédiment selon l'indice de Trask sont montrées dans le **tableau 04**

**Tableau 04** : classement des sédiments selon l'indice de Trask  $S_0$ . (**Folk ,1966**).

La valeur de $S_0$	Classement
$S_0 < 1$	Sédiment très bien classé
$1 < S_0 \leq 2,5$	Sédiment bien classé
$2,5 < S_0 \leq 3$	Sédiment normalement classé
$3 > S_0 \leq 4$	Sédiment mal classé

### 3.4.2.2 Indice d'asymétrie ou indice de Skewnes (SK)

Cet indice indique le tri d'un sédiment par rapport à la médiane, il informe sur l'homogénéité et l'évolution du sédiment vers le grossier, ou vers le fin (**Tableau 05**). Il est exprimé par la formule suivante :

- Le Skewnes de Trasck :

$$S_k = (Q_{25} \times Q_{75}) / (Q_{50})^2 \dots III.11$$

Soit :

**Sk** : Indice d'asymétrie

**Q25** : Correspond au diamètre du grain représentant 25 % en poids total du sédiment.

**Q75** : Correspond au diamètre du grain représentant 75 % en poids total du sédiment.

**Q50** : est la taille pour laquelle il y a 50 % du matériel de taille supérieure et 50 % en dessous.

**Tableau 05** : classement des sédiments selon l'indice de Skewnes SK. (**Folk ,1966**).

La valeur de Sk	L'asymétrie
Sk < 1	Classement maximum vers les fines
Sk = 1	Symétrie est parfaite
Sk > 1	Classement maximum vers le grossier

## **Résultats et discussions**

Après avoir élucidé en détailles les différentes méthodes utilisés lors des études précédentes, nous passons aux résultats et discussion. Dans ce chapitre, nous avons collecté des données des différentes études sur l'eau et le sédiment superficiel de la plage ouest de Sidi Fredj dans le passé pour comparer les résultats des paramètres mesurés.

Les données brutes ont fait l'objet d'un traitement statistique par Microsoft Office Excel. Pour la représentation des résultats nous avons élaboré des cartes à l'aide d'un outil du système d'information géographique (SIG) ArcGIS version 10.2.

#### **A. Etude comparative des paramètres mesurés au niveau de la plage Ouest de Sidi Fredj en 2011, 2012 et 2017**

Parmi les méthodes qui permettent d'évaluer significativement le degré de pollution de l'eau de mer, est de comparer les paramètres physico-chimiques qui sont susceptibles d'être affectés par la pollution sur le plan spatiotemporel. En fonction de la disponibilité des données des mémoires de fin d'étude suivants: SADAoui et CHABI (2011), SMAIL et DJOUDI (2012) et Abid et Sehil (2017), nous avons établi une étude comparative (2011, 2012 et 2017) au niveau des stations choisies à partir de critère de la proximité des coordonnées géographiques.

1. Paramètres physicochimiques

1.1 La température

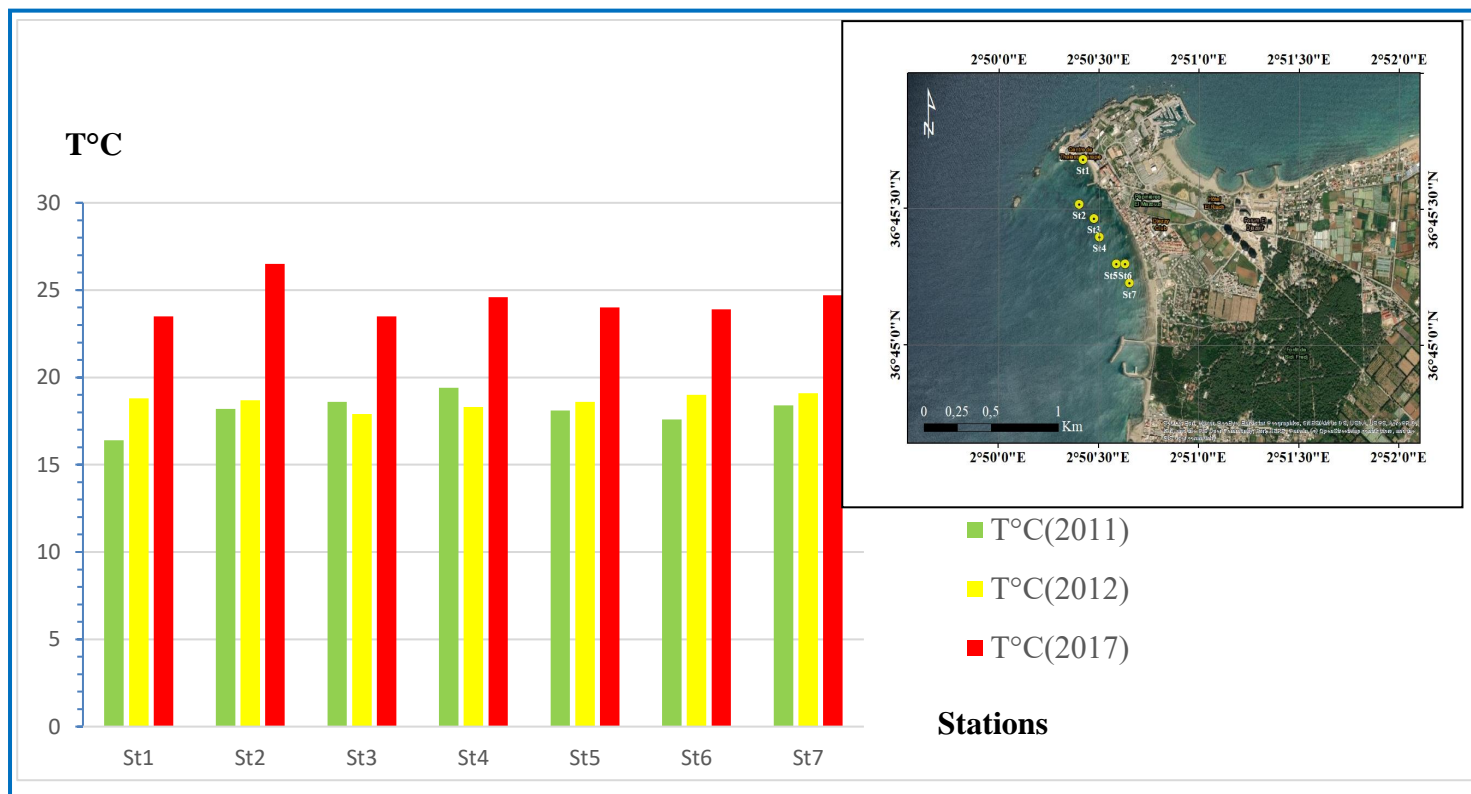


Figure 17 : Représentation graphique et cartographique de la variation de la température

D'après la figure 17, on constate qu'en 2011 et 2012, les valeurs de température étaient faibles avec un minimale enregistrée en 2011 (16,4 °C) (St1), Puis elles élèvent jusqu'aux 26,5 °C (St2) durant l'année 2017.

D'une manière générale, les températures enregistrées restent normales et témoignent du niveau thermique de la saison d'échantillonnage, rappelons qu'en période de prélèvement les conditions météorologiques étaient favorables, vent très faibles à modéré, mer calme ce qui signifié une faible agitation des eaux, donc nous pouvons remarquer une homogénéité des eaux.

Les températures enregistrées restent inférieures aux valeurs limites des rejets d'effluent liquide industrielles et aux normes algériennes (inferieures à 30°C) (Jora, 2006).

1.2 La salinité

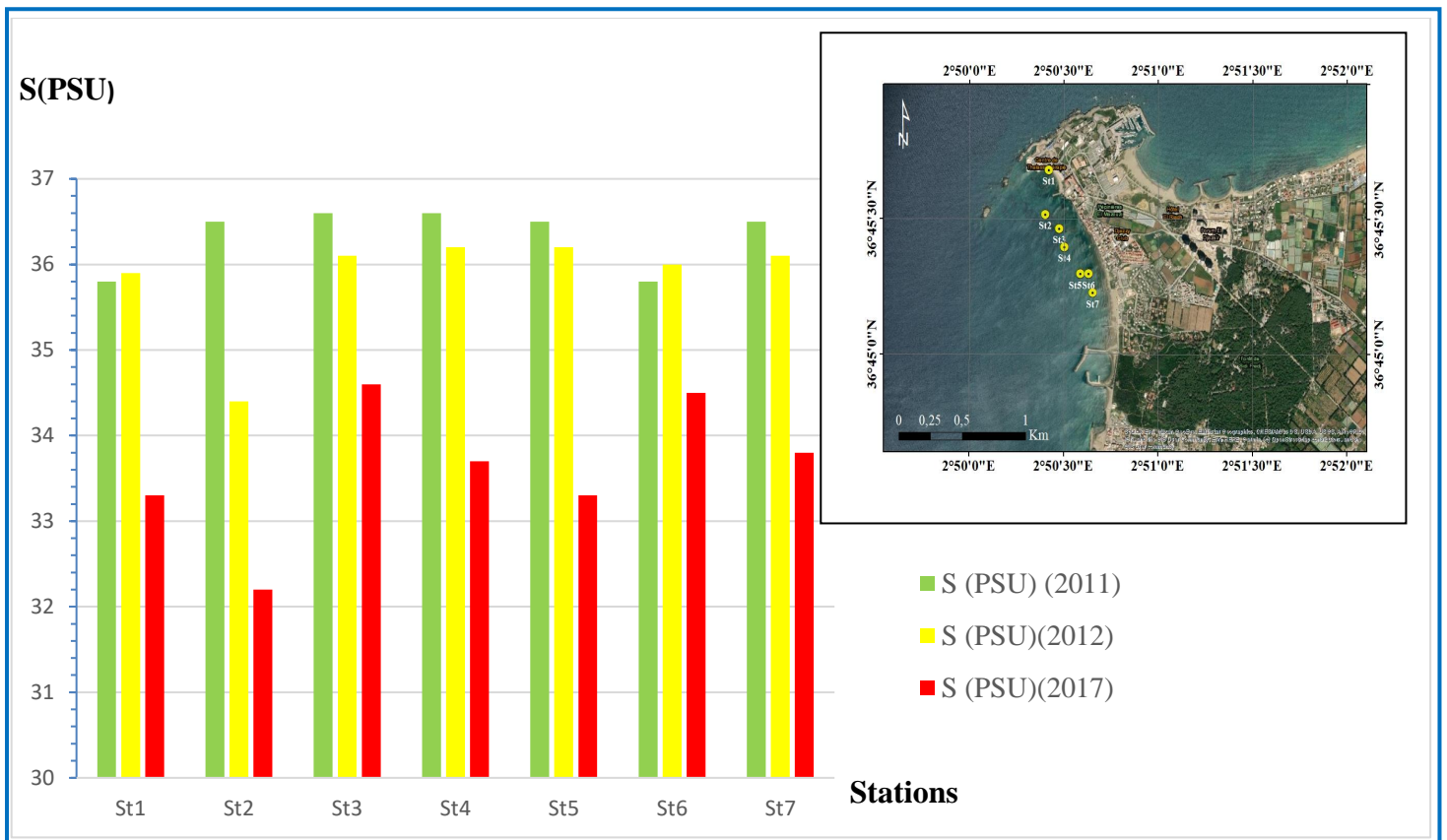


Figure 18 : Représentation graphique et cartographique de la variation de salinité.

D’après les graphes de la figure 18, on observe qu’en 2011 et 2012, les valeurs de salinité étaient proches, la plus grande valeur est celle mesurée en 2011 (36,6 PSU) au niveau de St3 et St4. Puis elles diminuent jusqu’aux 32,2 PSU (St2) en 2017, cette fluctuation peut s’expliquer par un apport local d’eau douce provenant des rejets de différentes sources et les eaux de ruissèlement qui déversent directement dans la plage.

La salinité en méditerranée est comprise entre 37.8 et 39.39 PSU près des côtes (Aminot et Chaussepied, 1983). Donc on peut dire que les valeurs de salinité sont faibles par rapport à la norme.

1.3.Le potentiel d'hydrogène

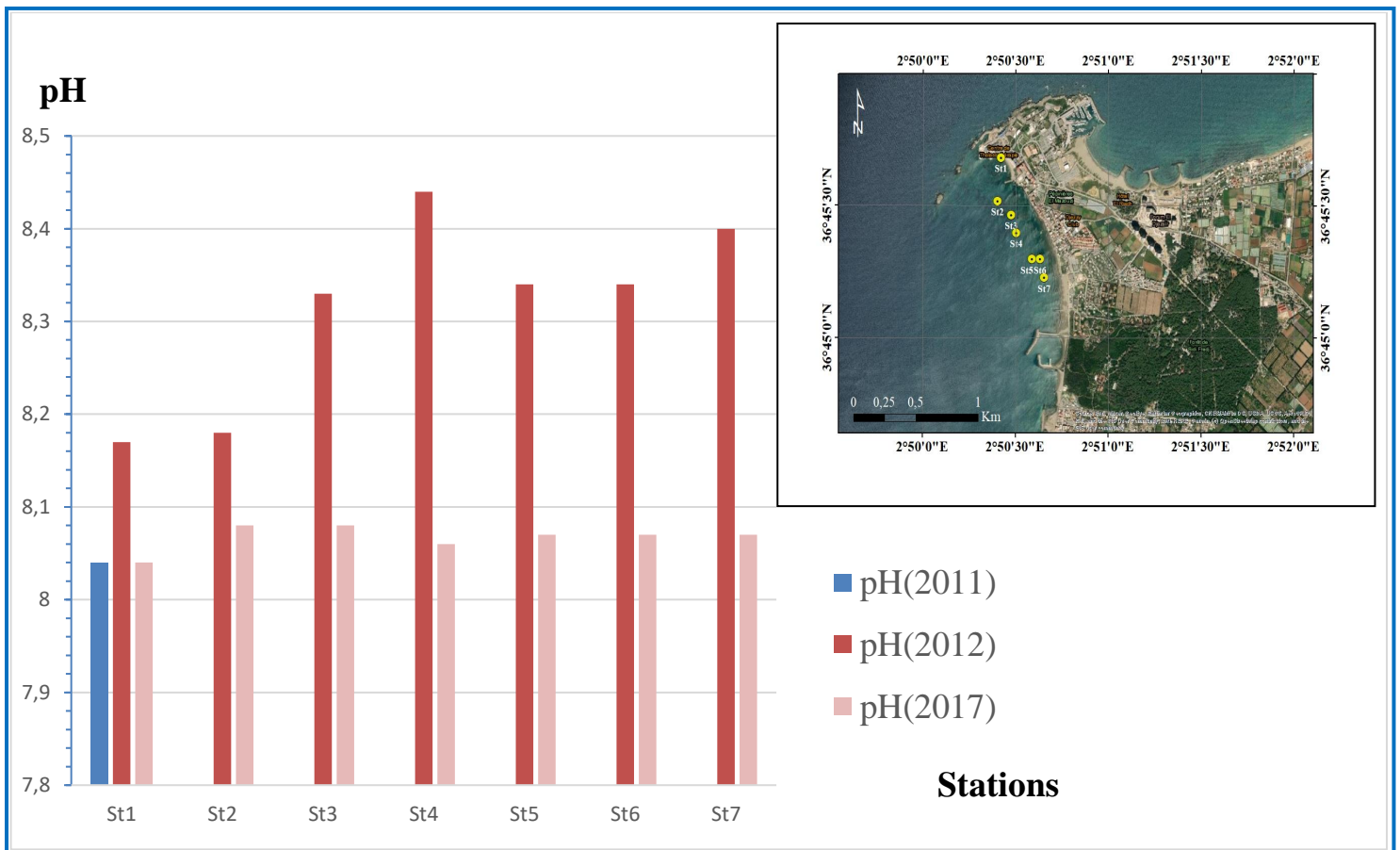


Figure 19 : Représentation graphique et cartographique de la variation de pH

D'après les résultats obtenus dans la figure 19, La plus faible valeur du pH a été enregistrée en 2011, elle était de l'ordre de 8,04 et elle a été obtenu dans la station 1 situé à proximité du centre thalassothérapie. Puis les valeurs s'élèvent en 2012 jusqu'aux 8,44 en St4, ceci peut être expliquer par l'existence des rejets contenant des détergents ou du savon qui vont faire augmenter le pH. Une autre diminution de ces valeurs jusqu'aux 8,04 en 2017 au niveau de la Station 1, est probablement due aux rejets d'eaux usées conduisant à une acidification de milieu provoquée par le processus de la dégradation de la matière organique. Ainsi aux qu'aux apports d'eaux douces.

2 Paramètres indicateurs de la pollution

2.1 Matières en suspension

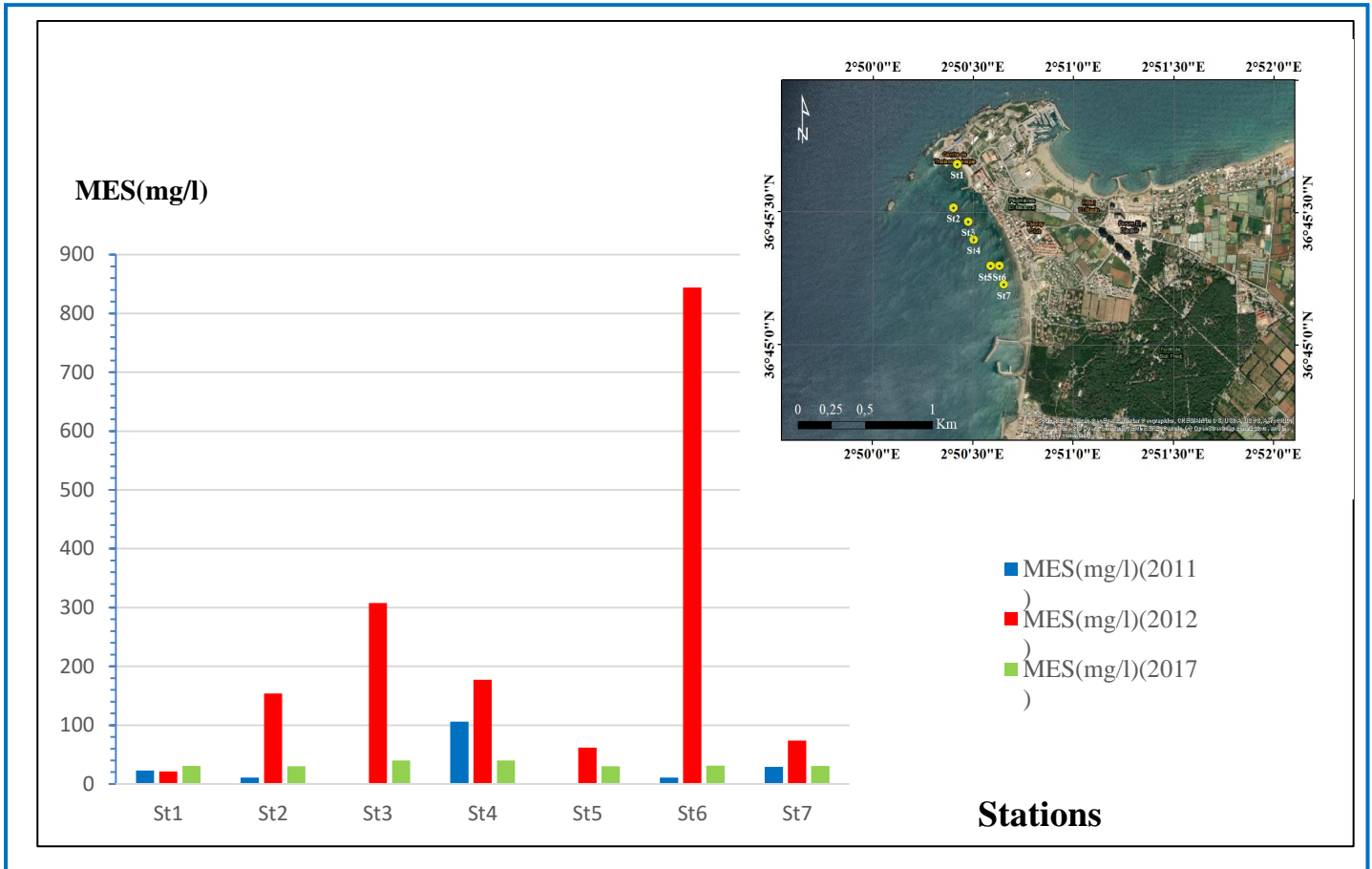


Figure 20 : Représentation graphique et cartographique de la variation de teneur en MES (mg/l)

La figure 20 présente les résultats pour la matière en suspension, on constate selon cette figure que Les teneurs de MES étaient très faibles en 2011, la plus faible valeur a été enregistrée au niveau de St2. Elle est de l'ordre de 11 mg/l. puis les valeurs de MES augmentent jusqu'aux 843,8 mg/l en St6 durant l'année 2012. cette augmentation a été due aux effets de l'hydrodynamisme, les apports en eaux et les rejets domestiques qui apportent des particules fines et qui peuvent remettre en suspension les particules déposées sur le fond. En 2017, une autre diminution de ces valeurs a été marquée.

2.2 Matière Organique Particulaire (MOP) dans l'eau

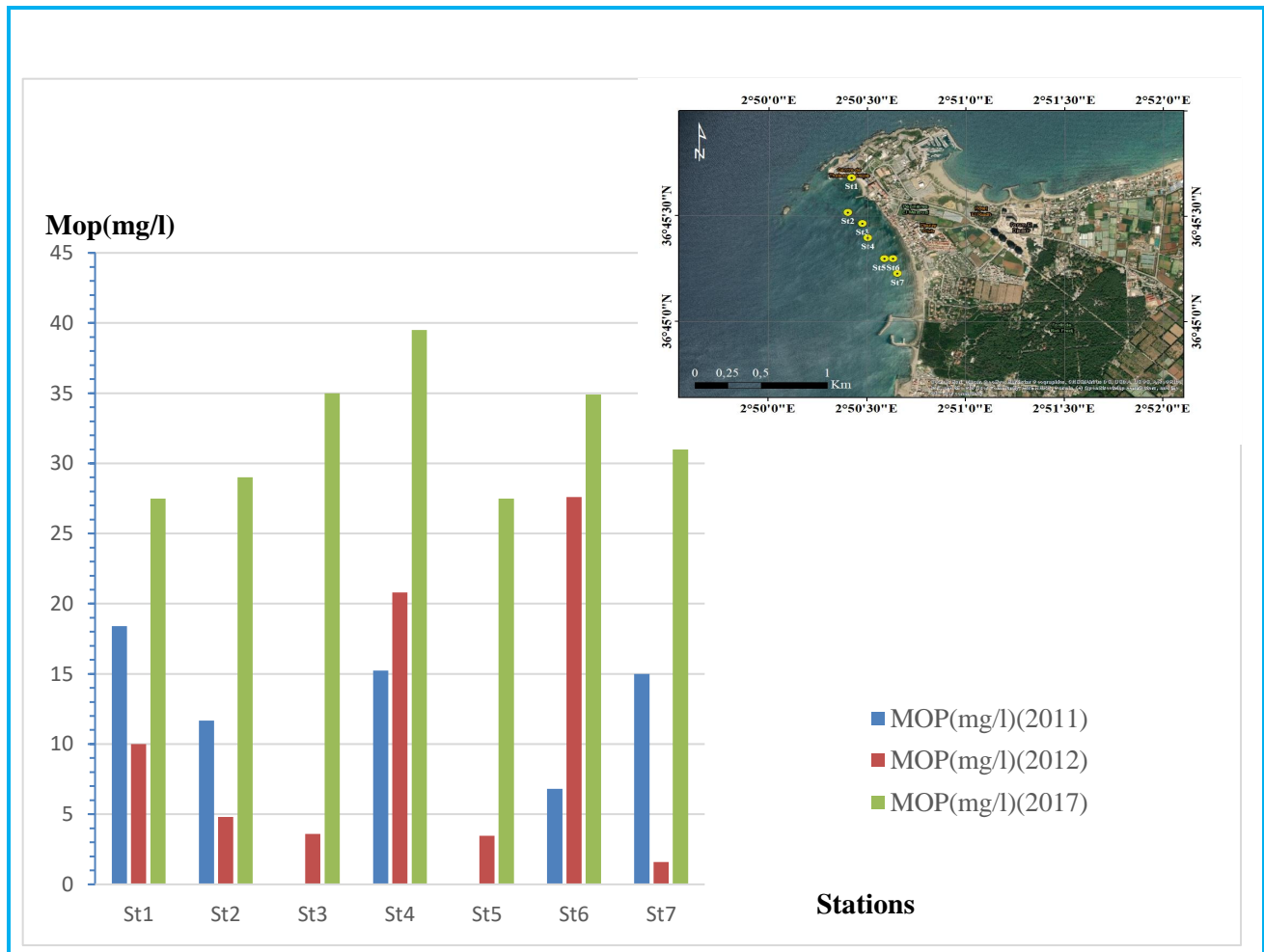
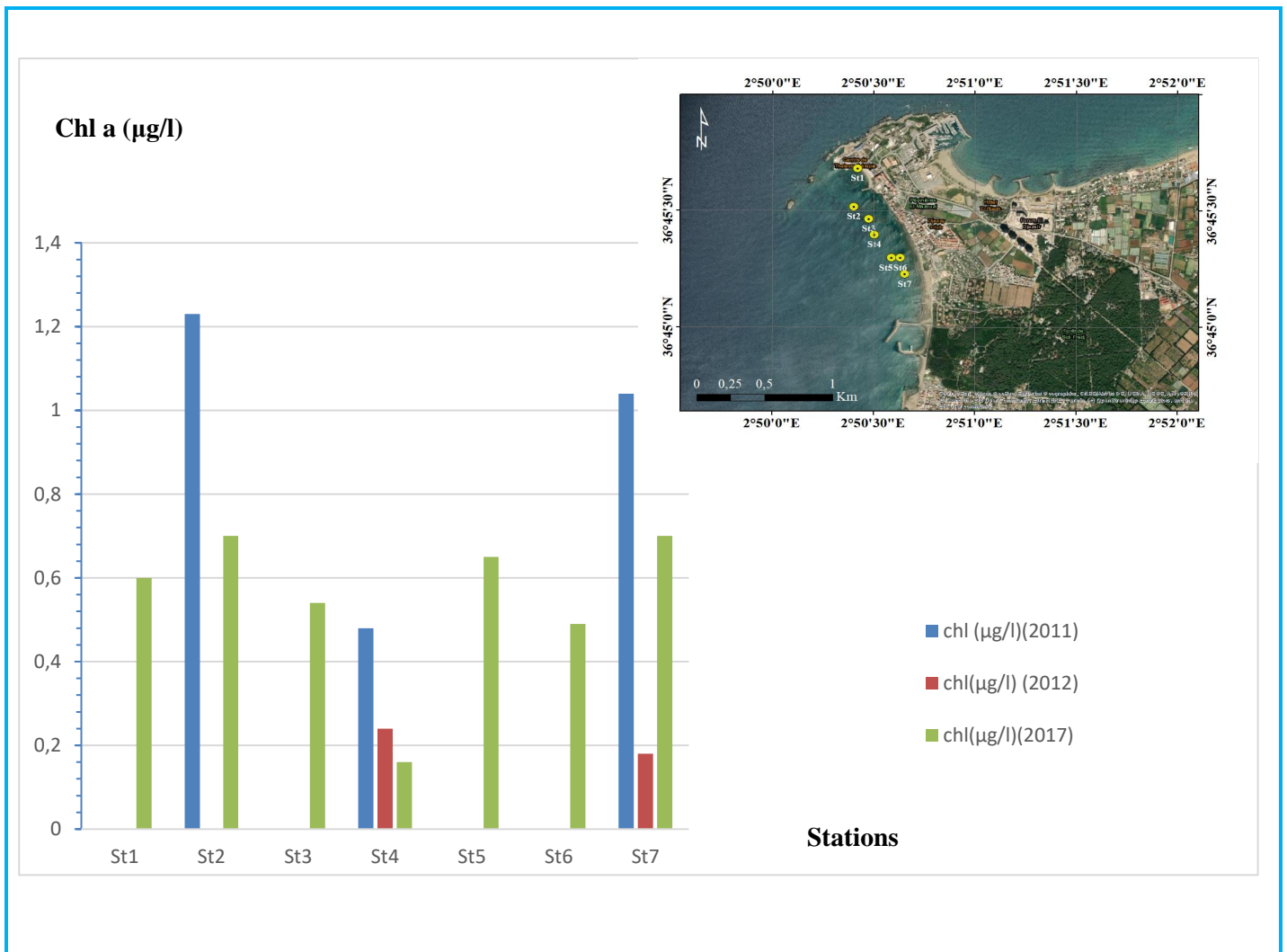


Figure 21 : représentation graphique de variation des teneurs en MOP

D’après la figure 21, En 2011, les concentrations des MOP étaient un petit peu élevées par rapport à l’année 2012 à l’exception des stations St4 et St6. La plus faible valeur a été enregistrée en 2012 au niveau de la Station 7, elle était de l’ordre de 1,6 mg/l. en 2017, les concentrations des MOP étaient très élevées par rapport aux années 2011 et 2012, la plus grande valeur a été enregistrée dans la Station 4. Elle était de 39,5 mg/l. Ceci peut s’expliquer que la station 4 située en face ou près d’un rejet domestique qui va enrichir le milieu en éléments nutritifs et accélère les activités biologiques.

3. Chlorophylle a

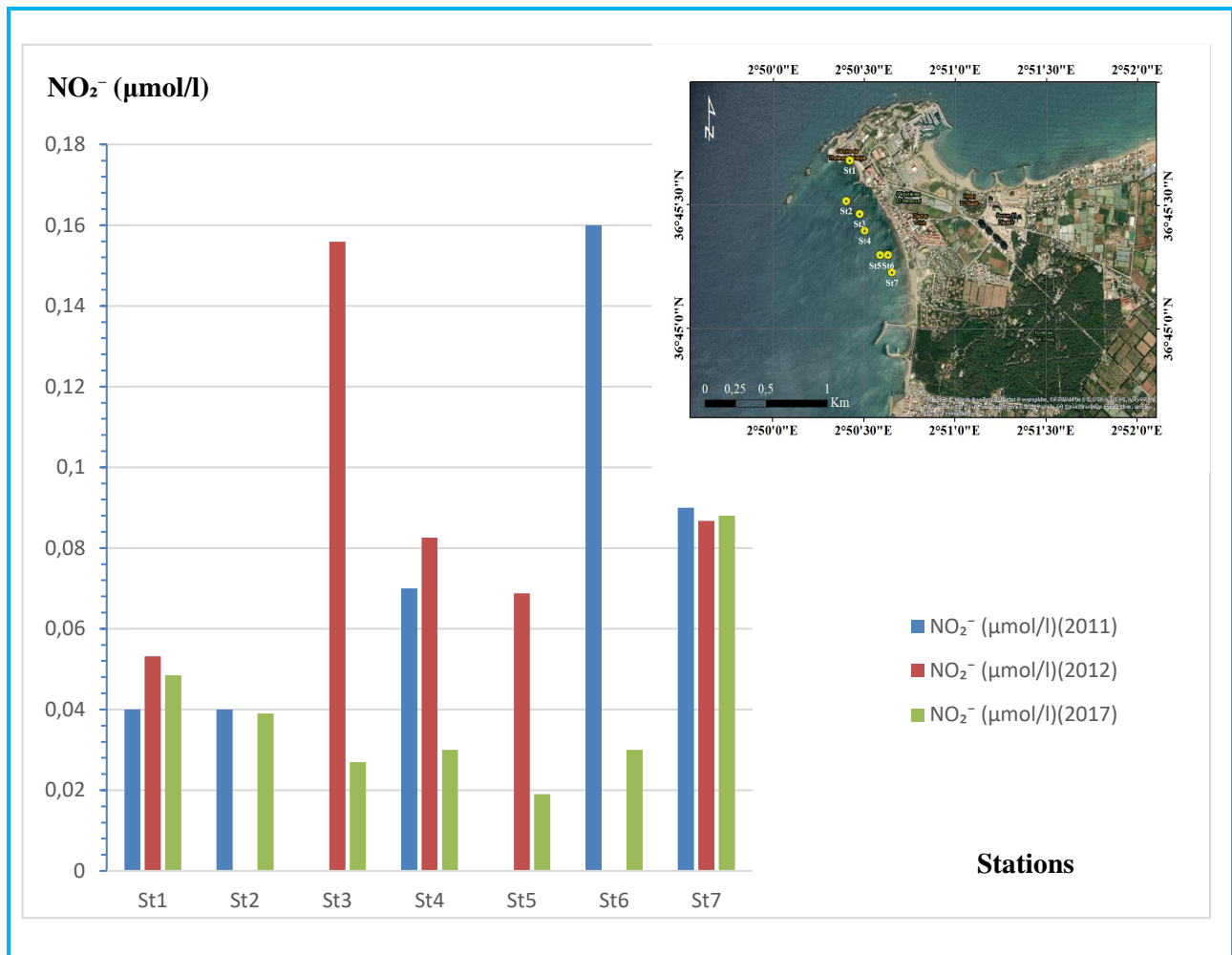


**Figure 22 :** Représentation graphique de variation de concentrations de la chlorophylle a (µg/l)

La figure 22 illustre les résultats de la chlorophylle. Les fortes teneurs en été enregistrées durant l’année 2011, la plus forte valeur de 1,23 µg/l a été obtenu dans la Station 2. Ces valeurs élevées étaient engendrées par une forte activité photosynthétique due à un enrichissement du milieu marin par les éléments nutritifs apportés par le lessivage des sols lors des périodes fluviales, les cours d’eaux, les rejets domestiques et les égouts. Puis ces teneurs sont diminuent en 2012 jusqu’aux 0,18 µg/l en Station 7. Une autre augmentation des teneurs en chlorophylle était marquée en 2017 jusqu’aux 0,7 µg/l en St7, à l’exception de la St4 où a été enregistrée la valeur minimale 0,16 µg/l. La variation de la concentration de chlorophylle a est influencée par des facteurs météorologiques et hydrologiques.

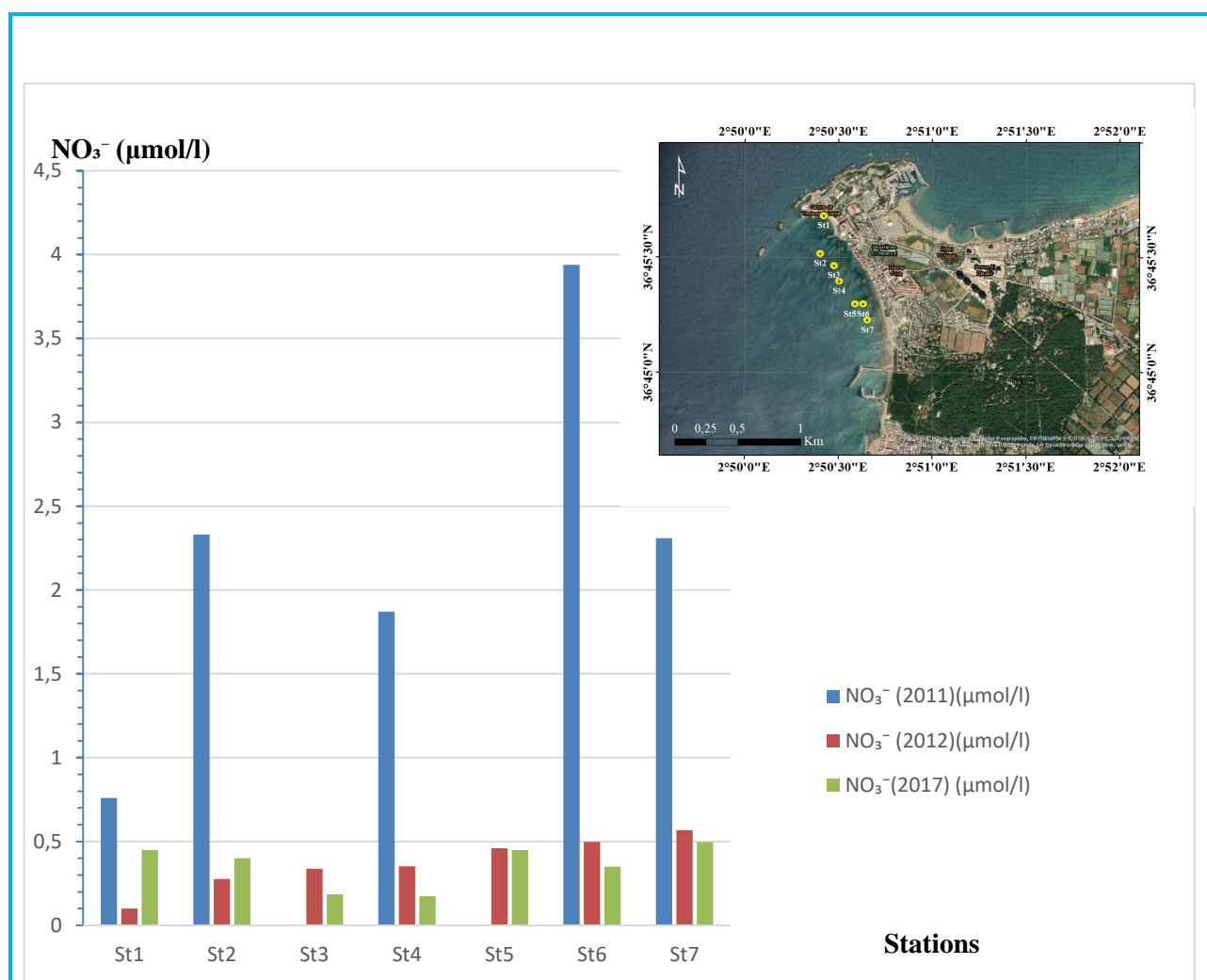
#### 4. Les sels nutritifs

##### 4.1. Les Nitrites « $\text{NO}_2^-$ » ( $\mu\text{mol/l}$ )



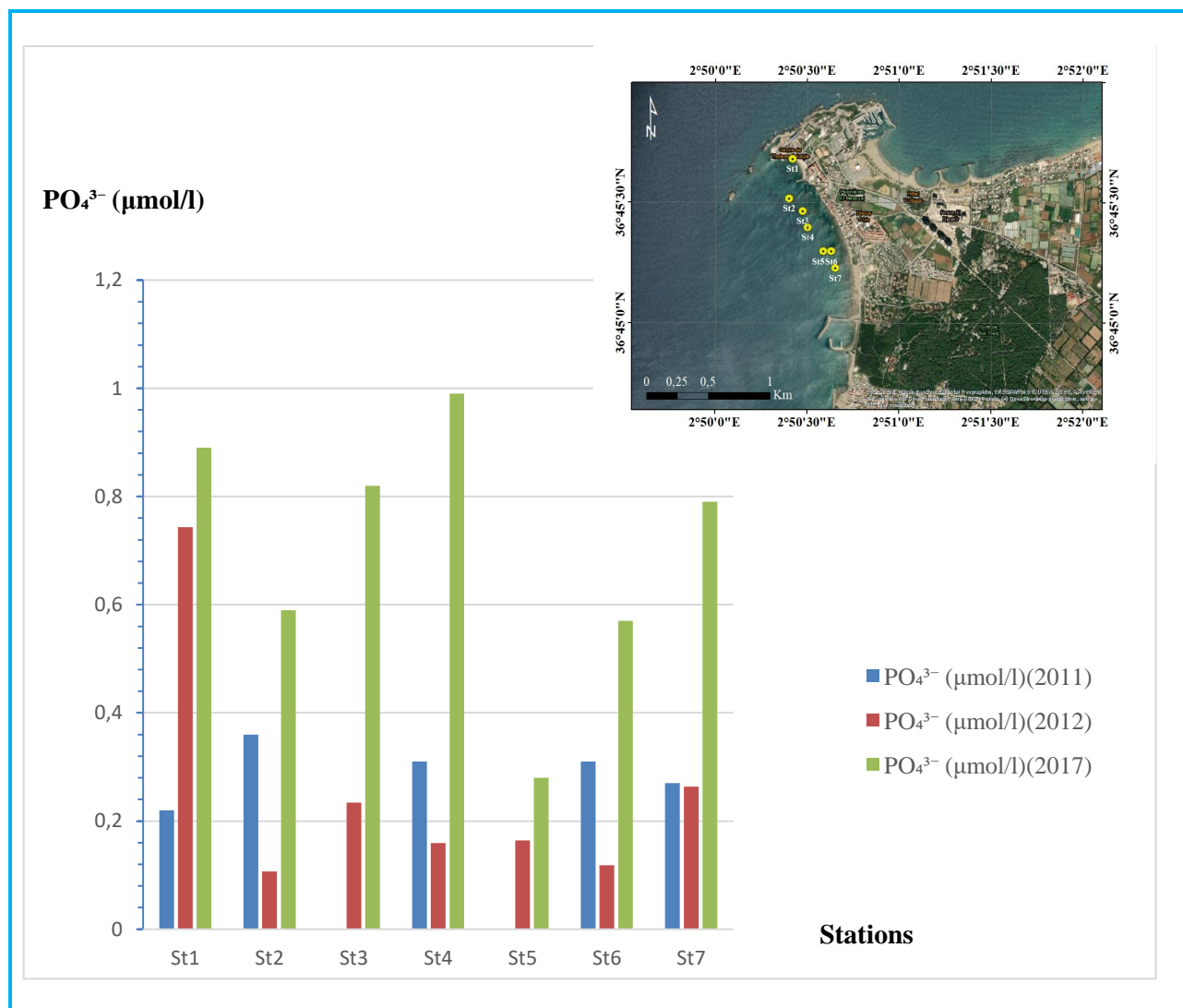
**Figure 23 :** Représentation graphique de variation de concentrations des Nitrites ( $\mu\text{mol/l}$ )

D'après les résultats obtenus dans la figure 23, en 2011, les concentrations des nitrites étaient relativement élevées presque dans toutes les stations, la plus grande valeur était celle mesurée au niveau de la St6. Elle était de l'ordre de  $0,16\mu\text{mol/l}$ . La dégradation des matières organiques était peut-être la cause principale de l'augmentation des concentrations des nitrites dans ces sites. En 2012, il y avait une grande variation de concentration des nitrites. Durant l'année 2017 les valeurs des nitrites ont été diminués jusqu'aux  $0,019\mu\text{mol/l}$  au niveau de Station5.

4.2 Les Nitrates «  $\text{NO}_3^-$  » ( $\mu\text{mol/l}$ )

**Figure 24 :** Représentation graphique de variation de concentrations des Nitrates ( $\mu\text{mol/l}$ )

D'après les résultats de la figure 25, en 2011, les concentrations des nitrates étaient élevées dans toutes les stations, la plus grande valeur est enregistrée au niveau de la St6 ( $3,94\mu\text{mol/l}$ ). Ces concentrations plus importantes sur la côte, ceci peut être expliqué par le fait que les eaux côtières sont en contact direct avec les eaux terrigènes (cours d'eau et rejets d'eaux usées). Les nitrates sont présents dans les eaux de surface à des concentrations relativement faibles en 2012 et 2017. La plus faible valeur a été enregistrée en 2012 au niveau de la St1, cette valeur des nitrates est de l'ordre de  $0,0999$  ( $\mu\text{mol/l}$ ). Ce qui peut être due au facteur hydrodynamique et une importante activité photosynthétique.

4.3 Les orthophosphates «  $\text{PO}_4^{3-}$  »

**Figure 25 :** Représentation graphique de variation de concentrations des Orthophosphates ( $\mu\text{mol/l}$ )

En 2011, les concentrations des orthophosphates ont été un petit peu élevées par rapport à l'année 2012, à l'exception de la Station 1. La plus faible valeur est enregistrée en 2012, elle est de  $0,107 \mu\text{mol/l}$  (St2). En revanche, les concentrations en 2017 sont fortement élevées dans toutes les stations. La plus grande valeur est de  $0,99 \mu\text{mol/l}$ , elle est enregistrée au niveau de (St4). Concentrations élevées peuvent être le résultat des polluants introduits dans le milieu par le rejet du centre de Thalassothérapie.

4.4 Les silicates «  $H_4SiO_4$ - dissous »

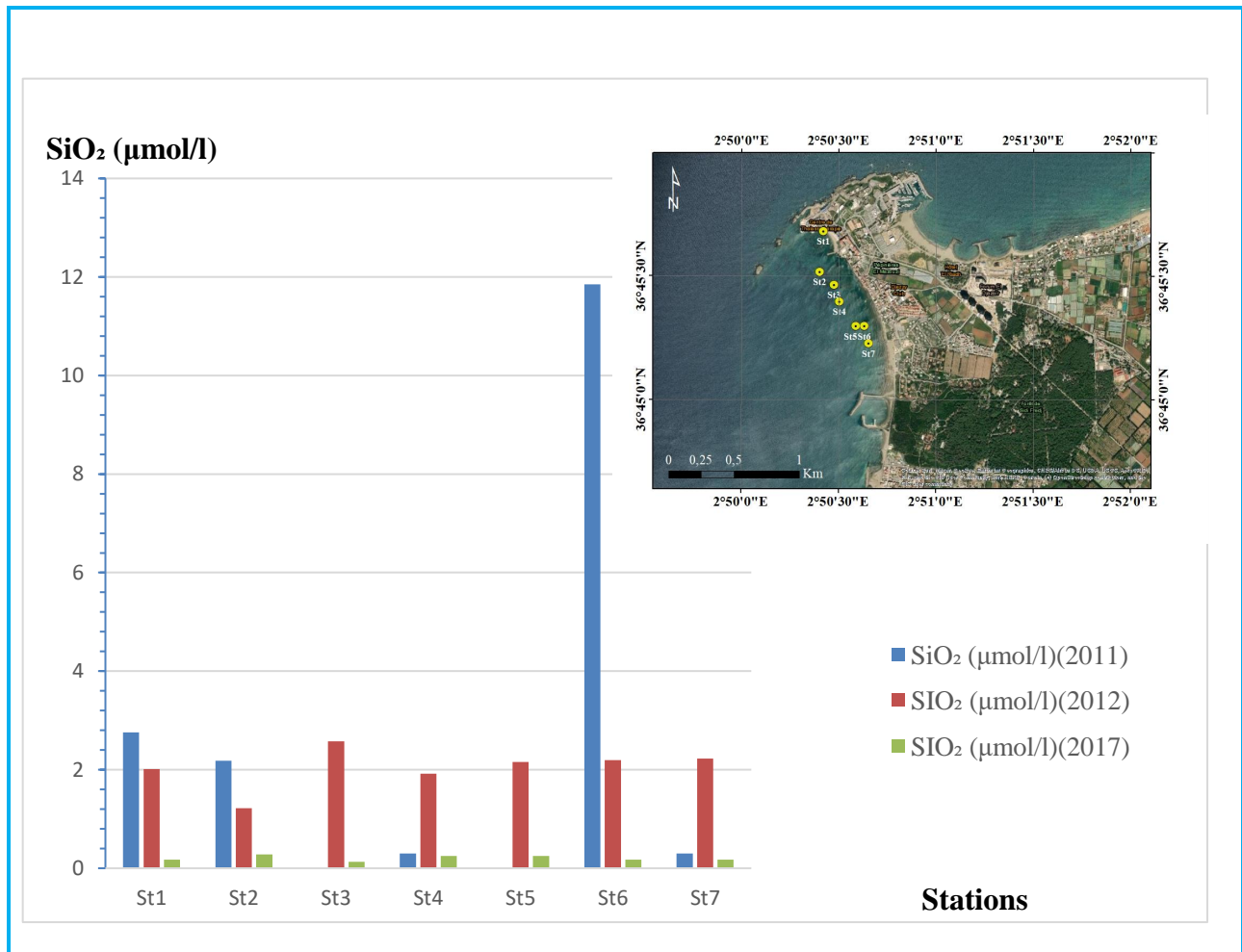


Figure 26 : Représentation graphique de variation de concentrations des silicates ( $\mu mol/l$ )

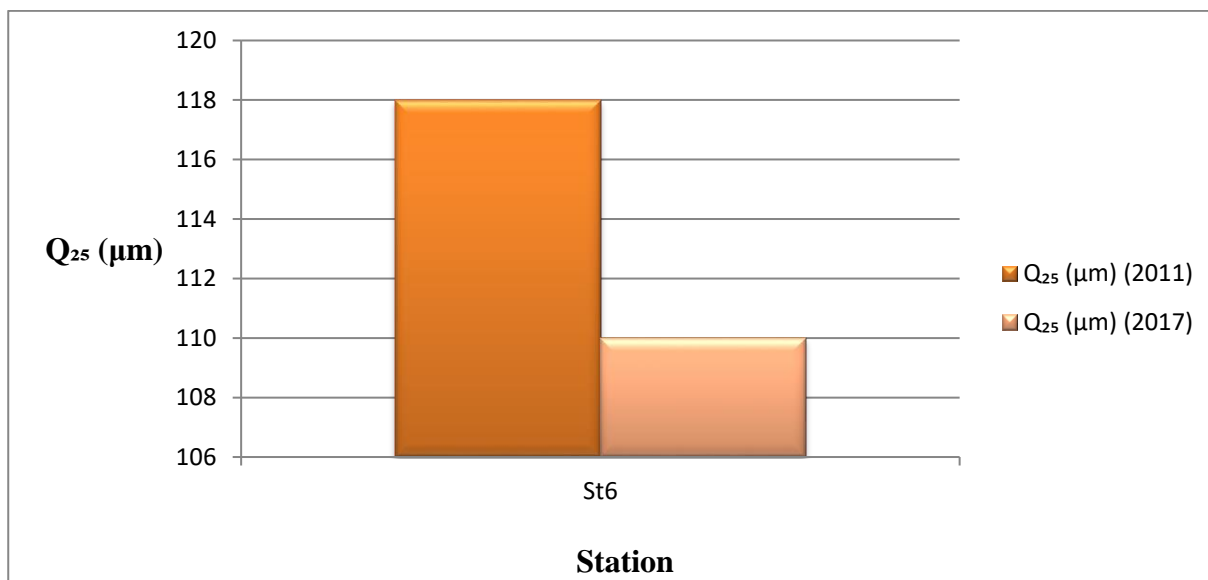
D’après les résultats obtenus (figure 27) :

Durant l’année 2011 les valeurs des Silicates sont élevées au niveau de toutes les stations à l’exception des (St4 et St7). La plus grande valeur est enregistrée dans St6, elle est de l’ordre de 11,85 ( $\mu mol/l$ ). Puis ces valeurs diminuent en 2012 au niveau de (St1, St2 et St6). En 2017, les concentrations sont très faibles, la plus faible valeur est de 0,13 ( $\mu mol/l$ ) au niveau de St3. Ce qui peut être lié à son assimilation par les phytoplanctons (Diatomées en particulier) pour la formation de leurs squelettes.

**B. Etude comparative des paramètres et indices granulométriques des sédiments entre 2011 et 2017 au niveau de la station St6**

**Tableau 06 :** comparaison de taux de matière organique dans le sédiment, paramètres et indices granulométriques des sédiments au niveau de plage ouest de Sidi Fredj entre l'année 2011 et 2017 au niveau de la station St6.

Paramètre et indices granulométrique	Q <sub>25</sub> (µm)		Q <sub>50</sub> (µm)		Q <sub>75</sub> (µm)		S <sub>0</sub>		SK		MO (%)	
	2011	2017	2011	2017	2011	2017	2011	2017	2011	2017	2011	2017
<b>Valeur St6</b>	118	110	190	145.1	195	161,9	1,33	0,82	0,59	0,95	1,25	0,27



**Figure 27 :** Répartition de Q25 au niveau de littoral Ouest de Sidi Fredj entre 2011 et 2017

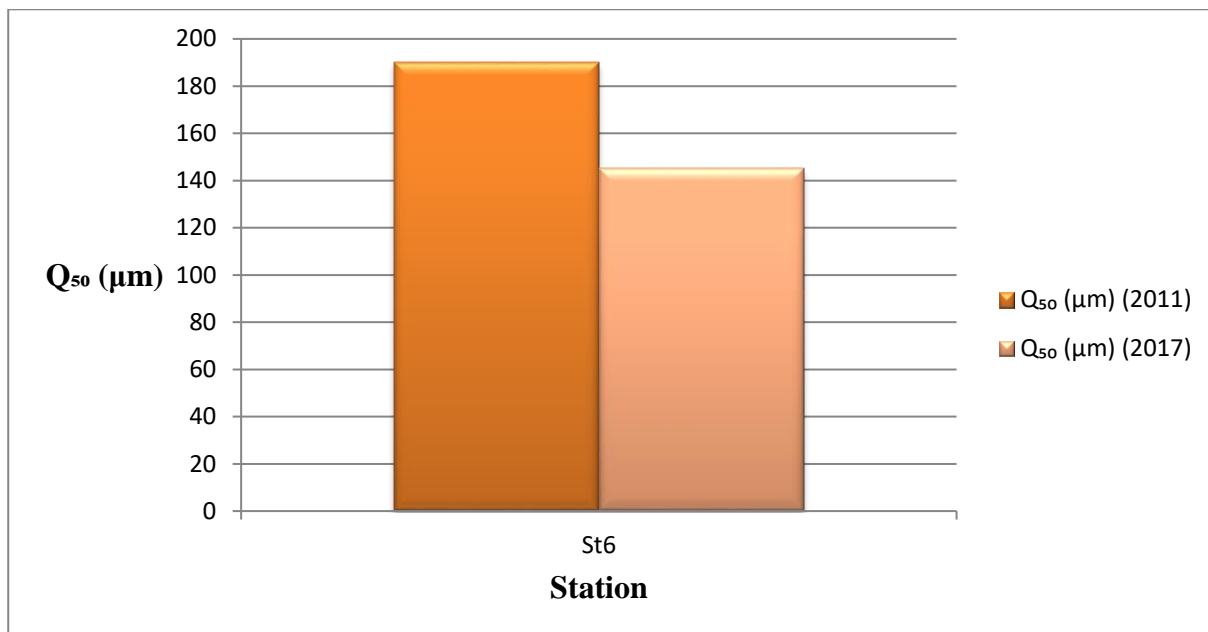


Figure 28 : Répartition de Q 50 au niveau de littoral Ouest de Sidi Fredj entre 2011 et 2017

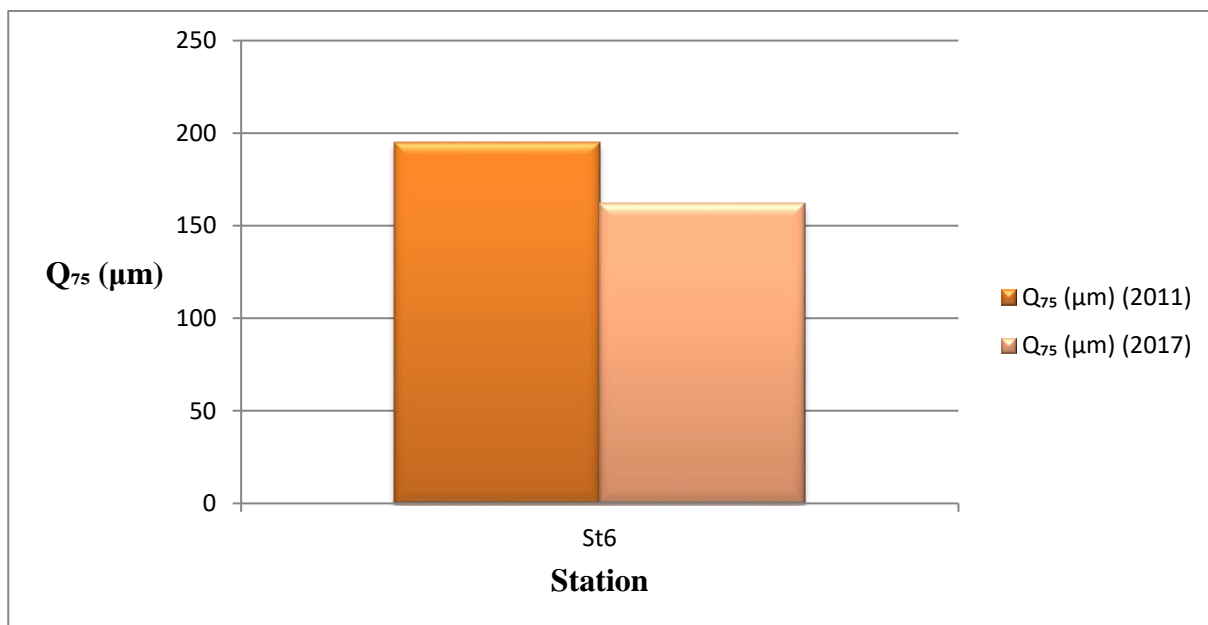
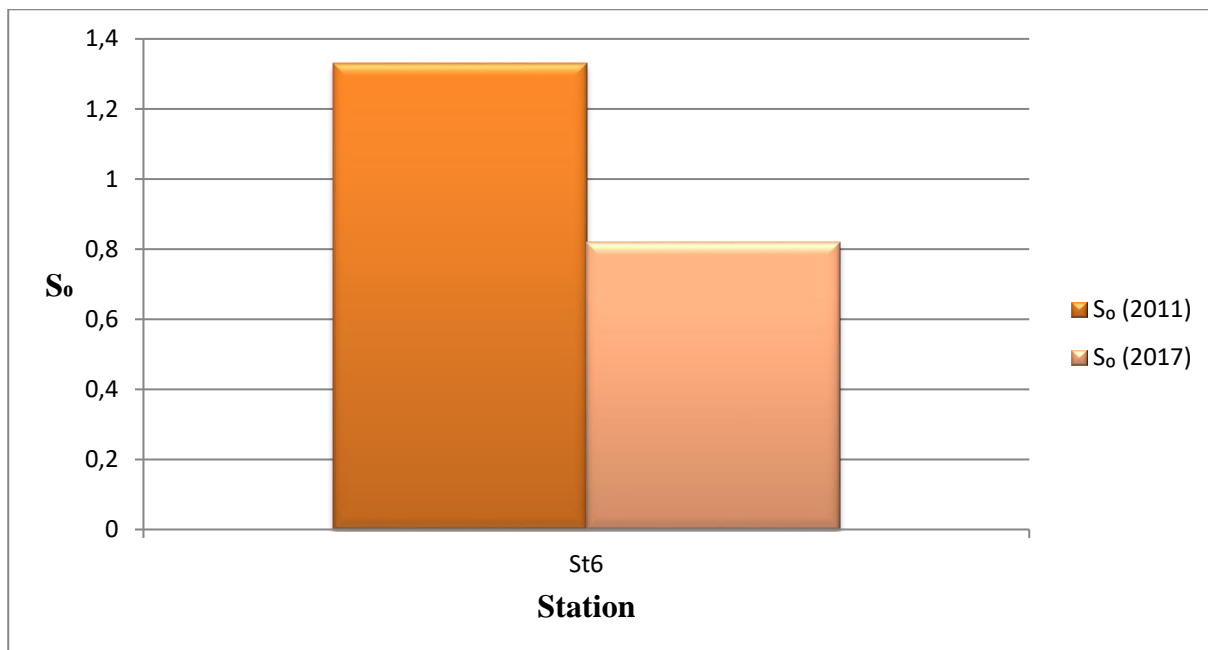
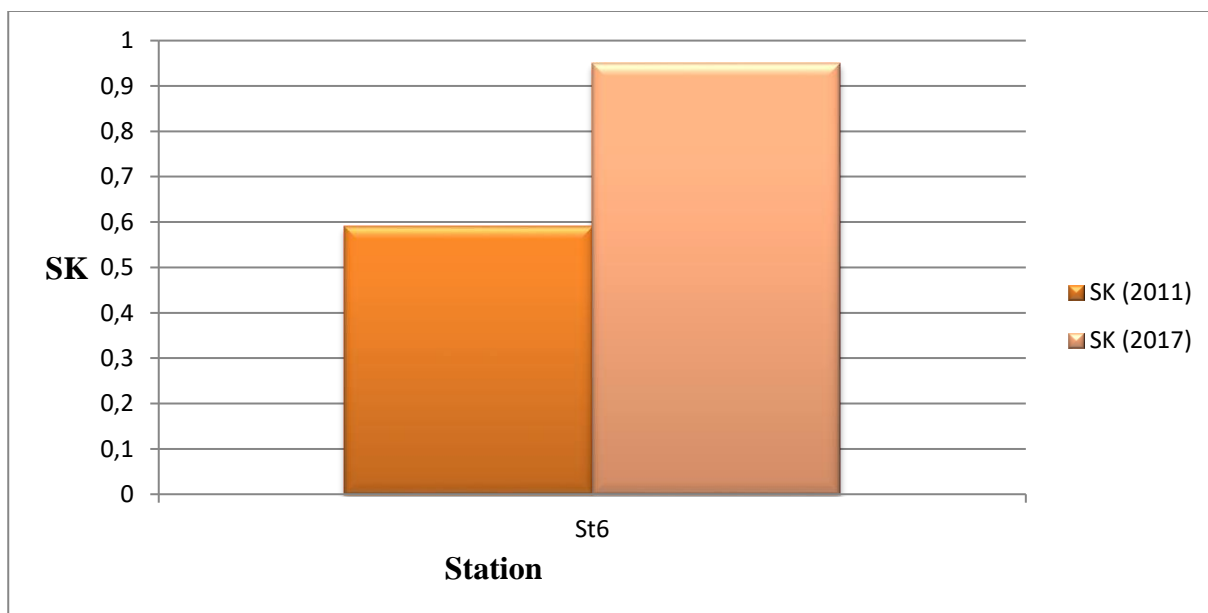


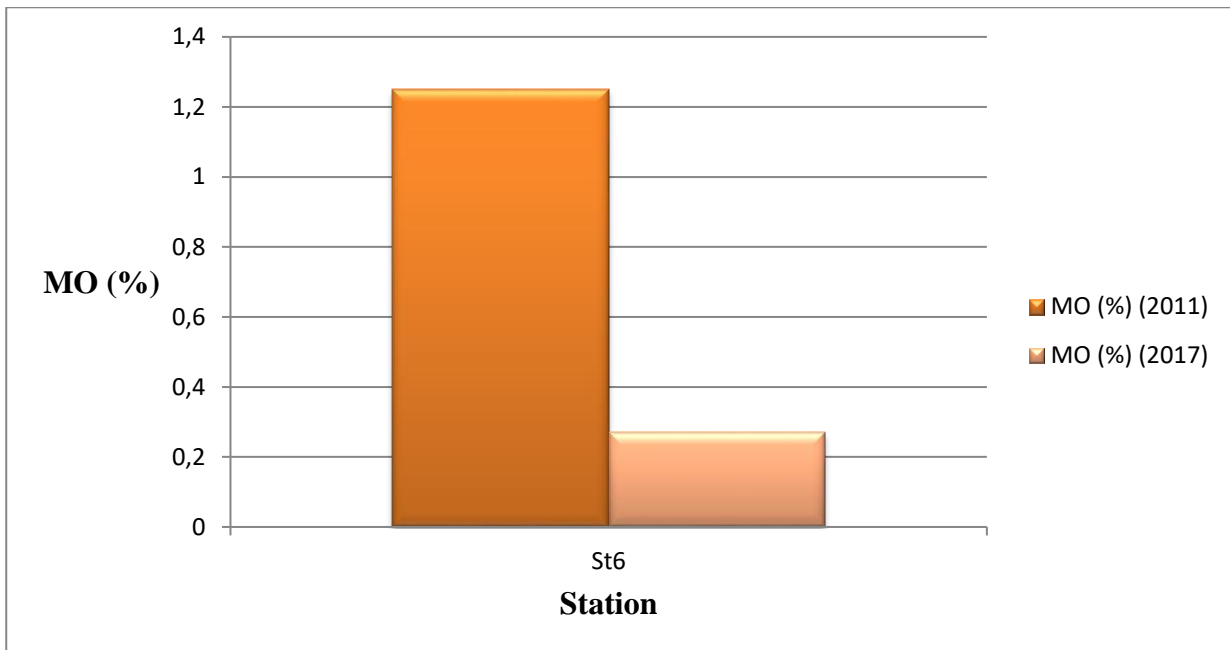
Figure 29 : Répartition de Q75 au niveau de littoral Ouest de Sidi Fredj entre 2011 et 2017.



**Figure 30** : Répartition d'indice de tri  $S_o$  au niveau de littoral Ouest de Sidi Fredj entre 2011 et 2017.



**Figure 31** : Répartition d'indice d'asymétrie au niveau de littoral Ouest de Sidi Fredj entre 2011 et 2017.



**Figure 32** : Représentation graphique de variation du pourcentage de la MO

D'après les valeurs trouvées dans (**le tableau 06**) on remarque que :

Les valeurs des 1<sup>er</sup> Quartile  $Q_{25}$ , la médiane  $Q_{50}$  et la 3<sup>ème</sup> Quartile  $Q_{75}$  durant l'année 2011 sont supérieures aux celles de l'année 2017. Donc selon la classification de **Folk et Ward 1954**, on constate qu'il y a un changement dans la classification des grains de sable moyen vers le sable fin.

La valeur de  $S_0$  durant l'année 2011 est supérieure à celle de l'année 2017. Donc selon l'indice de Trask  $S_0$  de (Folk, 1966), on constate qu'il y a un changement dans le classement de sédiment bien classé au sédiment très bien classé.

La valeur de  $SK$  durant l'année 2017 est supérieure à celle de l'année 2011. Donc selon l'indice de Skewnes  $Sk$  (Folk, 1966), le classement des sédiments est un classement maximum vers les fines.

La valeur des matières organiques est moins élevée (0,27 %) en 2017 par rapport à celle enregistrée durant l'année 2011 (1,25 %) à cause des déchets que génère l'activité humaine.

# **Conclusion générale**

Ce mémoire est basé essentiellement sur l'étude comparative des paramètres physicochimiques de l'eau de mer et de sédiment de la plage ouest de Sidi Fredj dans les années 2011, 2012 et 2017.

Cette étude comparative montre que :

Il n'y a pas une pollution par rapport à la température car elle est influencée par celle de l'air. Le taux de la salinité est dans l'intervalle de celui de la méditerranée à l'exception de l'année 2017 dont les valeurs de salinité sont faibles, cette fluctuation peut s'expliquer par un apport local d'eau douce. La variation du pH n'est pas significative. Sur l'ensemble des différentes stations, les valeurs de pH sont relativement homogènes. Sauf en 2012, elles sont élevées, ceci est dû à l'existence des rejets contenant des détergents ou du savon vont faire augmenter le pH.

Une pollution considérable par la matière en suspension est observée dans la zone d'étude en 2012 provient par la remise en suspension des particules sédimentées par rapport aux années 2011 et 2017. Une forte augmentation de la matière organique provient des rejets domestiques conduite à une pollution importante.

Concernant la chlorophylle-a, les concentrations plus ou moins importantes en 2011, ceci est dû essentiellement à l'abondance des sels nutritifs dans le milieu qui favorise le développement des phytoplanctons.

Il y a une diminution en sels nutritifs, cela signifie que les sources anthropiques (domestiques et agricoles par les oueds ou d'autres voies) contribuent à sa augmentation sont devenues moins importantes. Les teneurs relativement faibles en sels nutritifs durant l'année 2017 reflètent et expliquent la floraison printanière avec l'épuisement de ces nutriments par le phytoplancton.

L'étude sédimentologique de la plage Ouest de Sidi Fredj entre 2011 et 2017 montre qu'il y a une distribution des sédiments moyens bien classés.

D'après notre étude, on peut dire que la plage ouest de Sidi Fredj présente une pollution domestique.

## **Références bibliographiques**

- ABID, D et SEHIL, R. (2017).** Les paramètres physicochimiques de l'eau de mer et de sédiment de la plage ouest de Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 5-64 p.
- AMINOT, A., Chausse-Pied, M. (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Brest : CNEXO. 395 p.
- AMINOT, A et KEROUEL, R. (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et Analyses. Paris : Ifremer. 336 p.
- ANKE, S. (2015).** Les microplastiques dans l'environnement.1p. [En ligne]. Consulté le [10-11-2020]. Disponible sur le web : [https://www.centrecotox.ch/media/25544/2015\\_mikroplastik\\_fr.pdf](https://www.centrecotox.ch/media/25544/2015_mikroplastik_fr.pdf)
- BARCELO, D & PETROVIC, M. (2008).** SUSTAINABLE MANAGEMENT OF SEDIMENT RESOURCES: Sediment Quality And Impact Assessment Of Pollutants. 150 p.
- BENHALIMA, M. (2016).** Contribution à l'étude du cycle biogéochimique des sels nutritifs au niveau du bassin Algérien (données SOMBA-GE 2014). Mémoire de magister. Environnement. Alger : ENSSMAL, 19 p.
- BOULAHDID, M. (1987).** Analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Etude du mélange des masses d'eaux et de l'oxydation de la matière organique dans l'océan. *Thèse de Doctorat, Université de Paris VI, France, 266 P.*
- CHABI, A et SADAoui, M. (2011).** Diagnostic et paramètre environnementaux du littoral Ouest de Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL. 93, 102-103 p.
- CHAMLEY, H. (1987).** La sédimentologie. Paris : Dunod, 175 p.
- CLARK, R.B. (2001).** Marine Pollution. FIFTH EDITION. Oxford University Press Inc., New York. 40-42 P.
- COPIN-MONTEGUT, G. (1996).** Chimie de l'eau de mer. Collection «synthèse». Paris : Institut Océanographique, 319 p.
- De Giovanni C, (1973).** Etude de sédimentologie dynamique à la presqu'île de Sidi-Freuch (Ouest d'Alger), thèse de doctorat, Géologie marine et sédimentologie, Univ D'Aix Marseille, 105 p.

- DJOUDI, S et SMAIL, H. (2012).** Contribution à l'étude de la qualité des eaux et des sédiments de la plage Ouest de Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger : ENSSMAL, 100, 112-115 p.
- FARINEAU, J et al. (2011).** La photosynthèse : Processus physiques, moléculaires et physiques. Paris: Quae. 62 p.
- FOLK, R. I., WARD. W. C. (1957).** Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. J. Sediment. Petrol. 27 : 3-26 p.
- FOLK, R. (1966).** A review of grain size parameters. Sedimentology. 73 p.
- GALAF, F., GHANNAM, S. (2003).** Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un Web sur la pollution du milieu marin, 36 p.
- GAUJOUS, D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques : aide –mémoire. Paris: Technique & Documents, 220 p.
- GAUJOUS, D. (1998).** La pollution des milieux aquatiques : aide mémoires. Paris: Technique & documentation, 39-198 p.
- GESAMP. (1982).** Scientific Criteria for the Selection of Waste Disposal Sites at Sea: Reports and Studies. Rapport d'activité. Document non publié. France: Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. N°16
- HAOUA, M., LALAOUI, A. (2006).** Analyse corrélative des paramètres physico-chimiques indicateurs de la pollution aquatique dans la zone Est de Sidi Fredj (port et plage Est). Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger: ENSSMAL, 27 p.
- JACQUES, G., TREGUER, P. (1986).** Ecosystème pélagique marin. Collection d'écologie. Paris: Masson. 243 p.
- KHALDI, N. (2016).** Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire soumise à l'action de la houle et des courants: Application à la côte de Sidi-Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger: ENSSMAL, 47p.
- KHECHNI, A. (2012).** Les paramètres physico-chimiques et les sels nutritifs influence continentale et des eaux du large. ENVIRONNEMENT. ALGER: ENSSMAL, 73 p.

- LECLAIRE, L. (1972).** Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares. (Précontinent algérien). Paris : Mémoire du muséum national d'histoire Naturelle, 391 p.
- LECUYER, Ch. (2014).** L'eau sur la terre : propriétés physicochimiques et fonctions biologiques. France: ISTE. 82 p.
- LEVITUS, S. (1993).** Distribution of nitrate, phosphate and silicate in the world oceans. ProgrammeOcéanographique, Vol. 31, 245-273 p.
- MILLERO, F J. (2013).** Chemical Oceanography. Fourth edition .New York: CRC Press. 78 p.
- Millot, C., Taupier-Letage, I et Benzohra, M. (1990).** The Algerian eddies. Earth-Science Reviews. Vol. 27, 203-219 p.
- Mullin J. B. et Riley J. P. (1955).** The spectrophotometric determination of silicate-silicon natural waters with special reference to sea water. Anal. Chim Acta, 12: 162-170 p.
- Nadir, M. (2016).** Modélisation numérique de la morphodynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas: Plage Est de SIDI Fredj. Aménagement de littoral. Alger: ENSSMAL, 32 p.
- PILSON, M. (2013).** An Introduction to the Chemistry of the Sea. Seconde édition .France . Cambridge Univrsity Press. 179 p.
- QUEVAUVILLER, Ph. (2010).** Protection des eaux souterraines-Législation européenne et avancées scientifiques. Paris : Lavoisier TEC & DOC. Chapitre 1, 20 p. [En ligne]. Consulté le [02-10-2020]. Disponible sur le web : <https://books.google.dz/books>.
- RAMADE, F. (2000).** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. France : Ediscience International. 428 p.
- Redfield, A-C et al. (1963).** The influence of organisms on the composition of sea water. In the sea. Vol 2. Edit. M.N.Hill. intersciences. New York, 26-77 p.
- Riley et Chester. (1971).** Introduction to marine chemistry. Department of oceanography. The University of Liverpool, England. Edition: ACADEMIC PRESS London and New York. 465 p.
- RODIER, J et al. (2005).** L'analyse de l'eau. 8<sup>ème</sup> édition. Paris: DUNOD, 1383 p.

**RODIER, J et al. (2009).** L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 9<sup>ème</sup> Ed. Paris: DUNOD, 1111-1174 p.

**SAYED, A. (2019).** Suivi des paramètres physico-chimique et des sels nutritifs dans la baie de Bou Ismail. Mémoire d'ingénieur. Environnement. Alger: ENSSMAL, 21-22 p.

**SCHNEIDER, G. (2001).** Boue de curage des cours d'eau. Le courrier de l'environnement de l'INRA. [En ligne]. Consulté le [22-10-2020]. Disponible sur le web:

<http://www.inra.fr/dpenv/curage.htm>

**SCORDIA, P.Y. (2008).** Caractérisation et valorisation de sédiments fluviaux pollués et traités dans les matériaux routiers. Thèse de doctorat. Génie civil. Lille : L'école centrale de Lille, 189 p.

# **Annexes**

## Annexe I

**Mémoire 2011 :**

Sortie au niveau de la cote : faites le : 07/03/2011 et 20/03/2011.

Les travaux ont été effectués dans des conditions météorologiques étant favorables. Le vent était très faible (quasiment nul) et la mer était calme.

Sortie au large : faite le 03/04/2011

Les travaux en mer ont été réalisés à bord de l'embarcation de l'ENSSMAL **Baba Arouj** dans le cadre d'une campagne pluridisciplinaire. La campagne a eu lieu dans des conditions d'une mer calme, ciel clair et vent quasiment nul.

N° de station	Date (2011)	Z (m)	Heure (h/min)	Lieu	Latitude N	Longitude E	Longitude (X)	Latitude (Y)
c1	07/03	0.25	10 :50	Plage thalassothérapie	36°45.682'	2°50.422'	485751,6555	4068121,305
4	03/04	1.9	10 :38	Large	36°45.507'	2°50.439'	485776,4064	4067797,731
C	03/04	2.9	11 :14	large	36°45.415'	2°50.463'	485811,8281	4067627,586
7	03/04	2.6	11 :12	large	36°45.389'	2°50.508'	485878,6951	4067579,408
E	03/04	2.6	11 :04	large	36°45.273'	2°50.622'	486047,9436	4067364,674
c9	20/03	0.25	12 :00	Plage Ouest	36°45.310'	2°50.698'	486161,1229	4067432,894
10	03/04	2.0	10 :58	large	36°45.218'	2°50.641'	486076,0451	4067262,947

**Mémoire 2012 :**

Sortie sur la cote : le 04/04/2012

La sortie a été réalisée dans des conditions météorologiques favorables, vent très faibles à modéré, mer calme avec une visibilité relativement importante.

N° de station	Date(2012)	Lieu	Latitude N	Longitude E
C1	04/04/2012	Cote	36,756667	2,833889
C3	04/04/2012	Cote	36,758056	2,8386111
C4	04/04/2012	Cote	36,755833	2,8402778
C5	04/04/2012	Cote	36,754444	2,8402778
C7	04/04/2012	Cote	36,751111	2,8394444
C8	04/04/2012	Cote	36,7525	2,8425
C9	04/04/2012	Cote	36,7575	2,8402778

**Mémoire 2017 :**

Sortie sur la cote le 13/03/2017 :

Les travaux en mer ont été réalisés à bord de l'embarcation de l'ENSSMAL : « Baba Arouj ».

Station	Profondeur (m)	Latitude N	Longitude E	Heure (h/min)	Etat de la mer
S1	1	36°45.682'	2°50.422'	10 :45	calme
S3	3.2	36°45.518'	2°50.402'	11 :18	calme
S4	3	36°45.465'	2°50.476'	11 :44	calme
S5	3	36°45.398'	2°50.505'	11 :50	calme
S7	2	36°45.298'	2°50.588'	12 :09	calme
S8	2.1	36°45.298'	2°50.633'	12 :19	calme
S9	1.9	36°45.228'	2°50.655'	12 :35	calme

**Tableau :** Nomination des stations

Stations choisis			Nouveaux noms des stations
Mémoire 2011	Mémoire 2012	Mémoire 2017	
c1	C1	S1	St1
4	C3	S3	St2
C	C4	S4	St3
7	C5	S5	St4
E	C7	S7	St5
c9	C8	S8	St6
10	C9	S9	St7

**Mémoire 2011 :** Diagnostic et paramètres environnementaux du littoral Ouest de Sidi Fredj.

**Mémoire 2012 :** Contribution à l'étude de la qualité des eaux et des sédiments de la plage Ouest de Sidi Fredj.

**Mémoire 2017 :** Les paramètres physicochimiques de l'eau de mer et de sédiments de la plage Ouest de Sidi Fredj.

**Tableau :** Localisation des stations dans la zone d'étude.

points	Latitude N	Longitude E	Longitude (X)	latitude (Y)
St1	36° 45,682'	2° 50,422'	2,84036667	36,7613667
St2	36° 45,518'	2° 50,402'	2,84003333	36,7586333
St3	36°45,465'	2°50,476'	2,84126667	36,75775
St4	36° 45,398'	2° 50,505'	2,84175	36,7566333
St5	36° 45,298'	2° 50,588'	2,84313333	36,7549667
St6	36° 45,298'	2° 50,633'	2,84388333	36,7549667
St7	36° 45,228'	2° 50,655'	2,84425	36,7538

**Tableau :** variation interannuelle de température

stations	T°C(2011)	T°C(2012)	T°C(2017)
St1	16,4	18,8	23,5
St2	18,2	18,7	26,5
St3	18,6	17,9	23,5
St4	19,4	18,3	24,6
St5	18,1	18,6	24
St6	17,6	19	23,9
St7	18,4	19,1	24,7

**Tableau :** variation interannuelle de salinité

stations	S (PSU) (2011)	S (PSU) (2012)	S (PSU) (2017)
St1	35,8	35,9	33,3
St2	36,5	34,4	32,2
St3	36,6	36,1	34,6
St4	36,6	36,2	33,7
St5	36,5	36,2	33,3
St6	35,8	36	34,5
St7	36,5	36,1	33,8

**Tableau :** variation interannuelle du pH

stations	pH(2011)	pH(2012)	pH(2017)
St1	8,04	8,17	8,04
St2	/	8,18	8,08
St3	/	8,33	8,08
St4	/	8,44	8,06
St5	/	8,34	8,07
St6	/	8,34	8,07
St7	/	8,4	8,07

**Tableau :** variation interannuelle des matières en suspension

stations	MES (mg/l) (2011)	MES (mg/l) (2012)	MES (mg/l) (2017)
St1	22,67	21,29	30,4
St2	11	153,6	30,1
St3	/	307,58	40
St4	106,13	177,2	40
St5	/	62,02	30,1
St6	10,73	843,8	30,9
St7	29	73,62	30,5

**Tableau :** variation interannuelle de matière organique particulaire

stations	MOP (mg/l) (2011)	MOP (mg/l) (2012)	MOP (mg/l) (2017)
St1	18,4	10	27,5
St2	11,67	4,8	29
St3		3,6	35
St4	15,23	20,8	39,5
St5	/	3,46	27,5
St6	6,8	27,6	34,9
St7	15	1,6	31

**Tableau :** variation interannuelle de la chlorophylle a

stations	Chl (µg/l) (2011)	chl (µg/l) (2012)	chl (µg/l) (2017)
St1	/	/	0,6
St2	1,23	/	0,7
St3	/	/	0,54
St4	0,48	0,24	0,16
St5	/	/	0,65
St6	/	/	0,49
St7	1,04	0,18	0,7

**Tableau :** variation interannuelle des nitrites

stations	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µmol/l) (2011)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µmol/l)(2012)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µmol/l) (2017)
St1	0,04	0,0532	0,0485
St2	0,04	0,1154	0,039
St3	/	0,1559	0,027
St4	0,07	0,0826	0,03
St5	/	0,0688	0,019
St6	0,16	0,0714	0,03
St7	0,09	0,0867	0,088

**Tableau :** variation interannuelle des silicates

stations	SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µmol/l) (2011)	SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µmol/l) (2012)	SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µmol/l) (2017)
St1	2,76	2,0129	0,175
St2	2,18	1,2172	0,28
St3	/	2,5775	0,13
St4	0,3	1,9188	0,25
St5	/	2,1578	0,25
St6	11,85	2,1974	0,175
St7	0,3	2,2286	0,175

**Tableau :** variation interannuelle des nitrates

stations	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (2011) (µmol/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (2012) (µmol/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (2017) (µmol/l)
St1	0,76	0,0999	0,45
St2	2,33	0,2764	0,4
St3	/	0,3377	0,185
St4	1,87	0,3527	0,175
St5	/	0,4598	0,45
St6	3,94	0,4979	0,35
St7	2,31	0,5669	0,495

## Annexe II

### Dosage de la chlorophylle a par fluorométrie

La concentration en chlorophylle a été déterminée selon la méthode fluorimétrique de Yench et Manzel (1963) adaptée par Holm-Hansen et Riemen (1978) pour l'extraction des pigments à l'aide du méthanol. Elle a été élaborée pour une application en milieu marin, a l'avantage d'être très sensible et ne nécessite qu'un faible volume d'échantillon.

### Principe de la méthode de dosage

Le phytoplancton est recueilli sur un filtre en fibre de verre (GF/F), et repris dans une solution de méthanol. Les pigments chlorophylliens sont excités par un faisceau lumineux à 450 nm. La fluorescence émise est mesurée à 670 nm.

## Appareillage et matériel

Le matériel utilisé doit être exempt de toute trace de contaminant organique, inorganique ou biologique. Une procédure de lavage adéquate est de rigueur.

- Equipement de filtration de marque « Sartorius stedim » avec filtres en fibre de verre (GF/F, de porosité environ 0.45µm et de diamètre 25mm).
- Tubes de mesure en verre.
- Centrifugeuse Hettich ZENTRIFUGEN de type EBA 30, avec 12 postes de porte-Filtre.
- Spectrophotomètre fluorescence de marque HITACHI, modèle 650 S, équipé d'une lampe « Xénon » qui est la source du rayonnement UV.
- Cuve en quarts de 1 cm de trajet optique, éprouvettes.

## Réactifs et étalons

- Solution de méthanol pur à 99.7% pour l'extraction.
- Solution de carbonate de magnésium (MgCO<sub>3</sub>) à 1% (Ajouter 1g de MgCO<sub>3</sub> en poudre fine dans 100 ml d'eau déminéralisée).
- Solution mère de chlorophylle a à une concentration de 0.1 µg/l (conserver au congélateur)
- Solutions étalons de chlorophylle a dans méthanol 99.7 %, à des concentrations de 2, 5, 10, 15, 20 µg/l.
- Acide chlorhydrique (HCL) 0.5 N.

## Protocole analytique

- Appliquer 2 ml de solution de carbonate de magnésium sur une membrane (Whatman GF/F) de 0.45 µm, et filtrer 250ml de l'échantillon avec une pression inférieure à 100 mmHg.
- Le filtre est plié sur quatre et enrobé dans du papier aluminium déjà étiqueté. Ensuite les filtres sont conservés dans un congélateur.
- Ajouter 6 ml de méthanol à 99.7 % dans les tubes qui contiennent les échantillons à doser.
- Les tubes sont ensuite bouchés et placés à l'obscurité dans un réfrigérateur (5°C). pour une période d'extraction de 30 minutes.
- Homogénéiser les échantillons on les plaçant dans une centrifugeuse pendant 5 min et 3000 tours/min.

- Calibrer le spectrophotomètre fluorescence à l'aide d'une série de cinq standards, et un blanc du méthanol.
- Remplir la cuvette en quartz avec l'échantillon et prendre la lecture fluorimétrique IF<sub>0</sub>.
- Acidifier l'échantillon avec 10 µl de HCL de 0.5 et prendre de nouveau une lecture fluorimétrique IF<sub>a</sub>.
- Rincer la cuvette avec le méthanol, avant de faire une nouvelle mesure.
- Eviter d'exposer les échantillons à la lumière et procéder le plus rapidement possible afin de minimiser la dégradation de la chlorophylle a par la lumière et la chaleur.

### Calcul des concentrations

Les résultats fournis ne concernent donc que la chlorophylle a calculée d'après la formule suivante qui néglige la présence des phaeopigments :

$$\text{Chl } (\mu\text{g/l}) = F_0/K_0 \times v/V$$

**F<sub>0</sub>** : Valeur de fluorescence.

**K<sub>0</sub>** : Coefficient d'étalonnage établie avec de la chlorophylle a pure (Sigma C5753).

**V** : Volume filtré (250 ml).

**v** : volume d'extraction (7 ml)

### Annexe III

#### Dosage des nitrites + nitrates

#### I) Réactifs

##### I.1 Solution tampon

##### Produits chimiques exigés :

Chlorure d'ammonium NH<sub>4</sub>Cl.....50g.

Solution d'ammonium NH<sub>4</sub>OH(25%).....±1 ml.

Hydroxyde de sodium NaOH.....5g.

Eau distillée H<sub>2</sub>O.....1000ml.

Bridj 35(30%).

##### Préparation :

Dissoudre le chlorure d'ammonium dans 800 ml d'eau distillée. Ajuster le pH à 8.2 avec la solution d'ammonium. Ajouter l'hydroxyde de sodium et dissoudre. Ajuster à 1 litre avec de l'eau distillée, Ajouter le Bridj 35 et mélanger.

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

**I.2 réactif colorant :****Produits chimiques exigés :**Acide o-phosphoriques  $\text{H}_3\text{PO}_4$ (85%).....50ml.Sulfanilamide  $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$ .....10g. $\alpha$ -Naphtyléthylène diamine dihydrochloride  $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$ .....0.5g.Eau distillée  $\text{H}_2\text{O}$ .....850 ml.**Préparation :**

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

**Note :** la solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à  $4^\circ\text{C}$  quand la solution n'est pas utilisée.

**I.3 liquide de rinçage :**Eau fraîchement distillée  $\text{H}_2\text{O}$  (régénérée chaque semaine).**II. Préparation des solutions étalons****2.1 Solution mère de 100 ppm N(\*)****Produits chimiques exigés :**Nitrates de sodium  $\text{NaNO}_3$ .....0.6068 g.Eau distillée  $\text{H}_2\text{O}$ .....1000 ml.**Préparation**

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

**Note :** la solution est stable pendant 4 semaines. Conserver à  $4^\circ\text{C}$  quand la solution n'est pas utilisée.

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

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

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

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

<b>Dosage de l'ammonium</b>
-----------------------------

**I) Réactifs****I.1 Solution tampon****Produits chimiques exigés :**

Tartrate de potassium et de sodium $C_4 H_4 O_6 KNa.4H_2O$ .....	33g.
Citrate de sodium $C_6H_5O_7Na_3.2H_2O$ .....	24g.
Acide sulfurique $H_2SO_4(1N)$ .....	x ml.
Eau distillé $H_2O$ .....	1000 ml.
Bridj 35 (30%).....	2 ml.

**Préparation :**

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

**Note :**

La solution est stable pendant t1 semaine. Conserver à  $4^\circ C$  quand la solution n'est pas utilisée.

**I.2. Solution phénol****Produits chimiques exigés :**

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

<b>Dosage des orthophosphates</b>
-----------------------------------

**I. Réactifs****I.1 Solution de molybdate d'ammonium****Produits chimiques exigés :**

Tartrate de potassium et d'antimoine K (SbO) $C_4H_4O_6.5H_2O$ .....	230 mg.
--	---------

Acide sulfurique H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (97%) .....	69.4 ml.
Molybdate d'ammonium (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> MO <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O.....	6 g.
Eau distillé H <sub>2</sub> O.....	1000 ml.
FFD6.....	2 ml.

**Préparation :**

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

**Note :** Ne pas employer de cuillère en métal pour le molybdate d'ammonium. La sensibilité peut être augmentée de 50 % en employant 35 ml d'acide sulfurique concentré au lieu de 69.4 ml.

Avec 35 ml l'interférence des silicates est de 10 % pour 300 ppb si et 10 % pour 10 ppb P.

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

**I.2 solution d'acide ascorbique****Produits chimiques exigés :**

Acide ascorbique C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>6</sub> .....	6g.
Acétone C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O.....	60g.
Eau distillée .....	1000 ml.
FFD6.....	2 ml.

**Préparation :**

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

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

**I.3 liquide de rinçage**

Eau fraîchement distillée H<sub>2</sub>O régénérée chaque semaine.

## II. préparation des solutions étalons

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

#### Produits chimiques exigés :

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

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

### 2.2. Solution fille de 10 ppm P

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

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

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

## Dosage des silicates

### I. Réactifs

#### I.1 Solution d'acide sulfurique

#### Produits chimiques exigés :

Acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (97%).....10 ml.

Eau distillée  $\text{H}_2\text{O}$ .....1000 ml.

FFD6.....2 ml.

#### Préparation :

Dissoudre le molybdate d'ammonium dans  $\pm 800$  ml d'eau distillée. Ajouter à 1 litre avec l'eau distillée puis ajouter le FFD6 et mélanger.

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

**I.3 solution d'acide oxalique****Produits chimiques exigés :**

Acide oxalique  $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$ .....44g.

Eau distillé  $H_2O$ .....1000 ml.

**Préparation**

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

**Note :** conserver dans des bouteilles de polyéthylène. La solution est stable pendant 1 mois. Conserver à  $4^\circ C$  quand la solution n'est pas utilisée.

**1.3 Liquide de rinçage**

Eau fraîchement distillée  $H_2O$ .

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

**II. préparation des solutions étalons****2.1 Solution mère de 100 ppm P(\*)****Produits chimiques exigés :**

Dihydrogène o-phosphate de potassium  $KH_2PO_4$ .....0.4394 g.

Eau distillée  $H_2O$ .....1000 ml.

**Préparation :**

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

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

**2.2solution fille de 10 ppm Si**

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

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

Conserver dans une bouteille en polyéthylène.

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

Tableau : Gamme d'étalonnage de l'ammonium

N° des standards	Concentrations d'ammonium ( $\mu\text{mol/l}$ )	Hauteur des pics (unité digitale)
1	0	0
2	0.2	110
3	0.4	200
4	0.6	400
5	0.8	700
6	1.2	1100
7	2.4	2100

Tableau : gamme d'étalonnage des nitrites

N° des standards	Concentrations des nitrites ( $\mu\text{mol/l}$ )	Hauteur des pics (unité digitale)
1	0	0
2	0.2	502
3	0.4	1017
4	0.6	1531
5	0.8	2031
6	1.2	2650

**Tableau : gamme d'étalonnage des nitrates**

N° des standards	Concentrations des nitrates ( $\mu\text{mol/l}$ )	Hauteur des pics (unité digitale)
1	0	0
2	0.2	52
3	0.4	130
4	0.6	200
5	0.8	282
6	1.2	370
7	2.4	712

**Tableau : gamme d'étalonnage des orthophosphates**

N° des standards	Concentrations des orthophosphates ( $\mu\text{mol/l}$ )	Hauteur des pics (unité digitale)
1	0	0
2	0.2	183
3	0.4	340
4	0.6	464
5	0.8	565
6	1	748
7	1.2	844

**Tableau :** gamme d'étalonnage des silicates.

N° des standards	Concentrations d'ammonium ( $\mu\text{mol/l}$ )	Hauteur des pics (unité digitale)
1	0	0
2	0.5	91
3	1	290
4	1.5	500
5	2	840
6	2.5	1102
7	5	2000

## Résumé

L'étude réalisée pendant l'année 2020, avait pour objectif de faire une étude comparative des paramètres mesurés au niveau de la plage Ouest de Sidi Fredj entre les années 2011, 2012 et 2017 à partir de la collection des résultats obtenus des différentes analyses: paramètres physicochimiques, granulométriques des sédiments, les sels nutritifs et aussi permettre de savoir les facteurs et les raisons affectant les concentrations de nutriments chimiques qui perturbent le milieu marin.

Les résultats obtenus de cette étude comparative ont montré que la qualité physico-chimique de l'eau de la plage ouest de Sidi Fredj est influencée par les rejets proviennent de différentes sources.

D'après nos résultats, on peut dire que la plage Ouest de Sidi Fredj présente une pollution domestique.

**Mots clés :** Etude comparative, Paramètres, physico-chimique, sels nutritifs, l'eau, Plage Ouest, Sidi Fredj, rejets, milieu marin.

## Abstracts

The study carried out during the year 2020, aimed to make a comparative study of the parameters measured at the level of the western beach of Sidi Fredj between the year 2011, 2012 and 2017 from the collection of the results obtained from the various analyzes: physicochemical parameters, particle size of sediments, nutrient salts and also allow to know the factors and reasons affecting the concentrations of chemical nutrients that disturb the marine environment.

The results obtained from this comparative study showed that the physico-chemical quality of the water in the West beach of Sidi Fredj is influenced by the discharges from different sources.

From our results, we can say that the west beach of Sidi Fredj has domestic pollution.

**Keywords :** comparative study, parameters, physico-chemical, nutrient salts, water, west beach, Sidi Fredj, discharges, marine environment.

## ملخص

هدفت الدراسة التي أجريت خلال عام 2020 إلى إجراء مقارنة للمعايير المقاسة على مستوى الشاطئ الغربي لسيدي فرج بين الأعوام 2011، 2012 و 2017 من خلال جمع النتائج التي تم الحصول عليها من التحليلات المختلفة: المعلمات الفيزيوكيميائية، حجم جزيئات الرواسب، والأملاح المغذية وأيضا لمعرفة العوامل والأسباب التي تؤثر على تركيزات المغذيات الكيميائية التي تخل توازن البيئة البحرية.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من هذه المقارنة أن الجودة الفيزيوكيميائية لمياه الشاطئ الغربي لسيدي فرج تأثرت بالتصريفات القادمة من مصادر مختلفة.

من نتائجنا يمكننا القول إن الشاطئ الغربي لسيدي فرج به تلوث محلي.

**الكلمات المفتاحية:** دراسة مقارنة، معلمات فيزيوكيميائية، أملاح مغذية، مياه، الشاطئ الغربي، سيدي فرج، الصرف، البيئة البحرية