

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهئية الساحل

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



**MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MASTER EN SCIENCES DE LA MER**

**MODÉLISATION SPATIOTEMPORELLE
DE PARAMÈTRES PHYSICOCIMIQUES
DE LA POLLUTION EN BAIE D'ALGER**

SAADI Ahmed Merouane

Mémoire soutenu publiquement devant le jury composé de :

- Mlle. Louanchi F. Professeur, ENSSMAL Alger Présidente
Mme. Bachari F. Professeur, ENSSMAL Alger Promotrice
Mr Ben Youcef A. Professeur, UNP Alger Co-promoteur
Mlle. Alouache S. Maître de Conférence B, ENSSMAL Alger Examinatrice
Mme. Boumaza S. Maître Assistante A, ENSSMAL Alger Examinatrice

Année Universitaire 2011 - 2012

Dédicace

À mon père,

Tu aurais tant aimé assister à l'aboutissement de ce travail, que Dieu Le Tout Puissant t'accueille en son Vaste Paradis. Merci papa pour les sacrifices consentis à mon éducation. L'avenir de tes enfants a toujours été le centre de tes préoccupations. Tu es toujours présent dans mon cœur et mon esprit.

À ma mère,

Ton souci majeur est de voir réussir tes enfants, tes prières et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé et longue vie.

Liste des tableaux

- Tableau 2.1 :** Les rejets d'eaux usées dans la wilaya d'Alger (MATE, 2002)
- Tableau 2.2 :** État des grands générateurs de déchets industriels spéciaux de la wilaya d'Alger (MATE, 2002)

Liste des figures

- Figure 1.1 :** Apports au milieu littoral et impacts possibles
- Figure 2.1 :** Situation géographique de la baie d'Alger (BACHOUICHE, 2010)
- Figure 2.2 :** Nature du fond de la baie d'Alger (MAOUCHE, 1987)
- Figure 2.3 :** Schéma probable de la dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger (LEM, 1998)
- Figure 2.4 :** Rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (LEM, 1998)
- Figure 2.5 :** Pollution par les huiles, rejets industriels et urbains au niveau de la baie d'Alger (HOUMA et al. 2009)
- Figure 3.1 :** Carte de positionnement du premier domaine d'étude dans la baie d'Alger
- Figure 3.2 :** Carte de positionnement du deuxième domaine d'étude dans la baie d'Alger
- Figure 3.3 :** Localisation des stations de prélèvements dans la baie d'Alger (Aouameur, 1998)
- Figure 3.4 :** Carte de distribution des différents taux de pH dans la baie d'Alger
- Figure 3.5 :** Carte de distribution de la température mesurée aux stations de prélèvement dans la baie d'Alger
- Figure 3.6 :** Carte des concentrations d'oxygène dissous dans chaque station de prélèvement dans la baie d'Alger
- Figure 3.7 :** Carte des concentrations de nitrite dans chaque station de prélèvement dans la baie d'Alger
- Figure 3.8 :** Carte des concentrations des nitrates dans chaque station de prélèvement dans la baie d'Alger
- Figure 3.9 :** Carte des concentrations des orthophosphates dans chaque station de prélèvement dans la baie d'Alger

Table des Matières

| | |
|---|----------|
| INTRODUCTION | 1 |
| CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS | 3 |
| 1. Définition de la pollution | 3 |
| 2. Classification des polluants | 3 |
| 3. Classification de la pollution | 4 |
| 3.1. Origines de la pollution | 5 |
| 3.1.1. Pollution urbaine | 5 |
| 3.1.2. Pollution industrielle | 5 |
| 3.1.3. Pollution agricole | 6 |
| 3.2. Types de la pollution | 7 |
| 3.2.1. Pollution chimique | 7 |
| 3.2.2. Pollution biologique | 8 |
| 3.2.3. Pollution physique | 9 |
| 4. Sels nutritifs | 10 |
| 4.1. Définition | 10 |
| 4.2. Les différentes formes des sels nutritifs | 11 |
| 4.2.1. L'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺) | 11 |
| 4.2.2. Les nitrites (NO ₂ ⁻) et les nitrates (NO ₃ ⁻) | 11 |
| 4.2.3. Les orthophosphates | 12 |
| 4.2.4. Les silicates | 12 |
| 4.3. Les dangers liés à la pollution par les sels nutritifs | 12 |
| 5. Paramètres physicochimiques et indicateurs de pollution | 13 |
| 5.1. La température (T) | 13 |
| 5.2. L'oxygène dissous (OD) | 13 |
| 5.3. Le potentiel d'hydrogène (pH) | 13 |
| 5.4. La salinité (S) | 14 |

| | |
|--|------------|
| 5.5. La turbidité (TR) | |
| 5.6. Les matières en suspension (MES) | |
| 5.7. La matière organique particulaire (MOP) | |
| CHAPITRE 2 : ZONE D'ÉTUDE | 15 |
| 1. Localisation géographique de la baie d'Alger | 16 |
| 2. Sédimentologie dans la baie d'Alger | 16 |
| 3. Réseau hydrographique dans la baie d'Alger | 18 |
| 4. Origine des eaux marines de la baie d'Alger | 18 |
| 5. Les courants marins dans la baie d'Alger | 18 |
| 5.1. Les courants généraux | 19 |
| 5.2. Les courants côtiers | 20 |
| 6. Contaminants et sources de pollution dans la baie d'Alger | 22 |
| 6.1. Les rejets domestiques exposés aux conséquences de la pollution organique | 21 |
| 6.2. Les rejets industriels chimiques et pétrochimiques | 20 |
| CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE | 59 |
| 1. Modélisation | |
| 2. Modélisation en baie d'Alger | 60 |
| 2.1. Modélisation dans le domaine 1 de la baie d'Alger | 61 |
| 2.2. Modélisation dans le domaine 2 de la baie d'Alger | 61 |
| CONCLUSION | 132 |
| RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 134 |
| ANNEXES | 150 |

Introduction

INTRODUCTION

Le milieu marin représente un enjeu considérable en termes de développement socio-économique. Ces dernières décennies, la pollution des océans à travers le monde est devenue un sujet de préoccupation croissante à l'échelle internationale.

La mer méditerranée est soumise à un problème grave de pollution dû à l'accroissement des

Apports anthropogéniques côtiers de ses pays riverains en voie d'industrialisation. La civilisation moderne et l'activité de l'homme sont indéniablement les causes principales de la contamination de l'hydrosphère. (Salomon., 2003; Houma et *al.* 2005(a); Lambert et *al.* 1981).

La côte et le littoral algériens et à l'instar de la majorité des zones côtières méditerranéennes, sont sensibles aux changements environnementaux, aux changements créés par le développement économique et aux changements d'utilisation du sol. La région algéroise est certainement l'une des zones où l'altération de la qualité des eaux marines côtières est la plus perceptible. De 75 à 80% des pollutions marines sont d'origine terrestre, notamment agricole, parmi lesquelles environ 30% sont apportées par l'atmosphère. Le littoral Algérien est pratiquement touché par diverses pollutions, on constate une densité urbaine importante sur la côte qui déverse ses rejets dans les eaux marines et des usines qui rejettent leurs déchets industriels et contribuent à polluer le milieu sous l'effet des substances toxiques et corrosives.

Dans cette optique ; nous présentons dans ce travail la méthodologie appliquée pour la modélisation spatio-temporelle certains paramètres de la pollution en baie d'Alger : caractérisation et bilans des indicateurs.

Ainsi notre approche méthodologique s'articule sur les, étapes suivantes :

- Généralités : est réservé à la présentation des paramètres à étudier, la définition de la pollution
 - une présentation de la zone d'étude,
 - les méthodologies et des méthodes appliquées pour les différentes analyses.
 - une interprétation des résultats.

Chapitre 1

Généralités

CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS

1. DÉFINITION DE LA POLLUTION

Dans le langage courant, la pollution est une dégradation de l'environnement résultant de la dissémination de produits toxiques ou de l'abandon de matériaux non biodégradables ; la pollution marine résulte de tous les produits rejetés dans les mers et les océans, en conséquence de l'activité humaine, elle comprend la pollution de l'eau et celle des sédiments et plus généralement toutes les atteintes aux écosystèmes marins causées par les rejets de substances nuisibles par leurs natures ou leurs quantités.

Plusieurs définitions ont été proposées pour le terme « pollution marine » parmi lesquelles, on note :

- ✓ La définition admise par le groupe d'experts chargés d'étudier les aspects scientifiques de la pollution des mers (GESAMP: Groupe d'Experts sur les Aspects Scientifiques de l'Environnement Marin), qui estime que la pollution marine est l'introduction par l'homme dans le milieu marin (y compris les estuaires) directement ou indirectement de substances ou d'énergies pouvant entraîner des effets délétères tels que dommages aux ressources biologiques, dangers pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes (pêche), diminution de la qualité de l'eau du point de vue de son utilisation et la réduction des possibilités offertes dans le domaine des loisirs ;
- ✓ L'UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture) la définit comme étant, tout rejet à la mer direct ou indirect de substances ou d'énergies d'origine humaine qui a un effet nuisible sur les organismes vivants, dangereux pour la santé humaine, empêche l'utilisation de la mer, altère la qualité de l'eau de la mer ou réduit les possibilités de l'utilisation aux fins de loisirs ;
- ✓ L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) fournit la définition suivante : « la pollution des milieux aquatiques est définie comme étant, toute modification des propriétés physiques, chimiques ou biologiques ou tout rejet de substances liquides, gazeuses ou solides dans l'eau d'une façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse ou préjudiciable du point de vue, soit de la santé, de la sécurité et du bien être publique, soit de ses usages destinés à des fins domestiques, commerciales, agricoles, récréatives et autres, soit de la faune sauvage et aquatique ».

D'après toutes ces différentes définitions, on distingue que la pollution de l'eau est, essentiellement, due aux activités humaines et a de multiples effets qui touchent aussi bien la santé publique que les organismes aquatiques.

2. CLASSIFICATION DES POLLUANTS

Il est d'usage de distinguer cinq classes d'apports chroniques dans le milieu marin; à chaque catégorie de substances est affectée un type d'effet négatif :

- Les déchets et déblais solides; matières en suspension mais aussi macro-déchets flottants pouvant s'échouer sur les plages ;

- Les micro-organismes pathogènes, champignons, bactéries et virus ;
- Les métaux lourds tels que le mercure, le cadmium, le plomb ; présents en concentrations supérieures à celles mesurées dans les écosystèmes naturels ;
- Les substances chimiques toxiques pouvant produire des effets carcinogènes ; mutagènes et tératogènes.

Les différents apports, leurs conséquences et impacts sont représentés dans la ci-dessous.

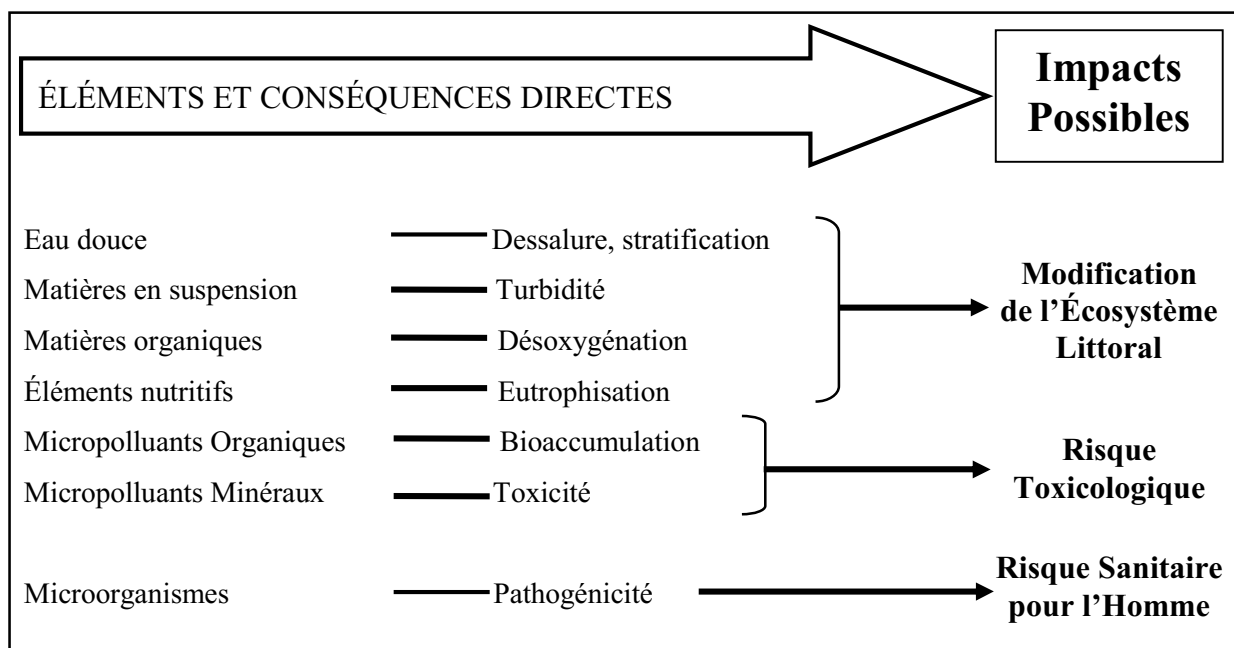


Figure 1.1: Apports au milieu littoral et impacts possibles

3. CLASSIFICATION DE LA POLLUTION

D'après GALAF et GANNAM (2003), il y a deux principaux critères utilisés pour classer la pollution du milieu marin qui sont son origine et son type.

3.1. ORIGINES DE LA POLLUTION

Selon l'origine de la pollution, on distingue trois catégories: la pollution urbaine, la pollution industrielle et la pollution agricole.

3.1.1. Pollution urbaine

Ce type de pollution est dû essentiellement aux rejets domestiques (eaux domestiques, eaux collectives de lavage, huiles de vidange, médicaments périmés, matières fécales, etc.). Elle est liée aux grandes concentrations urbaines. Le flot déversé est très variable en fonction de l'importance de l'agglomération et de son activité.

3.1.2. Pollution industrielle

Les rejets liquides industriels véhiculent une importante pollution organique et toxique, il s'agit des différents déchets provenant de diverses industries qui sont principalement installées au niveau du rivage.

Ces industries s'installent dans le littoral à la fois pour se débarrasser des déchets directement et pour refroidir leurs machines (industrie alimentaire, industrie agricole, industrie chimique et pétrochimique, ...).

3.1.3. 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 phosphorés et azotés issus des déchets animaux et des engrais commerciaux notamment des nitrates. Ainsi, parmi les polluants d'origine agricole on citera les pesticides qui sont très utilisés en agriculture pour protéger les cultures contre leurs ennemis afin d'augmenter leurs rendements.

3.2. TYPES DE LA POLLUTION

Selon ce critère, la pollution est classée en trois catégories :

3.2.1. Pollution Chimique

Ce type de pollution est engendré par des rejets de produits chimiques de toute origine, ces polluants sont de deux catégories :

- Les micropolluants chimiques organiques : principalement les hydrocarbures, les pesticides et les détergents. Ces polluants sont appelés les polluants organiques permanents ;
- Les micropolluants chimiques inorganiques : Ils sont représentés essentiellement par les métaux lourds et les substances à concentrations excessives.

Le danger de ces polluants dépend de leur nature biochimique. Certains sont hydrosolubles, facilement dilués, par conséquent leur action est minime. D'autres sont liposolubles avec un pouvoir de ce concentrer au niveau des lipides et par conséquent vont emprunter la chaîne alimentaire (GALAF et GANNAM, 2003).

3.2.2 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.

La contamination bactérienne du milieu marin se fait d'une manière directe par les rejets des eaux usées et les eaux de ruissellement ainsi que par la baignade.

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, rôle très important à l'état naturel dans les cycles biogéochimiques marins. 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.

3.2.3. Pollution physique

On parle de pollution physique lorsque le milieu marin est modifié dans sa structure physique par divers facteurs, il peut s'agir d'un rejet liquide ou solide, d'une substance modifiant la turbidité du milieu, d'une source radioactive ou d'un rejet d'eau réchauffée. La pollution physique est répartie en trois types :

A- Pollution mécanique : due essentiellement à des substances solides, comme les boues, les solides flottants (sac en plastique, morceaux de bois), ces rejets ont comme première conséquence l'augmentation de la turbidité de l'eau.

B- Pollution thermique : la majorité des usines sont implantées d'une manière volontaire sur le littoral ou sur les bassins versants littoraux, ce type d'installation est à l'origine d'apports notables d'eaux résiduaires au milieu marin.

La pollution thermique est engendrée par les usines utilisant un circuit d'eau de mer pour le refroidissement de certaines installations (centrales thermique, nucléaire, raffineries, ...). Il entraîne un réchauffement qui peut être brutal ou progressif. Ce réchauffement a un impact direct qui se traduit par la substitution de la faune et de la flore du milieu marin; ou indirectes tels que le développement bactérien et l'augmentation de la toxicité de certaines substances (FRUGET, 1999).

C- Pollution atomique: Ce sont les radiations artificielles qui sont les plus graves pour la vie maritime, elle est due à un apport de radionucléide lié à l'utilisation de l'énergie atomique. La pollution atomique a un impact direct aussi bien sur les organismes aquatiques que sur la santé humaine. Cet impact se traduit par le dérèglement du comportement d'êtres vivants.

4. SELS NUTRITIFS

4.1. DÉFINITION

Les sels nutritifs appelés aussi nutriments sont des éléments chimiques indispensables à la synthèse autotrophes de la matière organique. Ces sels représentent l'ensemble de l'azote (15%), du phosphore (3%) et du silicium (AUBERT et *al.*, 1972).

Le Phytoplancton a besoin de ces sels nutritifs qu'il trouve dans le milieu marin pour sa croissance, son développement et la formation de son squelette. Les faibles concentrations d'éléments nutritifs dans le milieu marin, minimisent la photosynthèse tandis que les excès provoquent une eutrophisation du milieu, qui se traduit par une importante croissance de certaines espèces phytoplanctoniques.

On trouve très souvent, une augmentation considérable des concentrations en sels nutritifs près des estuaires et les milieux portuaires (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983).

Les sels nutritifs, dans l'eau de mer ont plusieurs origines qu'on peut regrouper en deux types de sources (externes et internes):

- **Source externe** : elle regroupe tous les apports continentaux se déversant en mer, qu'ils soient par voie éolienne ou par voie fluviale ;

- **Source interne** : elle représente l'origine la plus importante, elle est assurée par des flux verticaux et leur régénération à partir de la matière organique issue de la photosynthèse effectuée par les organismes autotrophes dans la couche euphotique (LEVITUS et *al.* 1993). Ainsi par les excréments, des microorganismes marins libèrent une certaine forme de sels nutritifs. BOULAHIDID (1987) a estimé que 97% des sels nutritifs sont d'origine interne.

La production primaire des eaux de surface est basée sur les sels nutritifs et la lumière, ainsi ils reflètent la richesse et la fertilité des eaux marines. Ce sont donc des traceurs chimiques non conservatifs et leur variation est gouvernée par les facteurs physiques, chimiques et biologiques (JACQUES et TRÉGUER, 1986). Pour cela, ils forment un outil très important pour la caractérisation et l'identification des masses d'eau et la compréhension de certains phénomènes océaniques : circulation des eaux, production primaire marine, diffusion des sédiments marins.

4.2. LES DIFFÉRENTES FORMES DES SELS NUTRITIFS

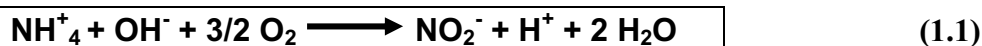
4.2.1. L'azote ammoniacal (NH₄⁺)

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac (NH₃) et l'ammonium NH₄⁺ dont les proportions relatives dépendent du pH, de la température et de la salinité (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983). La forme d'ions ammonium NH₄⁺ est non toxique par contre NH₃ est la forme la plus toxique (GAUJOUS, 1995).

L'ammonium est souvent dominant ; c'est pourquoi, ce terme est employé pour désigner l'azote ammoniacal (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983). En milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrites puis en nitrates ; ce qui induit une consommation d'oxygène (GAUJOUS, 1995). L'ammonium provient des excréments animaux et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés. Il est utilisé par le phytoplancton comme source d'énergie et est oxydé par les bactéries nitrifiantes. Lorsque l'on se rapproche des émissaires urbains, les concentrations peuvent atteindre plusieurs centaines de micromoles par litre. L'ammonium devient dans ces conditions un bon traceur de pollution urbaine (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983).

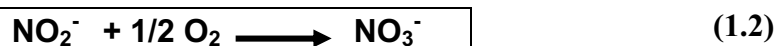
4.2.2. Les nitrites (NO₂⁻) et les nitrates (NO₃⁻)

Les nitrites résultent de l'oxydation de l'ammonium (NH₄⁺) par des bactéries (Nitrosomonas), appelée « Nitrosation », qui s'effectue selon la réaction suivante :



Ils sont aussi issus de la réduction des nitrates dans les milieux anoxiques ainsi que des excréments des organismes. Puisque les nitrites sont des formes intermédiaires relativement fugaces entre l'ammonium et les nitrates, leurs concentrations dans l'eau de mer varient de zéro à quelques micromoles par litres.

Les Nitrates résultent de l'oxydation des nitrites par des bactéries (Nitrobacter) appelée « Nitratation » qui s'effectue selon la réaction ci-après.

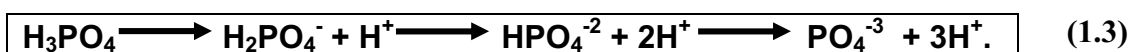


L'ion nitrate qui est thermodynamiquement stable est l'espèce la plus utilisée lors de la photosynthèse (COPIN-MONTEGUET, 1996). C'est la forme la plus répandue dans l'océan (environ 65% du stock de l'azote). Sa concentration varie très largement, les teneurs les plus élevées se situent aux niveaux des eaux intermédiaires.

4.2.3. Les orthophosphates

Les orthophosphates sont la forme minérale majoritaire du phosphore (AMINOT et CHAUSSPIED, 1983). Dans l'eau de mer, ils sont présents essentiellement sous les formes: PO_4^{-3} (10%), HPO_4^{-2} (87%) et H_2PO_4^- (<1%) (JAQUES et TRÉGUER, 1986).

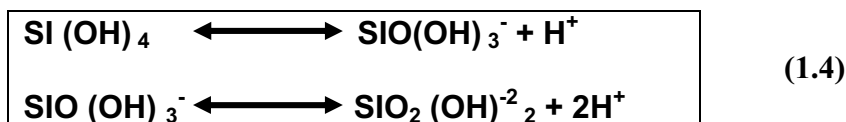
Ces différentes formes sont issues de la dissociation de l'acide orthophosphorique selon les équilibres suivants :



4.2.4. Les silicates

Le silicium est un élément nutritif, puisqu'il est utilisé par certaines espèces planctoniques (Diatomées, radiolaires) pour l'élaboration de leur squelette (AMINOT et CHAUSSPIED, 1983).

Le silicium est présent en solution dans l'eau de mer sous forme d'acide silicique Si(OH)_4 . C'est un acide faible se dissociant de la façon suivante :



Au pH de l'eau de mer, le Si(OH)_4 représente 96.2% du silicium total.

4.3. LES DANGERS LIÉS À LA POLLUTION PAR LES SELS NUTRITIFS

Présents en excès, les sels nutritifs peuvent provoquer un phénomène d'eutrophisation du milieu, en particulier dans les zones fermées ou semi fermées (lagunes, estuaires...). Ce phénomène se caractérise généralement par un enrichissement du milieu en substances nutritives (particulièrement les phosphates et les nitrates), provenant des sources naturelles ou anthropiques, ce qui provoque une prolifération massive des algues et des phytoplancton ; laquelle peut engendrer des effets nuisibles sur le milieu, telles que la désoxygénation (ou même l'anoxie), la diminution de la biodiversité et la mortalité des poissons.

Ainsi, l'impact de l'enrichissement en sels nutritifs dépend du temps de résidence moyen des eaux dans la zone, autrement dit, dépend de la circulation générale dans la zone. Une circulation de grande emprise entraîne les eaux côtières riches et les dilue au large, si les courants sont assez faibles une petite stratification peut s'installer momentanément, l'enrichissement se traduira par une importante production végétale sur place.

5. PARAMÈTRES PHYSICOCIMIQUES ET INDICATEURS DE POLLUTION

5.1. LA TEMPÉRATURE (T)

La température est une grandeur physique importante pour la reconnaissance des masses d'eau, pour l'étude des mélanges des eaux et l'estimation des flux des chaleurs (GAUJOUS, 1995). Elle joue aussi un rôle important dans les cycles biologiques du fait de son influence sur l'activité biologique.

En surface la température suit les variations climatiques, tandis qu'elle diminue progressivement avec la profondeur (AMINOT ET CHAUSSPIED, 1983). Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants (RODIER, 1997).

5.2. L'OXYGÈNE DISSOUS (OD)

L'oxygène dissous est un gaz important pour la vie marine, c'est un paramètre qui gouverne la majorité des processus biologiques et chimiques des écosystèmes aquatiques.

Les teneurs de l'oxygène dans l'eau dépendent de trois facteurs (GAUJOUS, 1995) :

- Les facteurs physiques : température, échange à l'interface air-mer, diffusion et mélange au sein des écosystèmes aquatiques ;
- Les facteurs chimiques : phénomène de photo oxydation et les réactions chimiques d'oxydoréductions ;
- Les facteurs biologiques: la photosynthèse et la respiration.

5.3. LE POTENTIEL D'HYDROGÈNE (pH)

Est un paramètre chimique caractérisant l'acidité où la basicité d'un milieu. Il est défini par l'équation suivante :

$$\text{pH} = - \log a \quad (1.5)$$

avec a : Activité de l'ion H⁺

En moyenne le pH de l'eau de mer est voisin de 8.2, il tend vers un milieu basique.

5.4. LA SALINITÉ (S)

La salinité est importante dans le 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'eaux d'origines différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la côte (RODIER, 1997).

5.5. LA TURBIDITÉ (TR)

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées: argiles, limons, grains de silice et matières organiques (RODIER, 1997).

La connaissance de la turbidité à une double importance :

- Il détermine l'intensité lumineuse pénétrant sous la surface ;
- Il permet également une approche de la qualité de particules en suspension.

5.6. LES MATIÈRES EN SUSPENSION (MES)

Ce sont des matières organiques ou minérales de dimensions très variables, elles comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0.45 µm et elles peuvent être un indice de pollution.

Des teneurs élevées en matières en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique et créer un déséquilibre entre diverses espèces.

La matière en suspension influence la qualité d'une eau par des phénomènes d'adsorption notamment de certains éléments toxiques, elle constitue ainsi une voie de pénétration des éléments toxiques (RODIER, 1997).

5.7. LA MATIÈRE ORGANIQUE PARTICULAIRE (MOP)

Les facteurs physiques, biologiques et chimiques (disponibilité d'éléments nutritifs) contrôlent l'activité biologique des espèces trophiques primaires de l'environnement marin. Les nutriments sont assimilés par le phytoplancton pendant la photosynthèse et produisent la matière organique considérée comme une source d'énergie et de nutriments pour les microorganismes (bactéries, protozoaires), elle correspond à la fraction endogène qui est facilement dégradée.

La fraction endogène correspond à la matière organique produite par l'assimilation des nutriments par le phytoplancton lors de la photosynthèse. Cette matière organique qui est facilement dégradable sera source d'énergie et de nutriments pour les microorganismes (Bactéries, protozoaires) (BOULAHIDID, 1987). Reste la fraction exogène formée par les débris des animaux et des végétaux possède une certaine résistance à la dégradation bactérienne. Cette fraction est nécessaire au fonctionnement des cycles biogéochimiques par la régénération des sels nutritifs (AMINOT et KÉROUEL, 2004 ; LACAZE, 1980).

La méthode de mesure de la matière organique consiste à préparer des filtres de 0.45 µm de diamètre de pores de la même façon que pour les filtres pour la matière en suspension (conditionnement des filtres puis filtration de l'eau de mer et séchage à l'étuve à 70°C pendant deux heures). Les filtres sont pesés avec précision dans des creusets (**P1**). Ensuite les creusets avec filtres sont passés au four à moufle à 450°C pendant 2 heures. Les creusets et filtres sont à nouveau pesés (**P2**). La différence de ces deux poids obtenus P1 et P2 nous donne le poids de la matière organique brûlée. La concentration est calculée ainsi :

$$\boxed{\text{MOP (mg/l)} = \text{P1} - \text{P2} / \text{V}} \quad (1.6)$$

Avec : **P1**: Poids du creuset et du filtre avant séchage ;

P2: Poids du creuset et du filtre après séchage ;

V: Volume filtré de l'eau de mer.

La teneur en matière inorganique particulaire est obtenue par la différence de poids des filtres avec les creusés avant et après calcination, ainsi la soustraction de la concentration de la matière inorganique particulaire de celle de la matière en suspension permet de connaître la masse de matière organique particulaire. La matière organique particulaire est majoritairement d'origine phytoplanctonique.

Chapitre 2

Zone d'Étude

CHAPITRE 2: ZONE D'ÉTUDE

1. LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE LA BAIE D'ALGER

La baie d'Alger se situe dans la partie centrale de la côte algérienne, elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja et d'une forme semi-circulaire. Elle est délimitée par: la pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest, le cap Matifou (Bordj El Bahri) à l'Est, au Sud par le bassin de la Mitidja et au Nord par la mer Méditerranée (voir figure2.1).

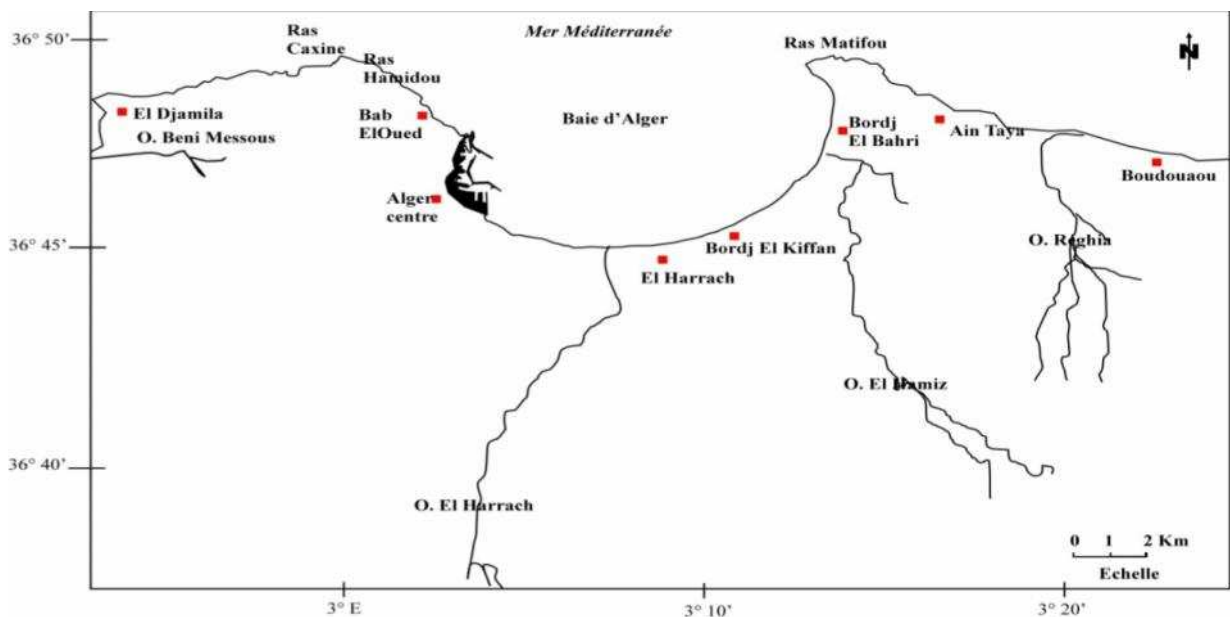


Figure 2.1 : Situation géographique de la baie d'Alger (BACHOUICHE, 2010)

Le plateau continental est très étroit, mais s'élargit au centre de la baie. Ce dernier ne dépasse pas l'isobathe 120 m ; en effet, l'isobathe 50 m est à 4.1 km de la côte, celle de 100 m est à 6.7 km, quant à celle de 1000 m elle ne se trouve qu'à 12.1 km (LEM ,1998).

2. SÉDIMENTOLOGIE DANS LA BAIE D'ALGER

Les travaux de sédimentologie ou sur la nature de fond en baie d'Alger, sont nombreux et détaillés. LECLAIRE (1972) et MAOUCHE (1987) sont les principaux auteurs ayant abordés l'étude de la couverture sédimentaire de la baie.

Les différentes études ont mis en évidence:

- La distribution bathymétrique de la côte vers le large selon un gradient d'envasement croissant ;
- Des sables fins essentiellement d'origine terrigène occupant les petits fonds de la baie ;
- Des zones sédimentaires de transition, les sables envasés et les vases sableuses, assurant le passage progressif des sables fins infralittoraux aux vases pures ;
- Des vases pures dans la partie centrale de la baie, témoignage d'un important envasement de ce secteur de la baie ;

- Des graviers organogènes ou des formations grossières carbonatées localisées uniquement aux zones très réduites du plateau continental qui font suite aux bordures rocheuses Est et Ouest de la baie.

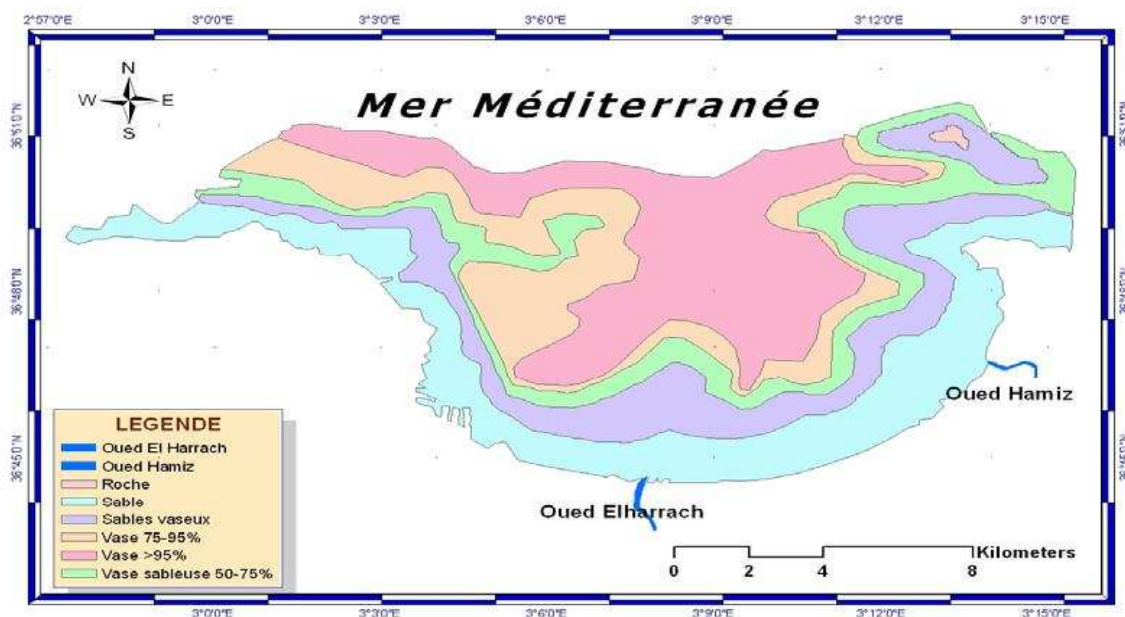


Figure 2.2 : Nature du fond de la baie d'Alger (MAOUCHE, 1987)

3. RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE DANS LA BAIE D'ALGER

La baie d'Alger est alimentée par deux principaux oueds: oued El Harrach et oued El Hamiz. Ces derniers prennent leurs sources dans l'atlas Blidéen avant de traverser la plaine de Mitidja. Leur débit est très irrégulier, caractérisé par un long étiage de six mois, des crues d'hiver et de printemps soudains et forts.

Oued El Harrach se déverse au centre de la baie, il est non sec la majeure partie de l'année, charrie surtout des eaux usées, son débit en période de pluie est de $1000 \text{ m}^3/\text{seconde}$, la superficie de son bassin versant est de 970 km^2 .

Oued El Hamiz se déverse à l'Est de la baie près du cap Matifou, son bassin versant à une superficie de 160 km^2 .

4. ORIGINE DES EAUX MARINES DE LA BAIE D'ALGER

BOULAHIDID et *al.*, (2003) ont conclu à partir du diagramme TS (Température-Salinité) des eaux de la baie que la baie d'Alger est le siège d'un mélange qui se fait entre trois eaux d'origines différentes:

- une eau superficielle ayant les caractéristiques de l'eau Atlantique légèrement mélangée avec l'eau Méditerranée le long de son parcours ;
- une eau qui remonte d'une profondeur de l'ordre de 100 m au centre de la baie;
- une eau continentale non négligeable qui adoucit en partie les eaux de la baie.

Ces eaux décrivent un mouvement circulaire conditionné par la forme de la baie. Pendant leur séjour dans la baie, ces eaux se réchauffent légèrement. Ces conclusions suggèrent que les eaux de la baie se renouvellent aisément.

5. LES COURANTS MARINS DANS LA BAIE D'ALGER

5.1. LES COURANTS GÉNÉRAUX

La vitesse du courant général des eaux Atlantiques de Gibraltar vers l'Est reste généralement dans un ordre de grandeur de 0,5 à 1 m/s, au large des côtes Algériennes. Ce courant général crée dans la plus part des baies un contre courant littoral vers l'Ouest (MILLOT, 1988).

5.2. LES COURANTS CÔTIERS

Au contact des irrégularités du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui provoquent la mise en suspension des particules favorisent leur déplacement. Le sens et l'intensité de ce courant sont fonction de l'amplitude, de l'incidence de la houle par rapport à la côte, de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments.

A- Les courants de retour : Le courant de retour correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu de déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ces courants sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.

B- Les courants de dérive littorale : Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique celle-ci donne naissance à un courant de dérive littorale. La vitesse de ce courant est maximale pour un angle d'incidence de 50 % à 60 % (LEM, 1998). La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale. Cette énergie permet la remise en suspension et le transit des particules sédimentaires le long de la côte.

Dans la baie d'Alger les configurations météorologiques dominantes Ouest à Nord-Ouest engendre des régimes hydrodynamiques agissant différemment.

Dans le cas général de houles de petites et moyennes amplitudes, les courants ne sont notables que dans les zones de déferlement et n'affectent donc que le triage des sables et des graviers de la frange littorale "fond -10 m". Ils assurent le transport latéral par dérive littorale et la dispersion. Par contre les houles de fortes amplitudes pourraient agir jusqu'aux des fonds de "-40 m à - 60 m" (LEM, 1998).

La dérive générale dans la baie d'Alger engendrée par le courant atlantique (contre courant atlantique) tourne dans le sens des aiguilles d'une montre avec une vitesse moyenne en surface de l'ordre de 0,3 km/h. A proximité du fond la vitesse de ces courants diminue très rapidement et devient pratiquement négligeable (LEM, 1998).

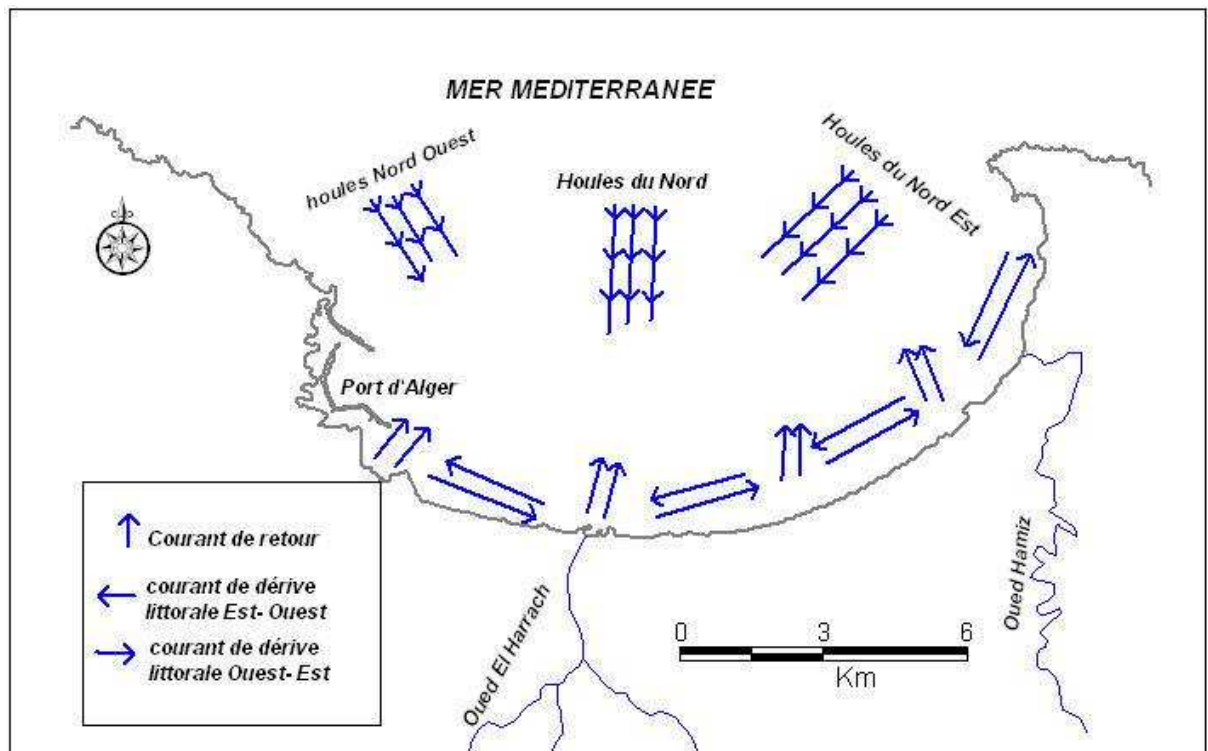


Figure 2.3: Schéma probable de la dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger (LEM, 1998)

6. CONTAMINANTS ET SOURCES DE POLLUTION DANS LA BAIE D'ALGER

La zone côtière algéroise constitue le réceptacle de plusieurs types de pollutions:

6.1. LES REJETS DOMESTIQUES EXPOSÉS AUX CONSÉQUENCES DE LA POLLUTION ORGANIQUE

La zone côtière algéroise est à classer parmi les segments de la côte algérienne la plus affecté par la pollution hydrique et détritique, en particulier l'agglomération d'Alger, qui a compté 1 915 953 Habitants en 1987, ce nombre est passé à 2 323 348 en 1998.

Les eaux usées, chargées pour l'essentiel de matières organiques, matières en suspension, détergents et des huiles lubrifiantes finissent le plus souvent directement en mer en absence de traitement adéquat. Le tableau 2.1 ci après donne les principaux rejets d'eaux usées dans la wilaya d'Alger.

Tableau 2.1: Les rejets d'eaux usées dans la wilaya d'Alger (MATE, 2002)

| Bassin versant | Nombre de rejets | Oueds | Communes littorales concernées | Débit (m ³ /j) | Charge polluante (Kg DBO ₅ /j) | Embouchures Lieux de rejet |
|----------------------------|------------------|--------------|--|---------------------------|---|----------------------------|
| Béni Messous | 28 | Béni Messous | Zeralda, Staouali, Ain Benien, Cheraga, une partie de Hammamet | 30844.8 | 10435 | Plage « Les Dunes» |
| El Harrach | 52 | El Harrache | Hammamet, Rais Hamidou, Bloghine, Alger Centre, Hamma, Hussein Dey, Mohammadia, Bordj El Kiffan, Bab El Oued, Casbah | 289008 | 144608 | Baie d'Alger |
| Réghaia et El Hamiz | 29 | Réghaia | Bordj El Bahri, Marsa, Ain Taya, Hraoua, Reghaia | 81302.4 | 26682 | Réghaia Plage |
| | | El Hamiz | | | | Baie d'Alger |
| Total | 109 | | | 401155 | | |

Le littoral d'Alger compte 109 rejets en plus de 24 rejets du port d'Alger pour un volume global journalier de 401155 m³/j.

Selon les données de l'Inspection de l'Environnement, le port compte 70 points de rejets, dont nombre sont d'origine industrielle et le reste d'origine urbaine et portuaire (REBZANI, 2003).

6.2. LES REJETS INDUSTRIELS CHIMIQUES ET PÉTROCHIMIQUES

D'après le recensement de l'Office Nationale de Statistique de 1993, 10202 unités industrielles sont réparties sur l'ensemble du territoire national, avec près de la moitié se trouvent dans la région littorale ; soit 36.6 %.

D'après le MATE, la wilaya d'Alger comptait 434 unités industrielles en 2002 ce qui représente 4.2 du total national.

Tableau 2.2: État des grands générateurs de déchets industriels spéciaux de la wilaya d'Alger (MATE, 2002)

| Unité industrielle | Activité principale | Quantité générée (T/an) |
|---------------------------------------|---|-------------------------|
| DENITEX | Filature, tissage et finissage | 500 |
| Algérienne des fonderies El Harrach | Fonderie | 4320 |
| SNVI, devisions véhicules industriels | Transport | 1065 |
| ACG | Galvanisation à chaud et électrolytique | 546 |
| ENPEC | Fabrication d'accumulateurs | 350 060 |

Il y a lieu de relever le déséquilibre en matière de décharges qui ne répondent pas aux normes et sont pour le quasi totalité des décharges à ciel ouvert ; amplifiant la quantité des gaz toxiques dans l'air et une pollution des nappes phréatiques.

On relèvera par ailleurs la disproportion entre les quantités de déchets générés et le nombre de décharges disponibles, notamment dans l'agglomération d'Alger :

- Les rejets de centrales thermiques qui utilisent l'eau de mer pour le refroidissement de leur turbine, ce qui altère le milieu marin en modifiant leurs caractéristiques physico-chimiques et en provoquant principalement une pollution thermique ;
- Les lessivages des sols des grands périmètres agricoles ce qui engendre une pollution par les éléments nutritifs;
- Les déchets solides d'origine industrielle et domestique ;
- Oueds El Harrach et El Hamiz drainent les eaux usées domestiques et industrielles, les eaux de ruissellement et d'irrigation des zones de la Mitidja qu'ils traversent, ainsi il y'a 70 points de rejets dont 26 dans le port d'Alger qui sont drainées sans traitements préalables (voir figure 2.4).

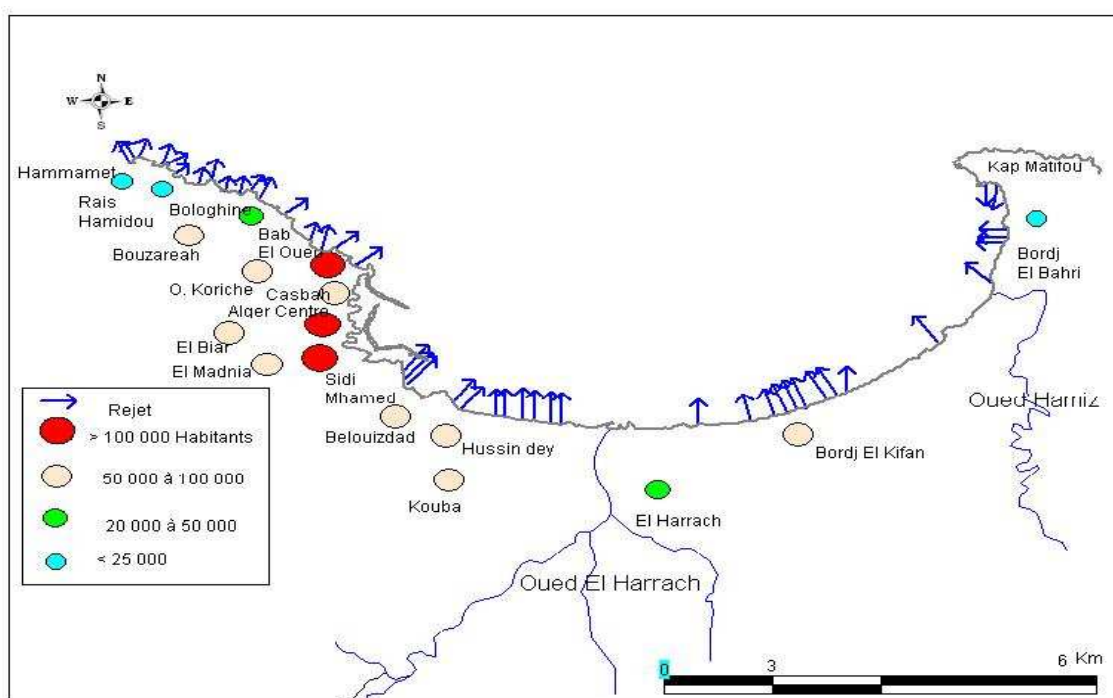


Figure 2.4: Rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (L...

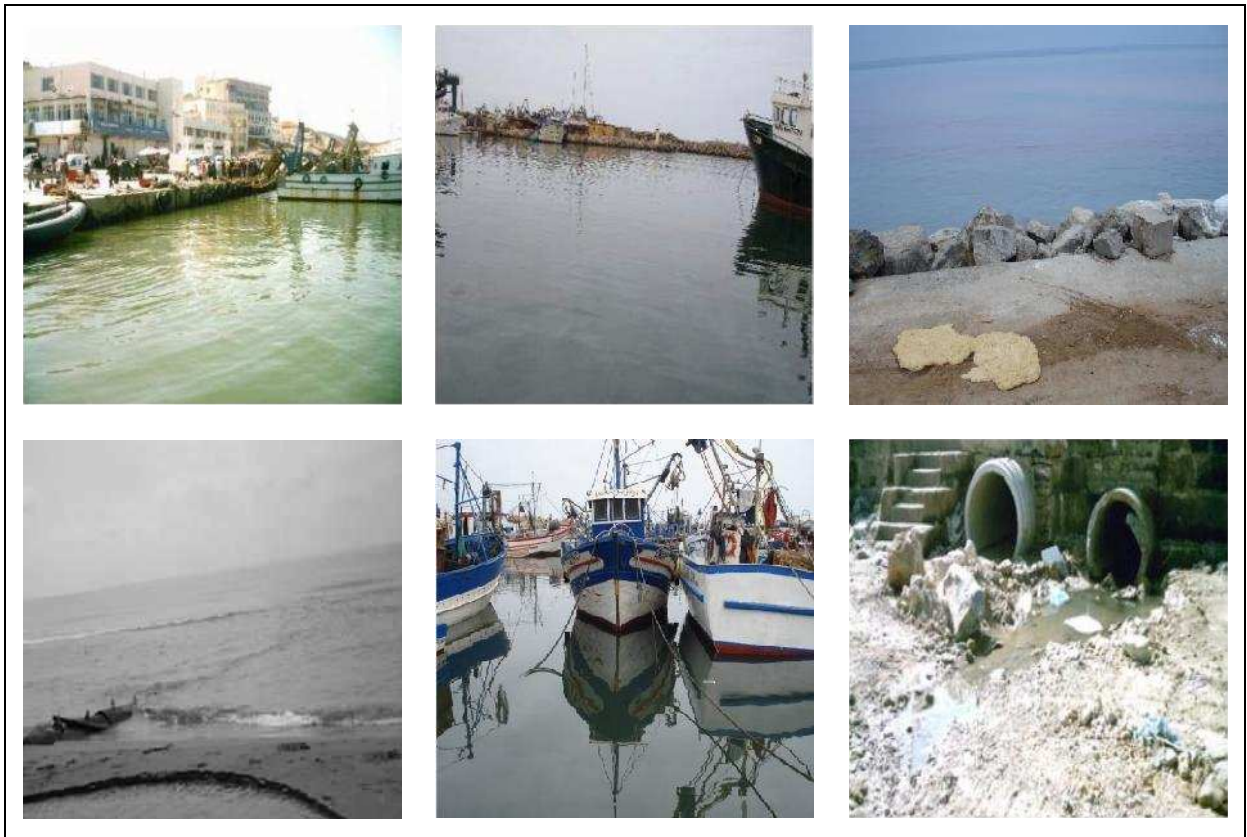


Figure 2.5 : Pollution par les huiles, rejets industriels et urbains au niveau de la baie d'Alger (HOUMA et *al.* 2009)

Chapitre 3

Méthodologie

1. MODÉLISATION

1.1. DÉFINITION

Notre objectif est de donner un bref aperçu à la fois théorique et pratique du domaine des mathématiques appliquées qui a connu un essor très important dans les dernières décennies, et qui est directement orienté vers la modélisation et la maîtrise de systèmes complexes, mécaniques, physiques, chimiques, industriels ou économiques.

Le but du jeu est de pouvoir décrire, comprendre, puis si possible simuler, optimiser et contrôler un système ou un phénomène complexe. Citons par exemple des phénomènes physiques : l'écoulement d'un fluide, la déformation d'un solide, une réaction nucléaire ou chimique. Le travail de la modélisation commence donc avec la modélisation physique : il s'agit d'écrire un modèle mathématique décrivant le phénomène considéré. Ce modèle est souvent constitué d'équations différentielles ou d'équations aux dérivées partielles (par exemple, les équations de Navier-Stokes, celles de la neutronique, de la visco-élasticité ou des plasmas, ou dans un cadre différent

Cette activité de modélisation physique est principalement du ressort des mécaniciens, physiciens, chimistes, ...

Cependant, le mathématicien ou l'ingénieur qui considèrent un modèle mathématique décrivant un phénomène physique ne peuvent pas faire l'économie d'une connaissance détaillée de la démarche de modélisation physique qui a conduit à ce modèle. Savoir comment et sous quelles hypothèses est obtenu le modèle, connaître le domaine de validité de ces hypothèses, comprendre les comportements physiques qui sont attendus sur la base de raisonnements intuitifs ou formalisés : toutes ces connaissances sont très utiles, voire indispensables, pour aborder l'étude mathématique et la résolution numérique du modèle.

Les étapes suivantes de la modélisation concernent en premier chef le "mathématicien appliqué". Il faut d'abord construire un cadre théorique pour pouvoir analyser du point de vue mathématique les modèles issus de l'étape précédente ; on s'intéresse alors à l'existence et à l'unicité ou la multiplicité des solutions, à leur stabilité et à d'autres propriétés qualitatives de ces solutions. C'est à cette étape de modélisation mathématique que se rattachent les parties les plus théoriques de ce cours, qui font notamment appel aux techniques de l'analyse.

Mais l'objet de la modélisation n'est pas seulement de donner cette compréhension théorique du comportement des solutions des modèles mathématiques considérés. Ces études mathématiques servent également à construire les bases de la résolution numérique de ces modèles. Nous verrons que la modélisation débouche alors sur la construction et l'analyse de méthodes et d'algorithmes pratiques, qui permettent de réaliser sur ordinateur des simulations numériques des phénomènes étudiés, ou d'implémenter sur ordinateur des procédures de contrôle (de contrôle "en temps réel" en particulier).

1.2. MODÉLISATION EN BAIE D'ALGER

Dans notre cas la modélisation se situe sur deux portions de la baie d'Alger une portion à l'ouest nomme domaine numéros 1 qui comprend les stations B2 B3 A2 A3.

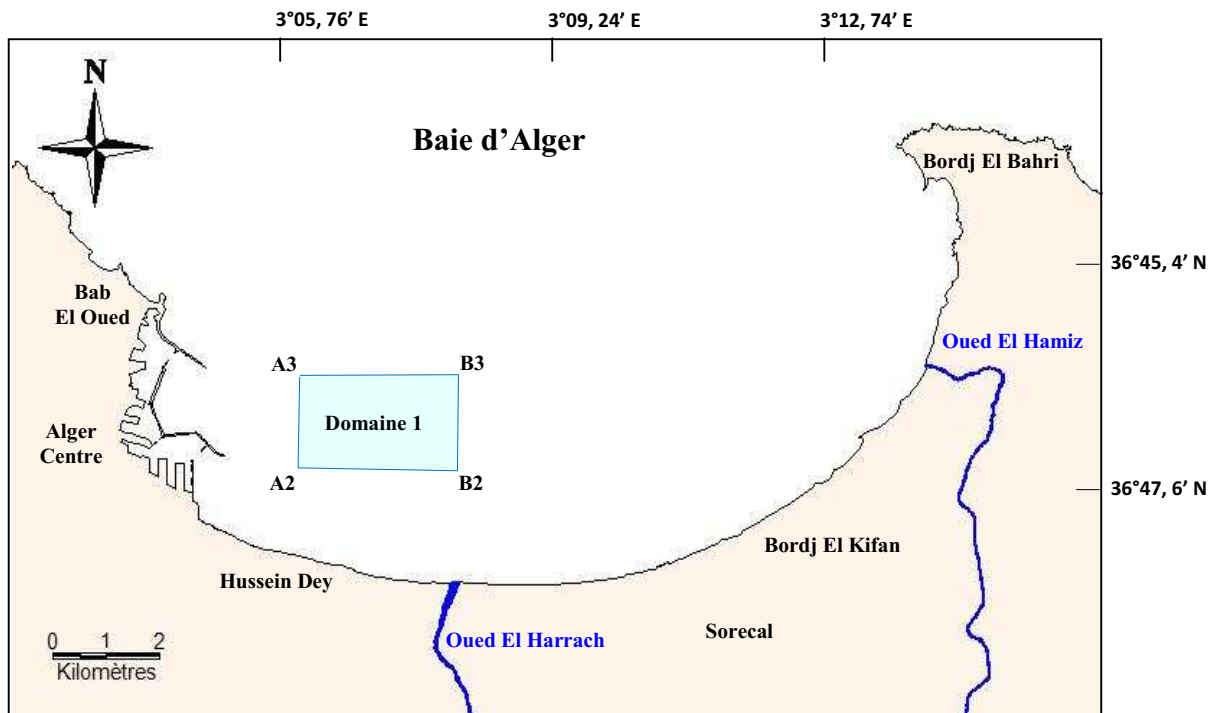


Figure 3.1 : Carte de positionnement du premier domaine d'étude dans la baie d'Alger

Chaque paramètre étudié posséderas son model propre qui sera valable a l'intérieur du périmètre du premier domaine.

Pour ce premier domaine les paramètres étudiés seront :

L'oxygene dissous, les nitrites, le potentiel hydrogene, et la température

Et une portion est nomme domaine numéros 2 : l'est qui comprend les 4 stations B2 B4 C2 C3 formant un rectangle

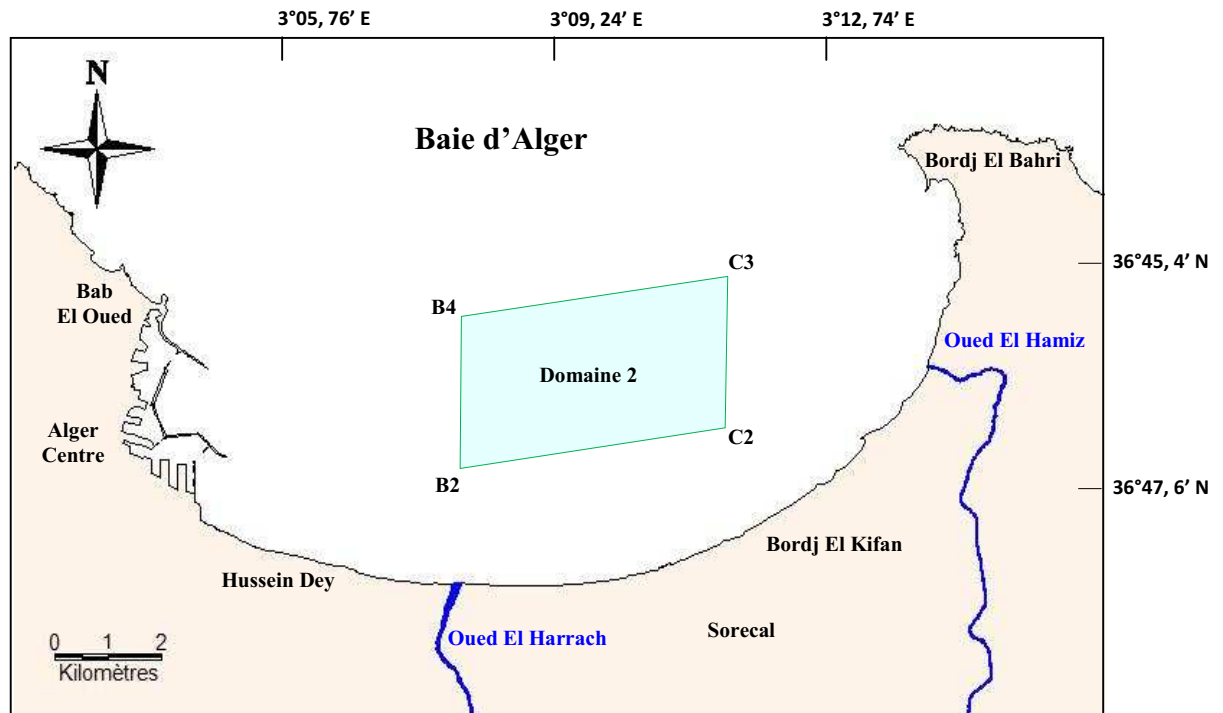


Figure 3.2 : Carte de positionnement du deuxième domaine d'étude dans la baie d'Alger

Pour ce deuxième domaine les paramètres étudiés seront :

L'oxygène dissous, les nitrites, le potentiel hydrogene, et la température.

Comme paramètres d'influence nous avons fixe le point du trais de cote le plus proche de la station B2 (embouchure de l'Oued El Harrach) qui sera notre point de départ qui représente l'éloignement par rapport a la cote.

Nous avons pris en compte aussi comme deuxième paramètre d'influence sur la formule General le déversement d'Oued El Harrach et son éloignement on l'exprime sous cette forme :

$$R = A_0 + A_1 X_1 + X_2 + A_{1.2} X_1 X_2 \quad 3.1$$

Ou :

R: représente la variable modélisé.

A_0 : n'as pas de sens mathématique.

A_1 : l'influence de l'éloignement par rapport à la côte.

A_2 : l'influence de l'éloignement par rapport à Oued El Harrach.

$A_{1,2}$: l'effet conjugué des deux influences.

X_1 : représente l'éloignement par rapport a notre trait de cote de référence.

X_2 : est représente l'éloignement par rapport a l'embouchure de oued el Harrach.

Ainsi chaque paramètre étudié auras son propre modèle exprime par les valeurs obtenus de $A_0, A_1, A_2, A_{1,2}$

Aussi on procède à une réduction de nos X_1, X_2 grâce a notre formule mathématique de réduction des valeurs suivante :

$$X = x - \left[\frac{(X_1 - X_2)}{2} \right] / (X_2 - X_1) \quad 3.2$$

Ou :

X_1 : représente l'éloignement par rapport à notre trait de cote de référence en km

X_2 : représente l'éloignement par rapport à Oued El Harrach en km

X_1 : représente la première limite de l'intervalle de la réduction donc le maximum de la distance observe.

X_2 : représente la deuxième limite de l'intervalle de la réduction donc le minimum de la valeur observe.

Pour la validation de notre modèle on injecte dans ce dernier les stations qui n'ont pas été prise en compte au départ on obtient des valeurs modélises que l'on compare avec les valeurs obtenus au laboratoire ainsi on peut vérifier le pourcentage d'erreur entre les deux valeurs Et juger de la fiabilité de notre modèle pour l'étude en question.

Ci-dessous une carte de la baie d'Alger avec la localisation des différentes stations de prélèvement

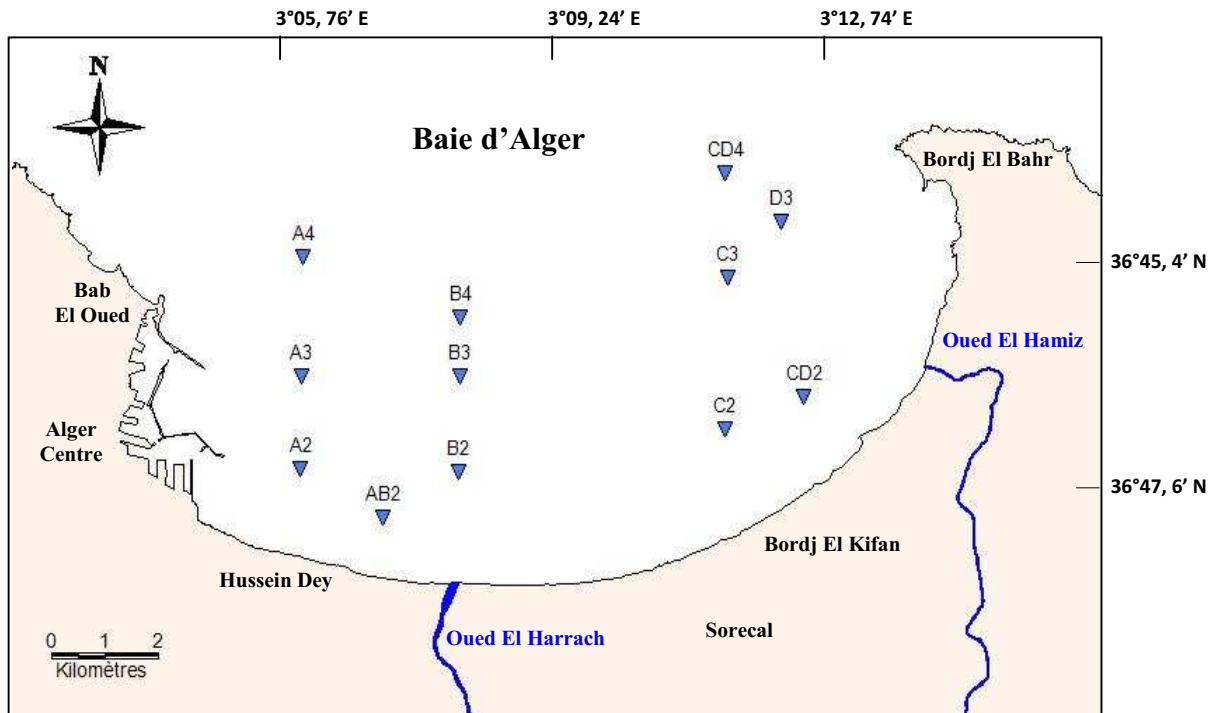


Figure 3.3: Localisation des stations de prélèvements dans la baie d'Alger (Aouameur, 1998)

1.2.1. Modélisation dans le domaine 1 de la baie d'Alger

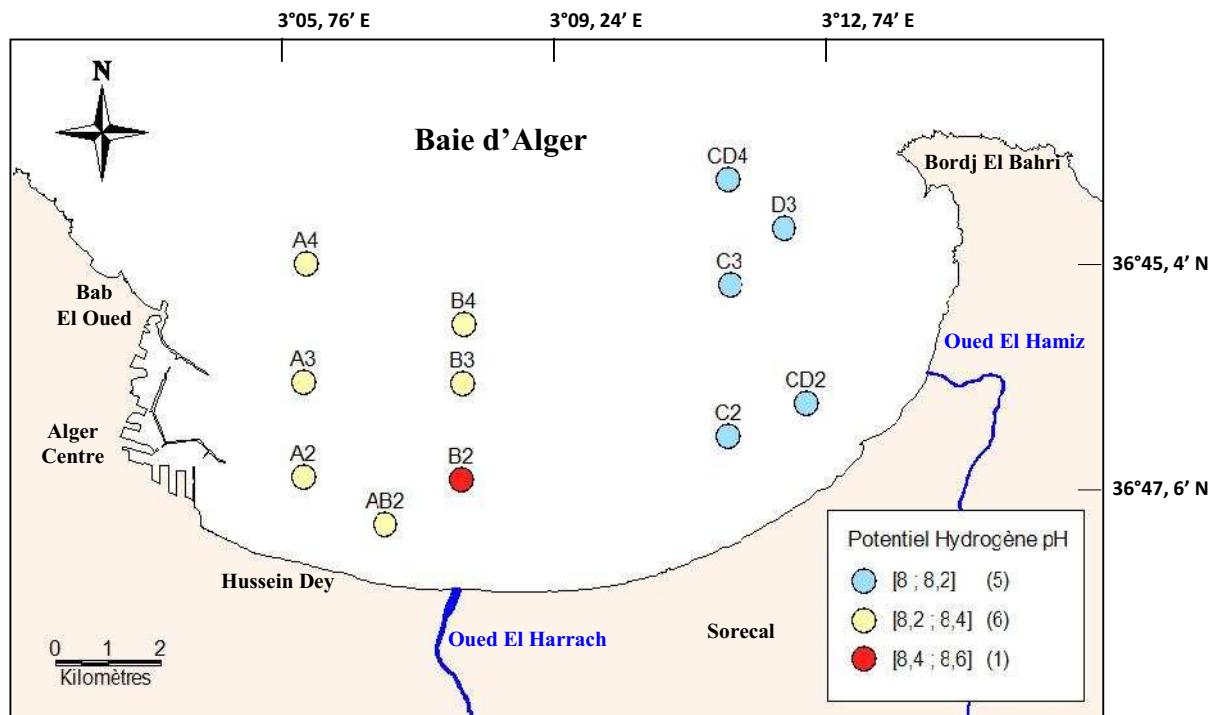


Figure 3.4: Carte de distribution des différents taux de pH dans la baie d'Alger

A- Modélisation du pH :

Après avoir remplacé les X_1 X_2 comme l'exige le modèle pour chaque cas:

$$R=B2=8,4 = A_0 - A_1 - A_2 + A_{1,2}$$

$$R=B3=8,38 = A_0 + A_1 - A_2 - A_{1,2}$$

$$R=A2=8,38 = A_0 - A_1 + A_2 - A_{1,2}$$

$$R=A3=8,39 = A_0 + A_1 + A_2 + A_{1,2}$$

Avec:

$$A_0 = 8,38$$

$$A_1 = - (1/400)$$

$$A_2 = - (1/400)$$

$$A_{1,2} = 0,0075$$

Le modèle du pH s'exprime comme suit:

$$R = 8,38 - (1/400) X_1 - (1/400) X_2 + 0,0075 X_1 X_2 \quad 3.3$$

Nous prenons pour exemple dans le premier domaine un point bien défini que nous appellerons

J

Ce point se situe à 3 km du trait de côte en ligne droite et à 3 km de distance de l'embouchure d'oued el Harrach.

Donc par rapport au point le plus proche pour lui du trait de côte que nous appellerons **P** en mesurant les distances maximale et minimale de ce point **p** par rapport à ce périmètre domaine nous obtenons cet intervalle [1,2 km, 4,3 km] Pour X_1 .

Et par rapport au point que nous nommerons **O** celui-ci représente l'embouchure elle aussi distante du point **J** de 3 km nous déterminons également pour les mêmes distances cet intervalle [1,2 km, 5 km]

Réduction des valeurs :

$$\text{Pour } X_1 = [(4,3+1,2)/2 - (4,3-1,2)/2] / (1,2-4,3) = -0,38 \quad 3.4$$

$$\text{Pour } X_2 = [(5+1,2)/2 - (5-1,2)/2] / (1,2-5) = -0,31 \quad 3.5$$

Nous remplaçons les résultats de la réduction directement dans le modèle valable dans le domaine numéros 1 puisque le point **J** y est inclus exemple pour le **pH** :

$$R = 8,38 - (1/400) X_1 - (1/400) X_2 + 0,0075 X_1 X_2 \quad 3.6$$

En remplaçant

$$R = 8,38 - (1/400)(-0,38) - (1/400)(-0,31) + 0,0075 (-0,38) (-0,31) = 9,36 \quad 3.7$$

Théoriquement on aurait **9.36** de *ph* au point j tout en prenant en compte le pourcentage d'erreur qui pour être valide devrait être inférieur à 10%.

B- Modélisation de la température :

Le modèle de la température s'exprime comme suit:

$$R = 17,42 + (1/4) X_1 - 0,05 X_2 - 0,025 X_1 X_2 \quad \mathbf{3.8}$$

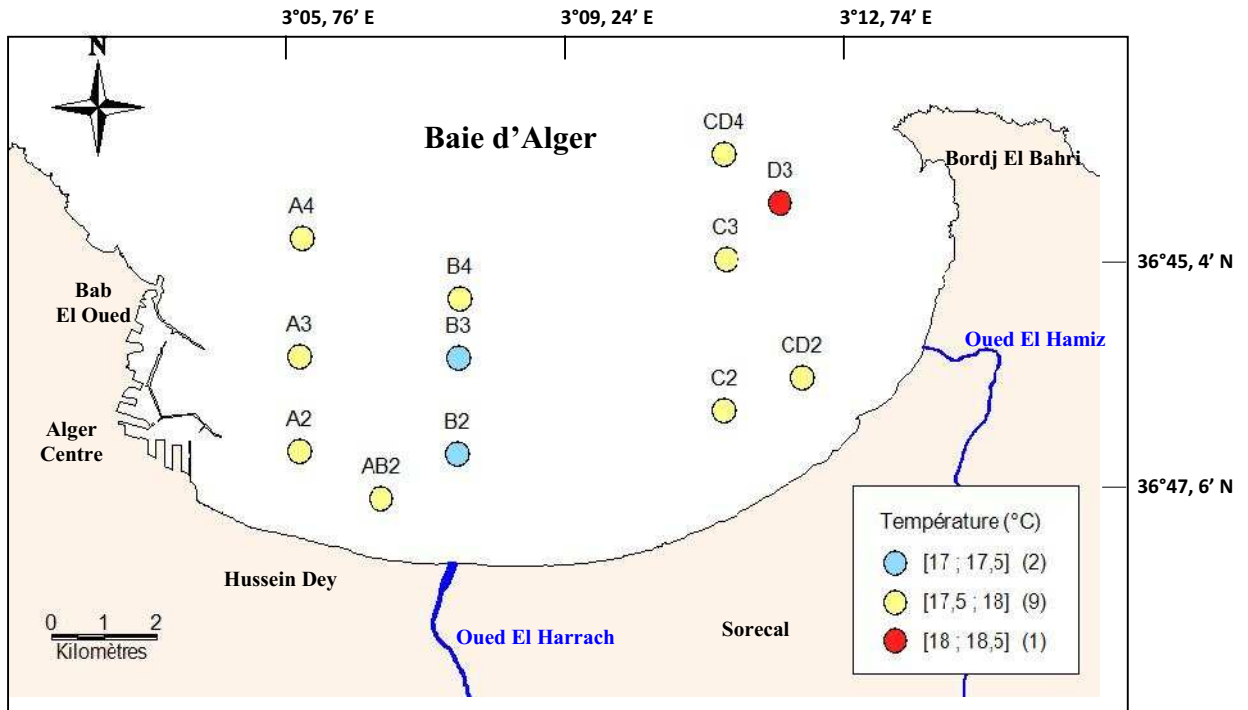


Figure 3.5: Carte de distribution de la température mesurée aux stations de prélèvement dans la baie d'Alger

Pour la température :

$$R = 17,42 + (1/4) (-0,38) - 0,05 (-0,31) - 0,025(-0,38)(-0,31) = 17,33 \quad \mathbf{3.9}$$

Théoriquement on aurait eu une température de **17.33°c** au point J.

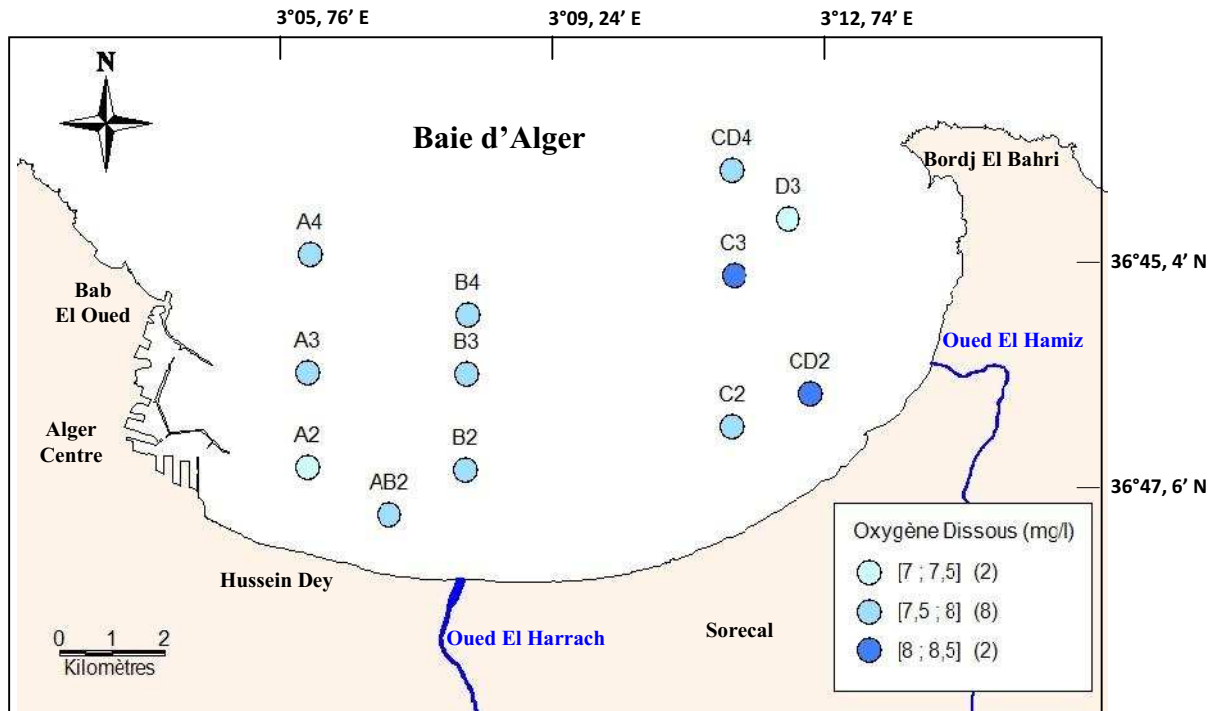


Figure 3.6: Carte des concentrations d'oxygène dissous dans chaque station de prélèvement dans la baie d'Alger

C- Modélisation de l'oxygène dissous :

Le modèle de l'oxygène dissous matières en suspension s'exprime comme suit:

$$R = 7,62 - (1/20) X_1 - 7,3 X_2 + (1/10) X_1 X_2 \quad 3.10$$

D- Modélisation des nitrites :

Le modèle des nitrites s'exprime comme suit:

$$R = 0,15 + 0,017 X_1 - 0,007 X_2 - 0,052 X_1 X_2 \quad 3.11$$

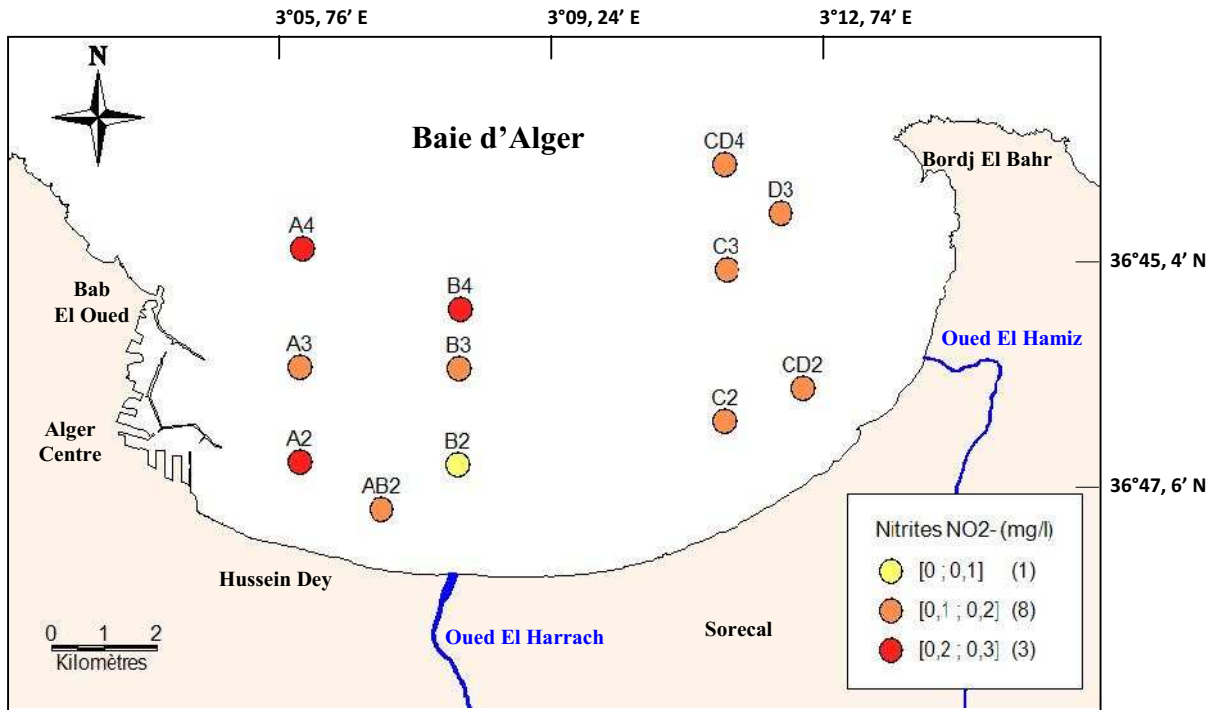


Figure 3.7: Carte des concentrations de nitrite dans chaque station de prélèvement dans la baie d'Alger

1.2.2. Modélisation dans le domaine 2 de la baie d'Alger

A- Modélisation du pH

Le modèle du pH s'exprime comme suit:

$$R = 8,22 - 0,16 X_1 \quad 3.12$$

B- Modélisation de la température

Le modèle de la température s'exprime comme suit:

$$R = 17,23 + 0,26 X_1 - 0,11 X_2 + 0,011 X_1 X_2 \quad 3.13$$

C- Modélisation de l'oxygène dissous

Le modèle de l'oxygène dissous s'exprime comme suit:

$$R = 7,82 + 0,055 X_1 + 0,095 X_2 + 0,03 X_1 X_2 \quad 3.14$$

D- Modélisation des nitrites

Le modèle des nitrites s'exprime comme suit:

$$R = 0,16 - 0,01 X_1 + 0,03 X_2 - 0,05 X_1 X_2 \quad 3.15$$

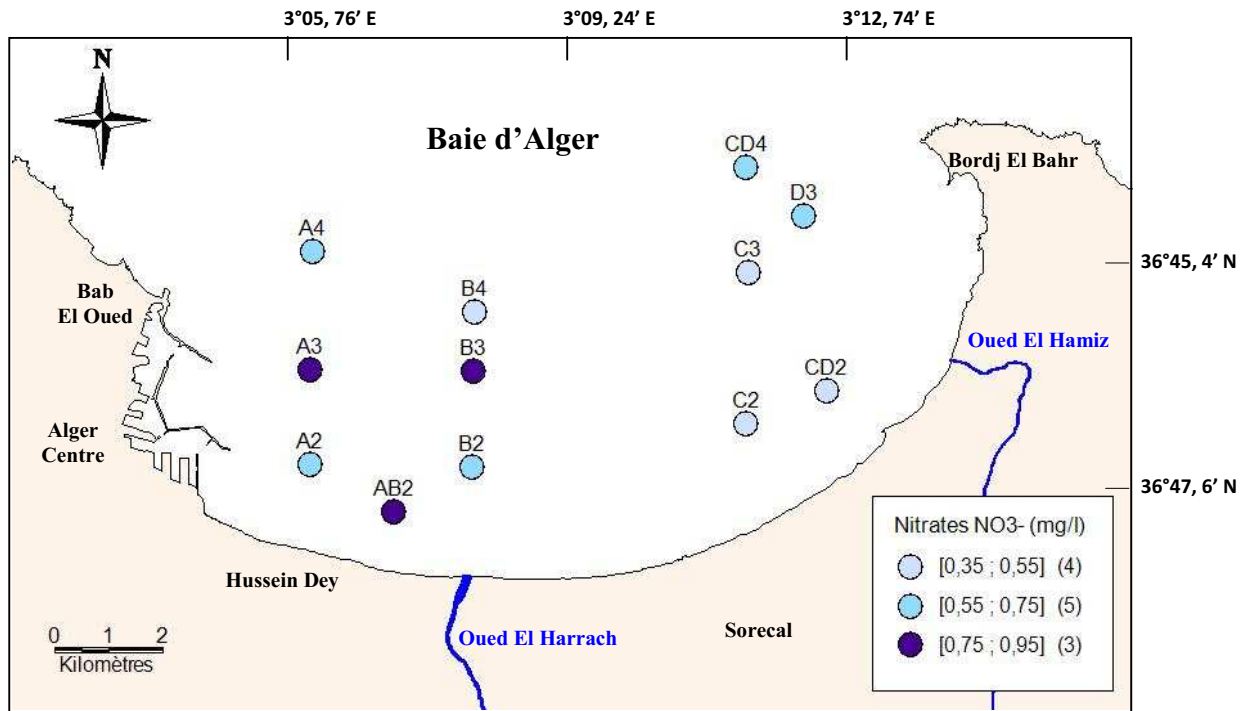


Figure 3.8 : Carte des concentrations des nitrates dans chaque station de prélèvement dans la baie d'Alger

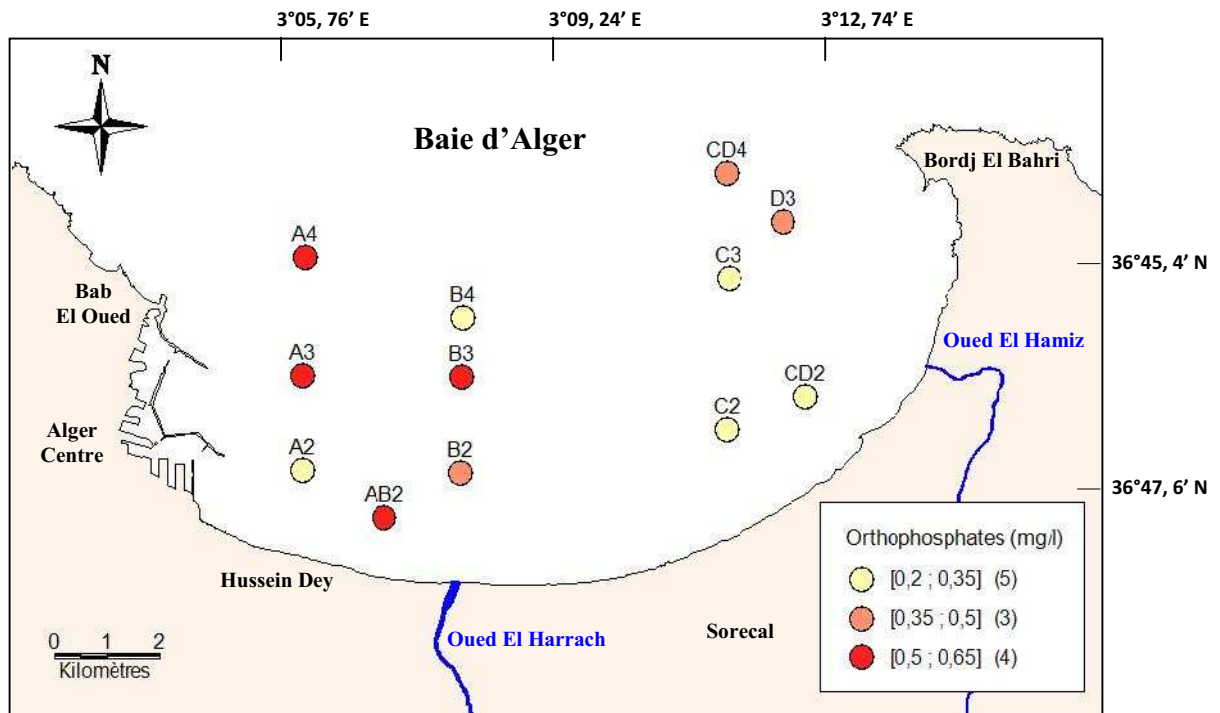


Figure 3.9 : Carte des concentrations des orthophosphates dans chaque station de prélèvement dans la baie d'Alger

Selon les modèles et par rapports a chaque paramètres étudiés dans chacun des deux domaines on peut dire que dans chaque relation de modélisation obtenus le signe positif signifie une évolution positif du paramètre et un signe négatif signifie sa régression.

Pour X1 si il est précède par un signe positif cela veux dire une évolution positivée l'influence de l'éloignement du tria de cote, par contre le signe négatif signifie une influence négative de l'influence Dèce dernier.

Pour X2 précède d'un signe positif signifie l'influence positive de l'éloignement de l'embouchure de oued el harnache par contre si il est précède d'un signe négatif c'est que l'influence de l'éloignement de oued el harnache est régressive.

Conclusion

Conclusion

Dans le cadre de notre travail le problème était celui d'avoir une vue d'ensemble sur la qualité et les types de pollution pouvant affecter notre zone d'études de récolter des données puis d'en faire un modèle capable de simuler les paramètres étudiés.

- Pour une bonne analyse, les questions suivantes ont constitué notre problématique
- Peut-on dire que la qualité des eaux des zones étudiées sont bonnes ou pas ?

Est-ce-que la modélisation est un atout pour les travaux de recherche de la pollution en mer
Vu les résultats obtenus dans la partie modélisation ,nous confirmons que la modélisation peut jouer les premiers rôles dans nos travaux et qu'elle peut nous apporter un gain considérable de temps et d'argent puisque elle peut apporter des prévisions précieuses qui peuvent nous éviter beaucoup d'erreurs et prédéfinir notre travail sur terrain mais cette dernière a ses limites et ne peut remplacer le scientifique :a nous d'en faire bon usage et de savoir allier les deux composantes et de les harmoniser pour optimiser la qualité des résultats obtenus

Reconnaissant la grandeur de ce sujet nous reconnaissons l'avoir traité selon le contexte abordé mais nous restons ouverts à toutes critiques et approfondissements afin que la science soit dynamique.

bibliographie

Aminot A & Chaussied M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *Ed CNEXO, Brest (France)*. 395p.

Aminot A. et Kérouel R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. *Edition : Ifremer, France, 336 P.*

Aubert J and Gambarotta JP. Etude de l'action antibactérienne d'espèces phytoplanctoniques marines vis-à-vis de germes anaérobies. *Rev. Intern. Oceanogr. Méd.* 1972; XXV : 39-47.

Boulaïdid 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 VII.* 266p.

Boulaïdid M, Eddalia N, Boudjallal B et Azzouz M., 2003. Les eaux de la baie d'Alger. Quelques aspects physico-chimiques et environnementaux. *Annales de l'Institut National Agronomique-El Harrach- Alger-Algérie. Vol.24. N°1 et 2.* P : 39.

Chorley RJ, Haggett J., 1967. Models in geography, - Methuen London.

Copin-Montegut G., 1996. Chimie de l'eau de mer. "*Collection synthèse*". P:290-292.

Fruget JF., 1999. Hydrologie appliquée. Tome 11, volume 1-2. P : 29-69.

Galaf F, Ghannam S., (2003). Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site Web sur la pollution du milieu marin. Th. Doct. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat. p.202.

Gaujous D., 1995. La pollution des milieux aquatiques, aide mémoire, technique et documentation, 2^{ème} Eds. 220p.

Groupe d'expert sur les aspects scientifiques de l'environnement marin (GESAMP) 1993. Impact of oil and related chemicals and wastes on the marine environment. *rep.stud* .

Jacques G., et Treguer P., 1986. Ecosystème pélagique marin. *Collection d'écologie,*

Laboratoire d'Etudes Maritimes (LEM), 1998. Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger.

Laboratoire d'Etudes Maritime (LEM), 1998. Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger.

Lacaze J C., 1980. La pollution pétrolière en milieu marin. *Ed Masson, Paris.* 117p.

Leclaire L., 1972. La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algéro-baléares (précontinent algérien). *Mém. Mus. Natn. His. Nat ; Paris, C, 24,* 391p.

Levitus, S.,(1993) distribution of nitrates, phosphate and silicates in the world ocean.

Maouche S., 1987. Mécanismes hydrosédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique. *Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Perpignan,* 214p

Millot C.,1989. La circulation générale en Méditerranée occidentale : aperçu de nos Multispectral Satellite Imagery to the Bathymetric Analysis of Coastal sea bottom. Application to Algiers bay, Algeria. *Journal Physical Chemical News, Maroc (in press).*

Ministere de l'aménagement du territoire et de l'environnement (MATE)2003 rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement en algerie 2003, Alger.

Rebzani-Zahaf C., 2003. Les peuplements macrobenthiques des milieux portuaires de la côte algériennes: Alger, Bejaia et Skikda. *Thèse Doctorat. Océanographie. USTHB, Alger.* 244p.

Rodier J., 1997. L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer). 8^{ème} Edition. *Dunod, Paris.*