

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème :

*Conception d'un Système d'information géographique (SIG)
pour la spatialisation des paramètres de pollution dans la
Baie d'Alger*

Présenté par:

- **Mr. BOUFENIZA Redouane Larbi**
- **Mr. ZEROUALI Karim**

Soutenu le 13/07/2013 devant le jury suivant :

M. BOULAHID M.	Professeur(ENSSMAL)	Président.
M. DRICHE M.	Maître de conférences B (ENSSMAL)	Examineur.
M. HEMDENE Y.	Maître de conférences A (ENSSMAL)	Examineur.
Mme. BENZOUAI S.	Maître assistante B (ENSSMAL)	Encadreur.
M. BELKESSA R.	Professeur(ENSSMAL)	Co-promoteur.

Promotion: 2013

RemeRciements

Passionnés par la nature depuis notre plus jeune âge, nous sommes très reconnaissants envers Mme Benzouai et Mr Belkessa d'avoir proposer un sujet si intéressant et de nous avoir permis d'apporter notre modeste contribution à un sujet si sensible qui est la conception d'un système d'information géographique pour la spatialisation des paramètres de pollution, ainsi que de nous avoir si bien encadrés, orientés et éclairés pour mener à bien notre travail.

Merci à Monsieur Boulehdid qui nous a fait l'honneur de présider le jury. Nous remercions également Mr Hemdene et Mr Driche d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous n'oublions pas de remercier nos enseignants, qui tout au long du cycle d'étude nous ont transmis leur savoir que nous considérons « l'or de la vie ».

Nous remercions aussi le personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL pour leur précieuse aide.

Enfin, nous exprimons toute notre gratitude à notre promotrice, Mme Benzouai pour sa disponibilité, la confiance qu'elle nous a toujours témoignée et la sollicitude dont elle nous a entourée, et ce tout au long de l'élaboration du présent travail.

Dédicaces

À mes très, très chers parents, source d'amour et d'affection ;

À mes très chers frères, sœurs, cousins et cousines qui comptent énormément pour moi ;

À tous mes autres proches exclusivement mes grand père, grande mère, oncles et tantes ;

À mes chers amis, Abd Elmalek, Younes, Oussama, Badrou, Samir, Youcef, Kouider, Zinou, Nabil, Amine à qui je tiens plus particulièrement; j'espère que je n'ai oublié personne ;

À toutes les personnes qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de cette année ;

Ainsi qu'à tous ceux qui me connaissent à l'ENSSMAL et avec qui j'ai passé cinq ans inoubliables ;

À vous tous qui m'aimez ;

À Redouane, mon binôme qui est sérieux et toujours en bonne humeur;
Je dédie ce travail.

Karim

Sommaire

Sommaire

Introduction	(1)
Chapitre I : Généralités	
I.1 Notions sur la pollution marine	(2)
I.1.1 Définition	(2)
I.1.2 Les différents types	(2)
I.1.2.1 Pollution chimique	(3)
I.1.2.2 Pollution physique	(3)
I.1.2.3. Pollution biologique (microbiologique).....	(4)
I.2 Quelques paramètres physicochimiques (Indicateurs de Pollution).....	(4)
I.2.1 Température.....	(4)
I.2.2 Salinité.....	(5)
I.2.3 Oxygène dissous.....	(5)
I.2.4 Potentiel d'hydrogène.....	(6)
I.2.5 Matières en suspensions.....	(6)
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude (La Baie d'Alger)	
II.1 Situation géographique.....	(8)
II.2 Réseaux hydrographiques.....	(9)
II.2.1 Oued El Harrach.....	(9)
II.2.2 Oued El Hamiz.....	(9)
II.3 Sources de pollution dans la baie d'Alger.....	(9)
II.4 Facteurs hydrodynamiques.....	(11)

Chapitre III : Matériels et Méthode

III.1 Définition d'un système d'information géographique (SIG).....	(13)
III.2 Données à référence spatiale.....	(13)
III.3 Fonctionnalités d'un SIG.....	(14)
III.4 Matériels utilisées.....	(14)
III.5 Présentation et choix des logiciels.....	(15)
III.5.1 Qantum GIS.....	(15)
III.5.2 Microsoft Excel.....	(15)
III.6 Méthodologie	(16)
III.6.1 Etat des lieux.....	(18)
III.6.2 Acquisition.....	(18)
III.6.3 Intégration et structuration.....	(19)
III.6.3.1 Fond de Carte.....	(20)
III.6.3.2 Entrée des données des compagnes en mer.....	(20)
III.6.3.3 Intégration des stations à estimer.....	(21)
III.6.4. Traitement des données	(23)
III.6.4.1Génération des grilles d'interpolation des données	(23)
III.6.4.2 Estimation des valeurs des paramètres de pollution.....	(26)
III.6.4.3Génération des lignes d'iso-valeurs.....	(26)
III.6.4.4 La Cartographie.....	(26)

Chapitre IV : Résultats et évaluations

IV.1 Résultats et Interprétation.....	(28)
IV.1.1 Température.....	(28)
IV.1.2 Salinité S.....	(31)
IV.1.3 potentiel d'hydrogène pH.....	(35)
IV.1.4 Oxygène dissous OD.....	(38)
IV.1.5 Matières en suspensions MES	(40)
IV.2.Evaluation.....	(43)
IV.2.1 Evaluation qualitative.....	(43)
IV.2.1.1Température.....	(43)
IV.2.1.2 Salinité.....	(44)
IV.2.1.3 Oxygène dissous.....	(44)
IV.2.1.4 potentiel d'hydrogène.....	(44)
IV.2.1.5 matières en suspension.....	(44)
IV.2.2 Evaluation quantitative.....	(44)
Conclusion et recommandations.....	(48)

Bibliographie

Annexes

Liste des acronymes

- **ENSSMAL:** Ecole Nationale Supérieure de Science de la Mer et l'Aménagement du Littoral.
- **GESAMP:** Groupe d'Experts sur les Aspects Scientifiques de la Pollution Marine.
- **OMS:** Organisation Mondiale de la Santé.
- **JICA:** Japonaise Internationale Coopération Agence.

Liste des abréviations

- **SIG:** Système d'Information Géographique.
- **SGBD :** Système de Gestion des Bases de Données.
- **PSU:** Pratical Salinity Unit.
- **MES:** Matières En Suspension.
- **T:** Température.
- **OD:** Oxygène Dissous.
- **S:** Salinité.
- **SQL:** Structured Query Language.
- **pH:** Potentiel d'Hydrogène.
- **MNT:** Modèle Numérique de Terrain.
- **GPL:** Général Licence Publique.
- **QGis :** Quantum GIS.
- **GPS:** Global Positioning System.
- **WGS84:** World Geodetic System84.
- **CSV:** Format (Séparateur, point-virgule)

Liste des tableaux

- Tableau (II.1): Les activités polluantes dans la baie d'Alger (PAC, 2005).....(10)
- Tableau(III.1): Caractéristiques des données collectées.....(18)
- Tableau (IV.1): Statistiques de la température en surface dans la Baie d'Alger (2009,2011 et 2012).....(28)
- Tableau (IV.2): Statistiques de la salinité en surface dans la Baie d'Alger (2009, 2011 et 2012).....(32)
- Tableau (IV.3): Statistiques du pH en surface dans la Baie d'Alger (2009, 2011 et 2012)(35)
- Tableau (IV.4): Statistiques de l'oxygène dissous en surface dans la Baie d'Alger (2009, 2011 et 2012)(38)
- Tableau (IV.5) : Statistiques des matières en suspensions en surface dans la Baie d'Alger (2009, 2011 et 2012)(41)
- Tableau (IV.6) : Comparaison entre les stations estimées et mesurées.....(45)

Liste des figures

- Figure (I.1): Classification de la pollution marine (Galaf et Ghannam, 2003).....(3)
- Figure(II.1): Localisation géographique de la baie d'Alger (Bachari, 2009 modifié).(8)
- Figure(II.2): Principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (LEM, 1998).....(11)
- Figure (II.3): Schéma synthétique de la dynamique littoral dans la baie d'Alger
(BELKESSA, 2005 - modifiée).....(12)
- Figure(III.1): Disciplines ayant contribué à l'apparition des SIG.....(14)
- Figure (III.2): Structure et méthodologie de travail.....(17)
- Figure (III.3): Présentation des métadonnées de la couche.....(19)
- Figure(III.4) : La baie d'Alger (Ikonos, 2003).....(20)
- Figure(III.5) : Entrée des données des campagnes en mer.....(21)
- Figure (III.6) : Répartition des stations choisies sur le fond de carte.....(22)
- Figure (III.7) : Caractéristiques des stations à estimer entrées(23)
- Figure (III.8) : Structure de génération d'un grid.....(24)
- Figure (III.9) : Méthode d'interpolation IDW.....(25)
- Figure (III.10): Compositions d'un projet(27)
- Figure(IV.1) : Température en surface dans la Baie d'Alger (2009, 2011 et 2012).....(29)
- Figure (IV.2):Distribution de la température en surface dans la Baie d'Alger (2009).....(30)
- Figure (IV.3) : Distribution de la température en surface dans la Baie d'Alger (2011) ... (30)
- Figure (IV.4) : Distribution de la température en surface dans la Baie d'Alger (2012)..(31)
- Figure (IV.5):Salinité en surface dans la Baie d'Alger (2009,2011 et 2012)..(32)
- Figure (IV.6) : Distribution de la Salinité en surface dans la Baie d'Alger (2009)(33)
- Figure (IV.7) : Distribution de la Salinité en surface dans la Baie d'Alger (2011).....(34)
- Figure (IV.8) : Distribution de la Salinité en surface dans la baie d'Alger (2012)..... (34)
- Figure (IV.9) : pH en surface dans la Baie d'Alger (2009,2011 et 2012).....(35)
- Figure (IV.10) : Distribution du pH en surface dans la Baie d'Alger (2009).....(36)
- Figure (IV.11) : Distribution du pH en surface dans la Baie d'Alger (2011).....(37)
- Figure (IV.12) : Distribution du pH en surface dans la baie d'Alger (2012).....(37)
- Figure (IV.13) : Distribution de l'oxygène dissous en surface dans la Baie d'Alger
(2009).....(39)
- Figure (IV.14) : Distribution de l'oxygène dissous en surface dans la Baie d'Alger
(2011).....(39)

- Figure (IV.15) : Distribution de l'oxygène dissous en surface dans la Baie d'Alger (2012).....(40)
- Figure (IV.16) :MES en surface dans la Baie d'Alger (2009, 2011 et 2012).....(41)
- Figure (IV.17): Distribution des MES en surface dans la Baie d'Alger (2009)(42)
- Figure (IV.18): Distribution des MES en surface dans la Baie d'Alger (2011)(42)
- Figure (IV.19) : Distribution des MES en surface dans la Baie d'Alger (2012).....(43)
- Figure (IV.20): Comparaison entre les valeurs de température mesurées et estimées....(45)
- Figure (IV.21): Comparaison entre les valeurs du pH mesurées et estimées.....(46)
- Figure (IV.22): Comparaison entre les valeurs d'oxygène dissous mesurées et estimées.....(46)
- Figure (IV.23): Comparaison entre les valeurs des matières en suspension mesurées et estimées.....(47)
- Figure (IV.24): Comparaison entre les valeurs de la salinité mesurées et estimées.....(47)

Introduction

Introduction :

L'évolution de la pollution marine est un sujet d'actualité, particulièrement chez les scientifiques qui s'inquiètent de la perte des écosystèmes marins causée par la pression démographique et le développement technologique des villes engendrant ainsi un problème environnemental important mettant en danger la santé publique.

La mer méditerranée est soumise à un problème grave de pollution du 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 (**Bachari, 2005**).

La côte algérienne et notamment la baie d'Alger reçoivent quotidiennement des flux de pollution de diverses sources ayant des impacts non négligeables sur le milieu marin.

L'appréhension de ce phénomène nécessite l'utilisation des nouvelles technologies, notamment la télédétection et les systèmes d'information géographique –SIG- qui permettent l'évaluation et le suivi de son évolution à des coûts relativement faibles, en peu de temps, et sur une large couverture. Ce type d'étude relève un grand intérêt pour les gestionnaires du littoral et offre aux responsables de l'environnement les éléments d'information nécessaires à la prise de décision.

Dans le cadre de notre travail, nous avons mis en œuvre un SIG pour la spatialisation des paramètres de pollution afin d'estimer les indicateurs de pollution et de suivre leurs évolutions spatiotemporelles.

A cet effet, le premier chapitre est consacré à des généralités et des rappels sur la pollution marine suivi d'une description générale de la zone d'étude présentée dans le deuxième chapitre. Le troisième chapitre donne un aperçu sur les systèmes d'information géographique, les matériels utilisés ainsi qu'une description de la méthodologie proposée.

Le quatrième chapitre est consacré à la présentation des résultats, à savoir, la mise en œuvre du SIG pour le suivi spatio-temporel et la spatialisation des paramètres de pollution.

Enfin, une conclusion générale et quelques recommandations clôturent ce travail.

Chapitre I

Généralités

I.1 .Notions sur la pollution marine

La pollution marine est un problème d'actualité, elle concerne aussi bien les mers que les océans.

I.1.1.Définition :

Le terme de pollution marine est défini comme étant : « l'introduction par l'homme dans le milieu marin, y compris les estuaires directement ou indirectement des substances ou d'énergie pouvant entraîner des effets délétères tels que dommage aux ressources biologiques, danger pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes (pêche), diminution de la qualité de l'eau de point de vue son utilisation et réduction de possibilités offertes dans le domaine des loisirs » (**GESAMP, 1993**).

La pollution est la dégradation du milieu marin par des substances chimiques, des déchets industriels posant des problèmes sur la santé humaine et altère les altérant écosystèmes marins.

I.1.2. Différents types :

Il existe deux principaux critères (source et nature) utilisés pour classer selon la nature les polluants en milieu marin (Fig. I.1).

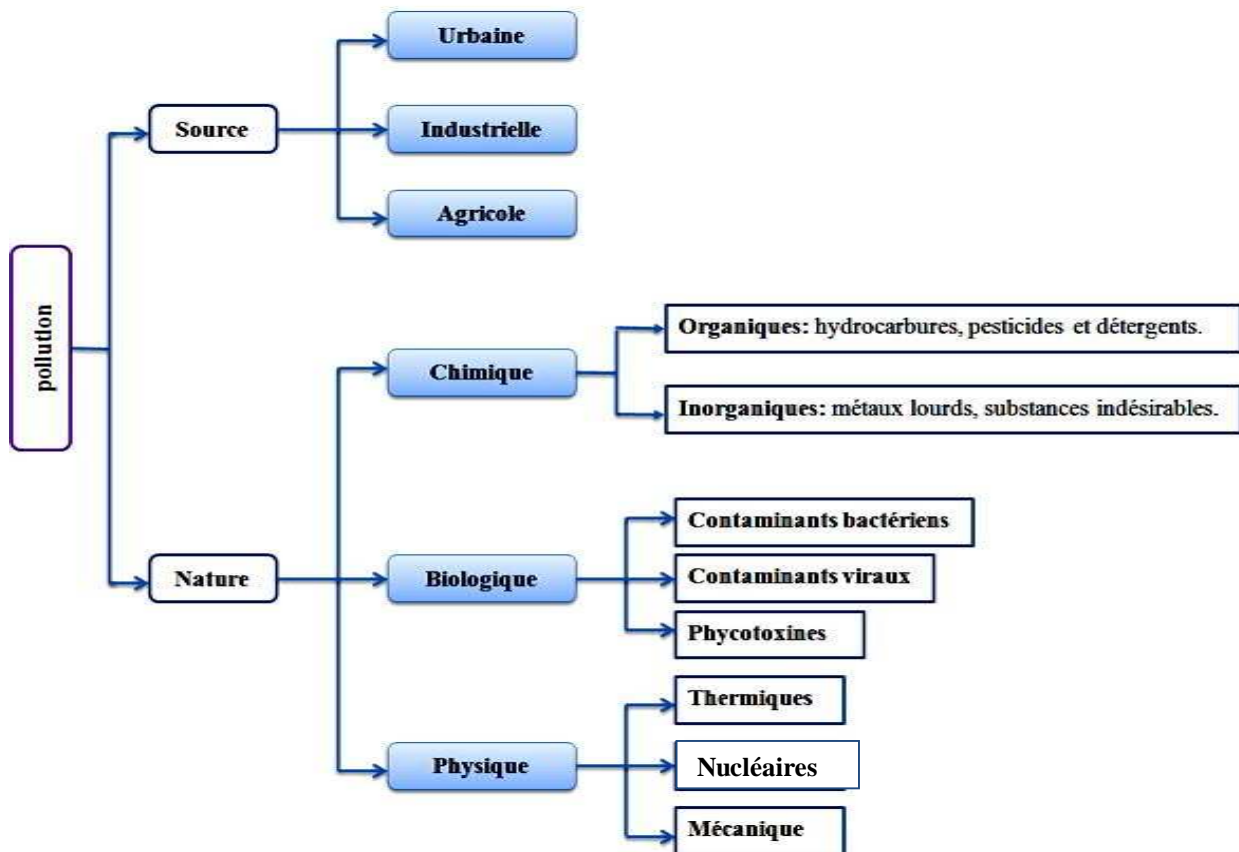


Figure I.1 : Classification de la pollution marine (Galaf et Ghannam, 2003 –modifié-)

I.1.2.1. Pollution chimique :

Cet type de pollution est due à l'entrée d'un ou plusieurs éléments dans la composition chimique de l'eau marine (Kankou, 2004), ces éléments peuvent être soit des composés minéraux (engrais, métaux toxiques..), organiques (hydrocarbures, molécules de synthèse..) ou des composés organochlorés tels que les amines et les phénols (Ramade, 2000).

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

- les paramètres globaux : ils résultent de juxtaposition des effets de plusieurs substances en même temps, exemple : pH, turbidité, demande chimique en oxygène.
- les paramètres spécifiques : qui caractérisent des composés de même propriété chimique (Kankou, 2004).

I.1.2.2. Pollution physique :

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de

l'eau (**Kankou, 2004**), ainsi que les rejets d'eau chaude des centrales nucléaires et les nappes pétrolières et les radiations ionisantes (**Lacaze, 1996**).

C'est une pollution due principalement à la modification de la structure physique du milieu marin à travers des agents physiques d'origine industriel et domestique selon les types

I.1.2.3. Pollution biologique (microbiologique) :

La pollution biologique est représentée par les micro-organismes (algues, bactéries, virus, champignons, ...) provenant principalement des eaux usées qui prolifèrent à leur arrivée dans le milieu marin, modifiant et dégradant ainsi l'écosystème déjà en place.

Cette pollution a des répercussions sur la qualité sanitaire des produits de la mer (conchyliculture, pisciculture...) et sur les différentes activités de la mer (tourisme par la qualité des eaux de baignade) (**Bachouche, 2010**).

I.2. Quelques paramètres physico-chimiques (Indicateurs de pollutions) :

La pollution marine est caractérisée par un nombre important de paramètres de pollution. Dans le cadre de notre travail nous nous sommes intéressés aux paramètres suivant:

I.2.1 La Température :

Elle correspond à un élément fondamental en océanographie. Ce facteur conditionne largement et significativement l'écologie des systèmes marins et côtiers. Sa variation dépend de la température atmosphérique et du mélange des masses d'eau (**Bachouche, 2010**).

Elle décroît de la surface vers le fond, elle varie en fonction des autres descripteurs physico-chimiques, telle que la pression. Dans les eaux de surface, sa variation dépend essentiellement des phénomènes climatiques (**Aminot et Chausse-Pied, 1983**).

La mesure de la température est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres tel que: la saturation des gaz dissous et la mesure du pH (**Aminot et Kérouel, 2004**). Dans le cas d'une élévation de température, le milieu peut être perturbé, même peut induire une pollution thermique (**Gaujous, 1995**).

Ce paramètre décroît de la surface vers le fond, la présence des polluants dans l'eau influe sur ce paramètre. La température varie proportionnellement à la pollution.

I.2.2 La Salinité :

La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin, 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 ou dans les estuaires (**Aminot et Kérouel, 2004**). Elle correspond à la teneur en sels dissous de l'eau de mer, elle peut être mesurée et exprimée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps ; ou seulement les sels dominants (**Rodier, 1996**). La salinité de l'eau de mer est d'environ de 35‰, sa variation est liée inversement à la pollution. Plus la salinité faible, la pollution est forte. La mesure de la salinité (**équation 1**), l'unité de mesure de la salinité est : S°/∞ ou (*Practical Salinity Unit*).

$$S \text{ (PSU)} = 1.800655 \times \text{Cl} (\text{‰}) + 0,03 \quad (1)$$

Cl (PSU) : La chlorinité (la masse d'halogénures, exprimée en chlorure, obtenue à partir de 1 Kg d'eau de mer).

I.2.3. Oxygène dissous (OD) :

L'oxygène moléculaire dissous est un paramètre physique important, qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques.

La concentration en oxygène dissous est la résultante des facteurs :

- Physiques (température, échange air-mer et la salinité) ;
- Chimiques (oxydation chimique) ;
- Biologiques (photosynthèse, respiration et régénération) (**Rodier, 2005**).

La concentration de l'oxygène de l'eau est influencée par des processus biologiques, qui permettent soit :

- La saturation dans les zones eutrophes (accroissement important du phytoplancton) ;
- Soit la sous-saturation de l'eau dans les zones riches en matières carbonées dégradables par des micro-organismes (oxydation de la matière organique, nitrification de l'azote ammoniacal) (**Aminot et Chausse-Pied, 1983**).

La teneur en oxygène dissous dépend de :

- La température et de la salinité de l'eau ;
- La pression et de la température de l'air.

Le déficit en oxygène est évalué par la teneur en matière oxydable (**Burns et Saliot, 1986**).

L'oxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique de l'eau de mer, il varie inversement avec la pollution de l'eau, dans les milieux très pollués, la teneur en

oxygène dissous a tendance à diminuer. Une faible concentration d'oxygène montre une forte pollution.

La mesure de l'oxygène dissous se fait avec :

- Un appareil dit, Oxymètre, qui affiche l'O₂ en (mg/l) ou bien en %O₂ (pourcentage de saturation) ;
- La méthode de Winkler qui consiste à doser l'eau de mer et à calculer la concentration en mg/l.

I.2.4. Le potentiel d'hydrogène pH :

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il résulte de la composition ionique de l'eau, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone (CO₂) à l'interface air-mer, ainsi que de la dissolution du calcaire. (Aminot et Kérrouel, 2004)

En théorie, le *pH* est défini comme le cologarithme décimal de l'activité d'ion H⁺ (a) (Ramade, 2000) Eq (2).

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+) \quad (2)$$

Avec :

pH : potentiel d'Hydrogène;

H⁺ : ions d'Hydrogène.

L'eau de mer est moins sensible aux variations du pH grâce à l'effet tampon des sels dissous, le pH en surface est proche de 8,1 et descend à 7,7 en eau profonde (Aminot et al, 1983).

En moyenne, le *pH* de l'eau de mer, voisin de 8,2 donc il tend vers un milieu basique (Rodier, 2005).

Le pH est liée à la T (°C), la salinité et l'O₂ dissous, le pH de l'eau de mer est d'environ de 8,2, on peut remarquer une modification de pH à une contamination par les rejets urbains ou industrielles. Le pH varie inversement avec la pollution, pH faible dis qu'une forte pollution.

I.2.5. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension dans les eaux de mer sont de dimensions très variables. Elles comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0,45µm et elles peuvent être un indice de pollution (Aminot et Chaussepied, 1983).

En plus des substances dissoutes, l'eau de mer contient des matières en suspension de toutes tailles et de toutes formes, minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature soit biogéniques, soit éoliens, soit météoriques (**Ivanoff, 1972**).

Donc La teneur de la composition minérale et organique des matières en suspension est très variable selon les cours d'eaux et les terrains traversés, la saison et les rejets présentent une teneur élevée de matières en suspension empêchant la diminution de la pénétration de la lumière et influe donc sur les paramètres proportionnelle à la pollution. Plus la concentration en M.E.S est élevée plus la pollution est importante.

Chapitre II

Présentation de la Zone d'étude

II.1.Situation géographique :

La baie d'Alger est située à la partie nord au centre de la côte Algérienne elle est délimitée au nord par la méditerranée. Elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja avec une forme semi-circulaire et une superficie approximative de l'ordre de 180 km², délimitée par deux caps, la Pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'ouest et le cap Matifou (Bordj El Bahri) à l'est. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée avec une longitude Est 03,06 à 03,24 et une latitude Nord 36,74 à 36,82 (Fig. II.1) (Bachari, 2009).

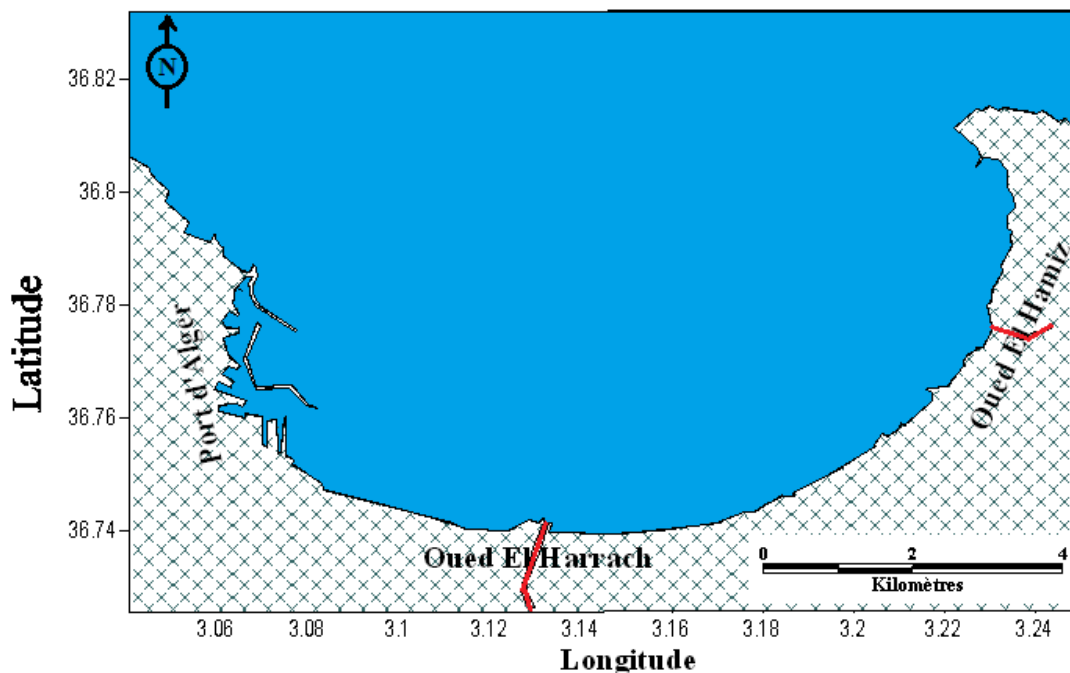


Figure (II.1) : Localisation géographique de la baie d'Alger (Bachari, 2009 modifiée)

La baie est soumise à l'influence de deux milieux de nature différente :

D'une part elle reçoit l'influence continentale par la ville d'Alger et de population, due à des activités industrielles. Elle constitue de ce fait un déversoir où se jette quotidiennement une grande quantité des eaux usées polluées. D'autre part, elle reçoit l'influence directe du milieu marin du large entraîné par le courant algérien. Ce dernier résulte de veine de l'eau atlantique qui longe les côtes algériennes où il prend sa dénomination.

II.2. Réseaux Hydrographiques :

Deux oueds se jettent dans la baie d'Alger, Oued El Hamiz et Oued El Harrach. Ce dernier draine les eaux usées domestiques et industrielles surtout de la ville d'Alger qui ne sont traitées qu'à 8% et sont déversées directement dans la baie.

II.2.1. Oued El Harrach :

Oued El Harach est Situé dans la partie Est de la baie d'Alger, il a pour coordonnées géographiques 3° 08' longitude Est et 36° 45' latitude Nord. Oued El Harrach prend sa source dans la partie Nord de l'atlas Blidéen. Il a deux affluents à la source "Akaa" et "Mekta".

L'oued coule en direction Nord Est et forme un passage hors de l'atlas Blidéen par la percée du rocher de pigeons puis élargit son cours dans la plaine de la Metidja avec un bilan des écoulements moyens annuels est de 5.4 m³/s. Ce dernier reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles, de ce fait altère toute la biodiversité qui y vit, de part sa qualité physico-chimique et microbiologique très dégradée. (Charakdji et al, 2006).

II.2.2 Oued El Hamiz :

La superficie du bassin versant d'Oued El Hamiz est de 160 km², son embouchure se situe près du cap Matifou. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en mer (LEM, 1999, in Khedimi et Abderrahmani, 2008).

Ses principaux affluents sont:

- Oued Segia
- Oued Barek.

Le débit d'Oued El Hamiz est régularisé par un barrage, son embouchure est mal aménagée et les rejets affectent directement la surface de la mer (Assou ; 1982).

II.3.Sources de pollution dans la baie d'Alger :

La baie d'Alger reçoit quotidiennement les rejets urbains, industriels et portuaires très importante de l'agglomération algéroise et des communes environnantes (Tab. II.1) et (Fig. II.2) :

- **Le port d'Alger** : a travers les activités portuaires et les embouchures d'égouts qui s'y déversent qui sont reliée pratiquement a différents communes et des établissements ex :

hôpital « Mustapha bacha » qui porte des taux très importants de pollution a travers ce port.

- **Les émissaires urbains** : des différents secteurs surtout au niveau de la commune Hussein-dey qui véhiculent des rejets domestiques et industriels de la ville d'Alger.
- **L'oued El-Harrach** : est un véritable égout à ciel ouvert, draine la partie Est de la plaine de la Mitidja ; ses eaux sont chargées de déchets domestiques et industriels de toute la zone Est. Malgré il se trouve qu'il ya une station de traitement des eaux usées est située en amont de l'embouchure de cet oued au niveau de la commune de (Baraki). Qu'elle possède une capacité de 700 000 habitants mais il reste forcément provoque une pollution considérable.

« La mauvaise qualité de l'eau de l'oued El Harrach dépasse de 400 fois les normes établies par l'organisation mondiale de la santé OMS », (MITSUO YOSHIDA) conseille supérieur à l'Agence de coopération internationale japonaise (JICA).

- **L'oued el Hamiz** : leur pollution présente un débit qui est régulé par un barrage. L'activité industrielle y est réduite. Il présente une charge polluante peu importante

Tableau (II.1) : Les activités polluantes dans la baie d'Alger (PAC, 2005).

Zone industrielle	Unité industrielle	Nature de l'activité
Alger - Port	COGRAL Filiale ENCG HRSA/UP5	Raffinage des huiles et fabrication de savon
	Centrale thermique	Production d'électricité
	COGRAL Filiale RSA/UP6	Production d'huile et de savon
Oued El Harrache	Parfumerie et cosmétique de l'Oasis	Fabrication de parfum et cosmétique
	EPBH	Fabrication de boissons gazeuses et bières
	ENPC TP1G	Transformation de plastique
Oued Smar	ENPEC	Fabrication d'accumulateur de démarrage de plomb
	SIAD	Production de détergents
	Complexe de levure ERIAD	Production de levure
	ENAP	Peinture, vernie, diluants et colles
	Aromes d'Algérie	Emulsion 10t, essences 3t/an, Aromes 2t/an

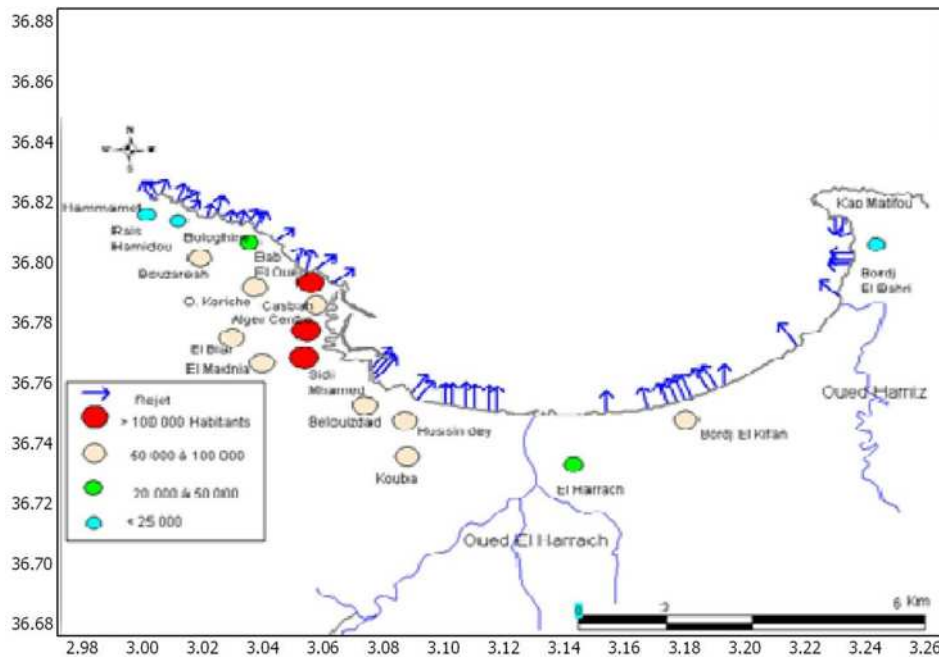


Figure (II.2) : Principaux rejets d'eaux usées dans la baie d'Alger (LEM, 1998 –modifié-).

II.4.Facteurs hydrodynamiques :

Le courant étant le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, sa direction de propagation est liée à celle du vent et de la profondeur. Ainsi la houle de la baie d'Alger suit le régime saisonnier des vents.

- **En hiver :** les houles prédominantes sont W.N.W (plus de 80%) à (300°) avec une période moyenne de 8 à 9 secondes. Des périodes pouvant atteindre parfois 13 secondes lors des grandes tempêtes.
- **En été :** la houle de direction NNE se caractérise par une période moyenne plus faible de 6 à 7 secondes et des amplitudes moins élevés de 0,5 à 1 m. 50% de ces houles ont une période de 6 à 9 secondes et n'atteignent que très rarement 3m d'amplitude (Leclaire, 1972).

Au contact des irrégularités du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui provoquent la mise en suspension des particules favorisant leur déplacement. Le sens et l'intensité de ce courant sont en 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 (Millot, 1989).

La dérive littorale est présente lorsque la houle atteint la côte avec une certaine obliquité. La vitesse du courant est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60°.

Lorsque la houle est oblique, le jet de dérive se fera dans la direction de la propagation. Parcontre, le retrait des eaux se fera dans le sens de la plage (OTTMANN, 1965).

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 (BELKESSA, 2005).

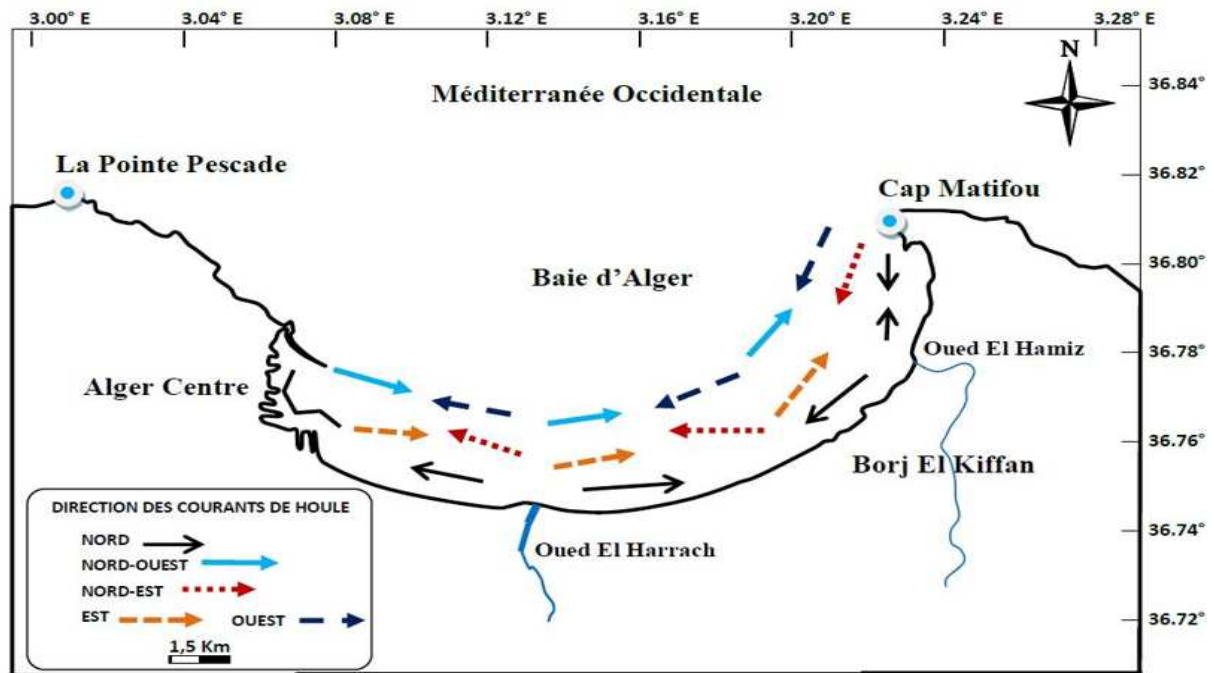


Figure (II.3): Schéma synthétique de la dynamique littoral dans la baie d'Alger (BELKESSA, 2005 - modifiée)

Chapitre III

Matériels et méthodes

Après avoir abordé la problématique de la pollution marine, en particulier, dans notre zone d'étude, nous commençons par présenter les fondamentaux de l'outil utilisé pour l'appréhension de ce phénomène, à savoir les Systèmes d'information géographique. Ceci, avant de décrire la méthodologie développée à cet effet et qui concerne la conception d'un SIG pour la spatialisation des paramètres de pollution.

III.1.Définition d'un système d'information géographique (SIG):

La définition américaine émanant du comité fédéral de coordination inter-agences pour la cartographie numérique (**FICCDC, 1988**) est la suivante : un système d'information géographique est :

« un système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à références spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion »

III.2.Données à référence spatiale :

La donnée à référence spatiale est toute donnée rattachée à un détail localisable dans l'espace. Ce détail peut être matériel tel qu'une route, ou fictif tel qu'une station de mesure en mer. L'information géographique peut se présenter sous deux formes : vecteur ou raster. La forme vecteur correspond à l'une des primitives géométriques : Point, ligne ou polygone alors que la forme raster correspond à une grille régulière découpant l'espace en cellules de résolutions (tailles) égales.

La donnée vecteur a deux composantes : une composante graphique déterminée par les coordonnées géographiques ou planimétriques de l'objet et la composante sémantique déterminée par les attributs qui lui sont rattachés. Pour chaque objet, ces deux composantes sont reliées par un identifiant unique connu dans les structures internes de chacun d'eux.

Par ailleurs, la donnée à référence spatiale est structurée dans un SIG sous forme de couches (Layers) superposées, organisées en base de données géographiques et gérées par le SGBD propriétaire du logiciel ou un SGBD externe de type Access, Oracle, etc. Aussi, cette base de données géographique est le résultat de l'implémentation d'un schéma conceptuel des données réfléchi de façon à répondre aux objectifs du projet.

III.3.Fonctionnalités d'un SIG : Les fonctionnalités d'un SIG se résument dans ce qui suit (règles des 5A) :

- **L'abstraction :** qui consiste à proposer un modèle du monde réel afin de pouvoir l'étudier;
- **L'acquisition :** qui concerne l'intégration de données géographiques multi-sources et multiformes ;
- **L'archivage :** qui consiste à stocker ou à diffuser les données, les vendre ou les partager, et les intégrer dans un grand nombre de logiciels différents ;
- **L'affichage :** qui concerne la représentation des données géographiques sur un écran en 2D ou en 3D ;
- **L'Analyse :** les SIG permettent de croiser des informations d'origines différentes pour produire de nouveaux savoirs.

Toutefois, la mise en œuvre d'un SIG paraît parfois comme une tâche difficile vue le nombre de disciplines auquel elle fait appel (Fig. III.1).



Figure (III.1) : Disciplines ayant contribué à l'apparition des SIG

III.4.Matériels utilisés:

Le matériel utilisé dans cette étude comprend :

- Les logiciels : Qantum GIS et Excel ;
- Un micro-ordinateur ;
- Un scanner pour numériser les documents analogiques ;
- Des supports de stockage.

III.5.Présentation et choix des logiciels :

III.5.1 Quantum GIS :

Notre choix s'est porté sur le logiciel open source (GPL) quantum GIS version 1.8 et ce pour sa gratuité, sa disponibilité, sa portabilité et la richesse de ses outils de géotraitement.

Quantum GIS est un SIG libre au téléchargement, multiplateforme, il gère les formes raster et vecteur, ainsi que les bases de données. Il permet d'effectuer des activités diverses, notamment le géoréférencement, la digitalisation, l'analyse spatiale, l'analyse thématiques...etc. Aussi, il permet à l'utilisateur d'ouvrir des fichiers EXCEL, ACCESS et travailler sur des données ORACLE, d'une manière transparente.

QGIS est caractérisé par :

- Sa gratuité, ce qui nous permet de l'utiliser en toute liberté
- sa communauté internationale d'utilisateurs et de développeurs qui ne cesse d'élargir l'éventail de ses fonctionnalités et d'allonger la liste des dépôts (extensions) ;
- son interopérabilité (accepte plusieurs formats d'échange Arcinfo, Mapinfo, Grass, GRASS GIS, GEOTIFF, TIFF, JPG, etc.) ;
- son module post GIS permettant le stockage des données géographique dans un serveur spatial distant.

Toutefois, l'un des avantages majeurs est la possibilité d'utiliser Quantum GIS comme interface graphique du SIG GRASS, utilisant toute la puissance d'analyse de ce logiciel en un environnement de travail plus convivial. Les fonctionnalités GRASS sont optionnelles, et passent par un module d'extension (*plugin*). Par ailleurs, Quantum GIS dispose - par défaut - d'une grosse dizaine de ces modules.

III.5.2. Microsoft Excel :

Les mesures issues des campagnes en mer sont généralement présentées sous forme de tableau. De ce fait, nous avons utilisé le logiciel Excel afin de les éditer avant de les exporter dans le format texte d'Excel (CSV), nécessaire à leur intégration dans QGIS.

Ce logiciel offre aussi les possibilités de réaliser des opérations de sélection, de filtrage automatique, de tri par ordre croissant ou décroissant, et la présentation graphique des données (Histogrammes, Courbes, Nuages de points,...etc.).

III.6.Méthodologie :

En vue de concevoir un SIG pour la spatialisation des paramètres de pollution, nous proposons une méthodologie basée sur les étapes classiques de conception d'un SIG à savoir, l'état des lieux et l'analyse de l'existant, l'acquisition des données, le traitement, la réalisation des produits à valeur ajoutée, en l'occurrence les cartes d'estimation des paramètres de pollution et enfin l'évaluation (Fig. III.2).

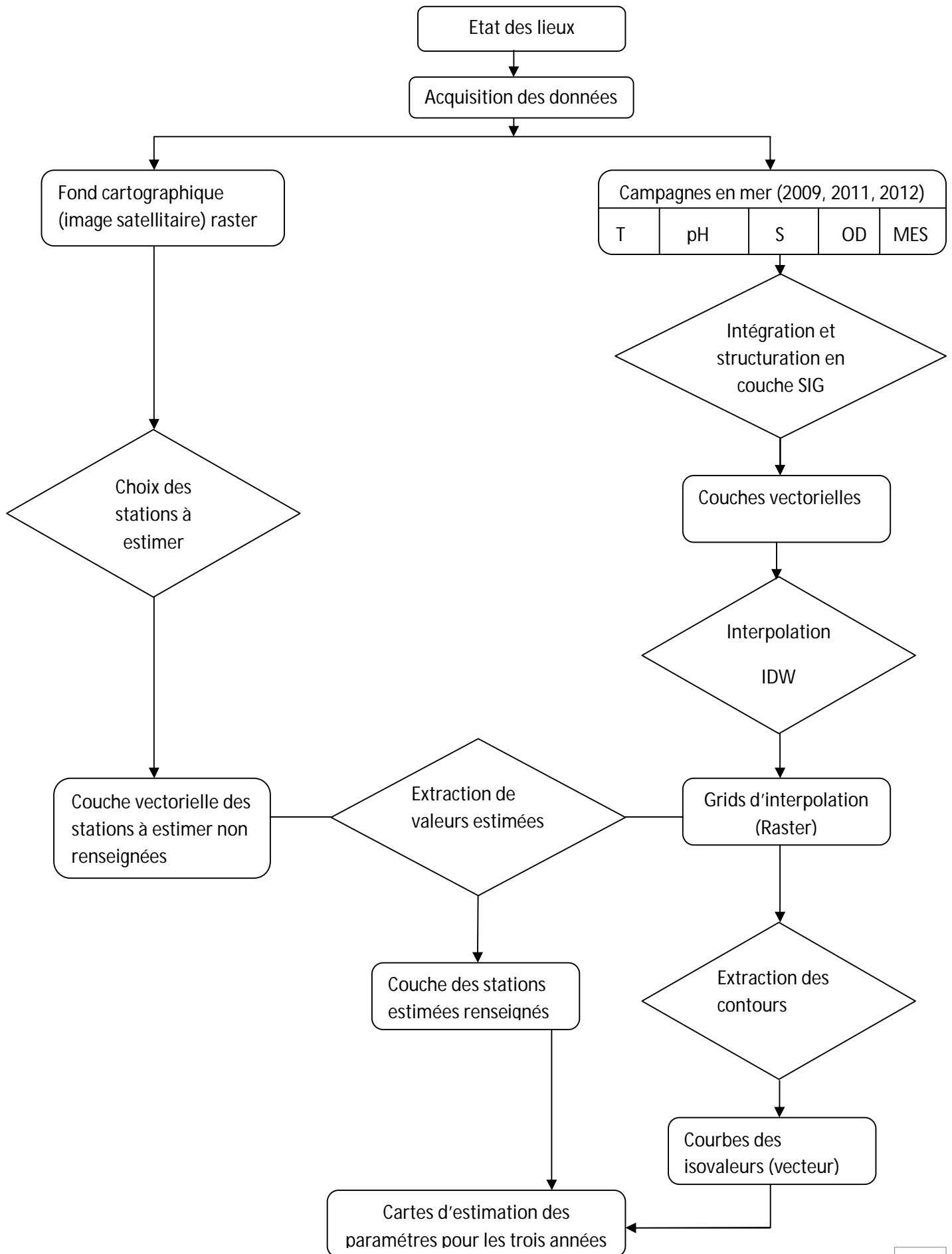


Figure (III.2) : Structure et méthodologie de travail

III.6.1. Etat des lieux :

L'état des lieux consiste à rassembler toute la documentation (mémoires de PFE et de magistère et thèses de doctorat) disponible à l'ENNSMAL et relative à la mesure des paramètres physico-chimiques de la pollution dans la baie d'Alger.

Suite à la lecture et le tri de cette documentation, les données des campagnes en mer effectuées en 2009, 2011 et 2012 ont été retenues en raison de leur disponibilité (Tab III.1).

Tableau III.1 : Caractéristiques des données collectées

Auteur et Date	Nombre de stations	Répartition sur la baie	Port d'Alger	Paramètres mesurés
(BACHARIF) Du 19 au 24 Mars 2009 (1 ^{ère} campagne)	37	80%	Oui	T, S, pH, OD, MES
Zerrouki.M et Bozetine .A Du 26 au 28 avril 2011	21	30%	Non	T, S, pH, OD, MES
(Djeridi.H, Mansouri.T) Du 27 au 28 mai 2012	26	35%	Non	T, S, pH, OD, MES

III.6.2. Acquisition des données:

L'acquisition des données consiste à relever, pour chaque année, les paramètres mesurés par station; point de prélèvement des paramètres de pollution caractérisé par des coordonnées géographiques et déterminé par positionnement GPS. Ceci, afin de constituer un tableau de mesures.

Les données disponibles dans les mémoires ne se présentent pas toujours dans la forme la plus facile à leur intégration directe dans un SIG. Dans notre cas, les coordonnées des stations

mesurées se présentent sous forme de tableaux quant aux mesures des paramètres, il a fallu les déduire à partir des cartes d'estimation.

Cette étape est délicate car elle demande du temps et une très grande précision afin de garantir la qualité des résultats.

Par ailleurs, nous avons acquis une image satellitaire afin de situer des stations de mesure de la zone d'étude.

III.6.3.intégration et structuration :

L'entrée des données dans le logiciel Quantum Gis est une étape primordiale. Elle nécessite de faire des choix au niveau du système de représentation cartographique. Dans notre projet, nous avons choisi le système géodésique « Géographique WGS 84 » vu qu'il est en vigueur en Algérie. Les trois couches intégrées, à cette étape, dans le SIG concerne le fond cartographique et les stations mesurées.

Lors de l'intégration des différentes données dans le logiciel QGIS, nous avons rempli la rubrique « Métadonnées ». Les métadonnées sont les données sur la donnée, elles servent à définir ou à décrire la donnée. Exemples : Le système de référence dans lequel sont représentées les données, la date de la campagne en mer, les conditions météorologiques, les caractéristiques techniques des matériels utilisés, etc. (Fig. III.3).

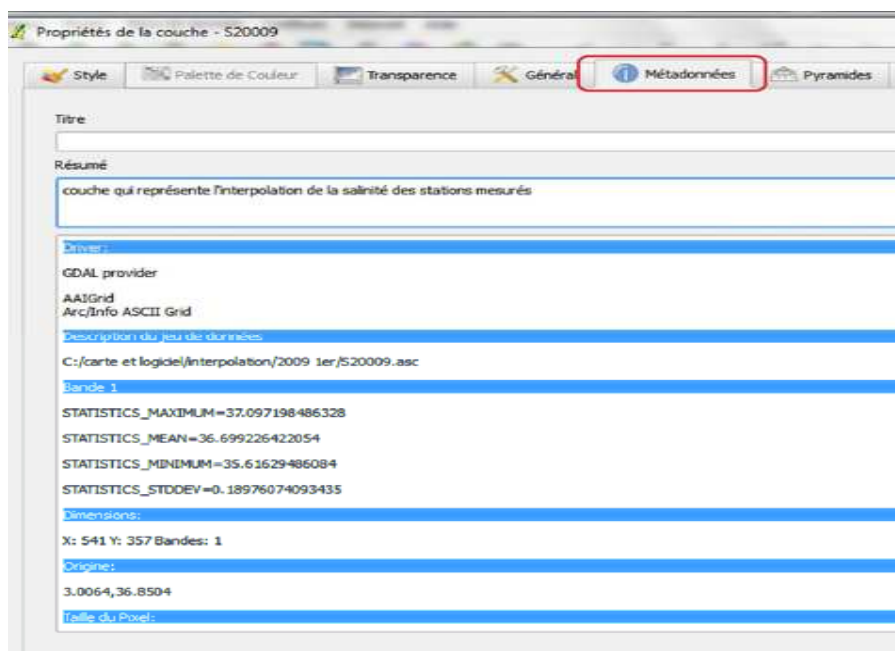


Figure (III.3) : Présentation des métadonnées de la couche

III.6.3.1 Fond de carte :

Afin de mieux situer les stations de mesure dans la zone d'étude, nous avons jugé utile d'intégrer un fond cartographique représentant la baie d'Alger. Pour cela nous avons opté pour une image satellitaire issue du capteur (IKONOS) datant du 13/06/2003 (Fig. III.4).

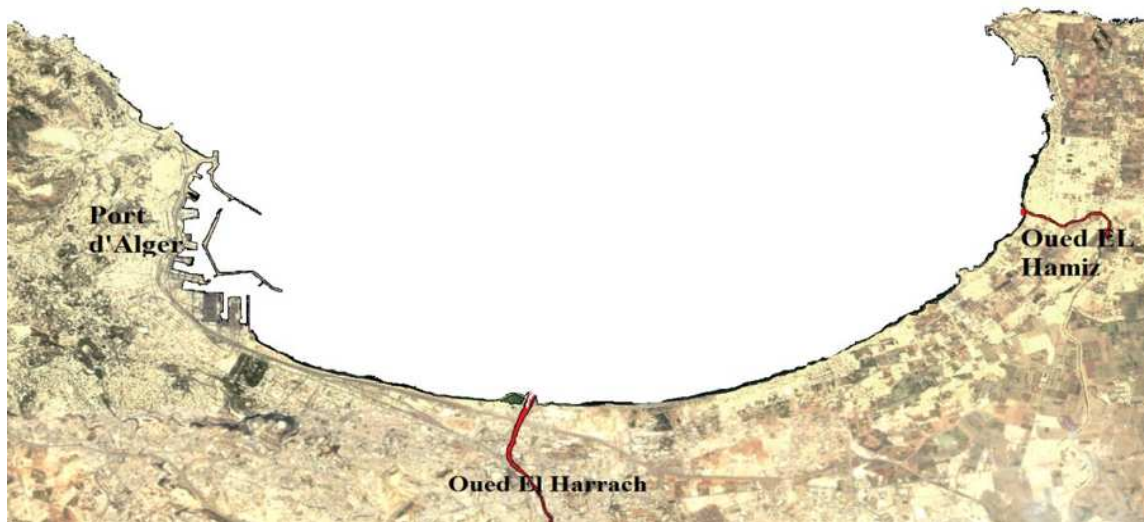


Figure (III.4): La Baie d'Alger (IKONOS-modifié)

Pour ce fond de carte, l'image satellitaire a été géoréférencée en coordonnées géographiques dans le système géodésique WGS84 par l'utilisation du module de géoréférencement de QGIS. Pour cela, nous avons choisis cinq points d'appui de façon à pouvoir les identifier sur une image satellitaire Google Earth, puis nous avons relevé leurs coordonnées géographiques. Le géoréférencement consiste par la suite à transformer l'image satellitaire dans un référentiel cartographique global permettant ainsi son intégration dans le SIG.

Dans notre projet, les principales données géospatiales sont les stations de mesures et les stations à estimer, par conséquent elles ont été représentées par des objets points.

III.6.3.2. Entrée des données des campagnes en mer :

L'acquisition des données issues des campagnes en mer s'est faite par la conversion des Fichiers Excel récupérés en couches géospatiales dans le système géodésique adéquat (Fig. III.4) et ce, par l'utilisation de la fonction « Ajouter texte délimité » de QGIS. La couche géospatiale obtenue a ainsi deux composantes :

- Une composante graphique représentant la localisation géographique des stations de mesure obtenue à partir des coordonnées géographiques figurant dans le fichier Excel ;
- Une composante sémantique représentant les informations attributaires (paramètres) récupérées à partir du fichier Excel.

Cependant, ces couches géospatiales ont été structurées par année de la façon suivante :

- Num-station: identifiant ; numéro unique, de la station de mesure;
- X: longitude en degré décimal de la station;
- Y : latitude en degré décimal de la station;
- T : température en °C;
- S : salinité en PSU;
- pH: potentiel d'hydrogène ;
- OD : oxygène dissous en % (2009) et en $\mu\text{mol/Kg}$ (2011 et 2012);
- MES : matières en suspension en mg/l.

Tel que le champ station est un entier et les champs X, Y, T, S, pH, OD, MES sont des réels (Fig.III.5)

	num-stations	X	Y	T	pH	OD	MES	S
0	1	3.05	36.818	15.2	8.21	92	28	36.8
1	2	3.058	36.835	14.85	8.3	96	25	36.95
2	3	3.068	36.815	14.85	8.3	96	13	36.8
3	4	3.068	36.801	15.2	8.21	72	19	36.8
4	5	3.101	36.816	15.55	8.3	96	22	37.1
5	6	3.101	36.801	15.55	8.12	88	13	36.65
6	7	3.1	36.781	15.55	8.12	88	25	36.65
7	8	3.095	36.764	15.55	8.12	92	13	36.2
8	9	3.099	36.755	15.55	8.3	92	19	36.8
9	10	3.117	36.834	14.85	8.3	92	28	36.95
10	11	3.119	36.816	14.5	8.3	84	16	37.1
11	12	3.112	36.799	15.2	8.3	84	28	36.95
12	13	3.118	36.783	15.2	8.21	84	19	36.8
13	14	3.118	36.768	15.2	8.21	92	16	36.8
14	15	3.117	36.758	15.2	8.3	100	19	36.8
15	16	3.135	36.93	15.55	8.3	88	13	36.8
16	17	3.136	36.785	15.2	8.21	88	13	36.8
17	18	3.132	36.767	15.2	8.21	88	16	36.8
18	19	3.134	36.758	15.2	8.21	96	13	36.65
19	20	3.149	36.831	15.55	8.12	80	19	36.8
20	21	3.152	36.815	15.2	8.3	92	25	37.1
21	22	3.15	36.802	15.2	8.3	88	16	36.95
22	23	3.151	36.78	15.2	8.3	88	10	36.8
23	24	3.15	36.766	15.2	8.12	88	10	36.65
24	25	3.183	36.8	15.2	8.3	84	22	36.95
25	26	3.189	36.789	15.2	8.21	84	19	36.8
26	27	3.199	36.833	15.2	8.21	96	19	36.95
27	28	3.197	36.819	15.55	8.21	92	16	36.8
28	29	3.199	36.799	15.55	8.3	88	13	36.8
29	30	3.196	36.765	15.9	8.12	88	19	36.8
30	31	3.207	36.767	15.2	8.3	84	13	36.35

Figure(III.5) : Entré des données des compagnes en mer

III.6.3.3Intégration des stations à estimer :

Les stations choisies sont des stations virtuelles (proposées au laboratoire). Leur choix s'est fait de façon à couvrir toute la baie d'Alger, particulièrement les zones présentant des taux de pollution élevés comme le port d'Alger, l'embouchure de oued el Harrach, l'embouchure de

Oued El Hamiz, et les deux extrémités des caps (caps Matifou, et cap de rais Hamidou) et qui n'ont pas fait l'objet de mesure (Fig. III.6).

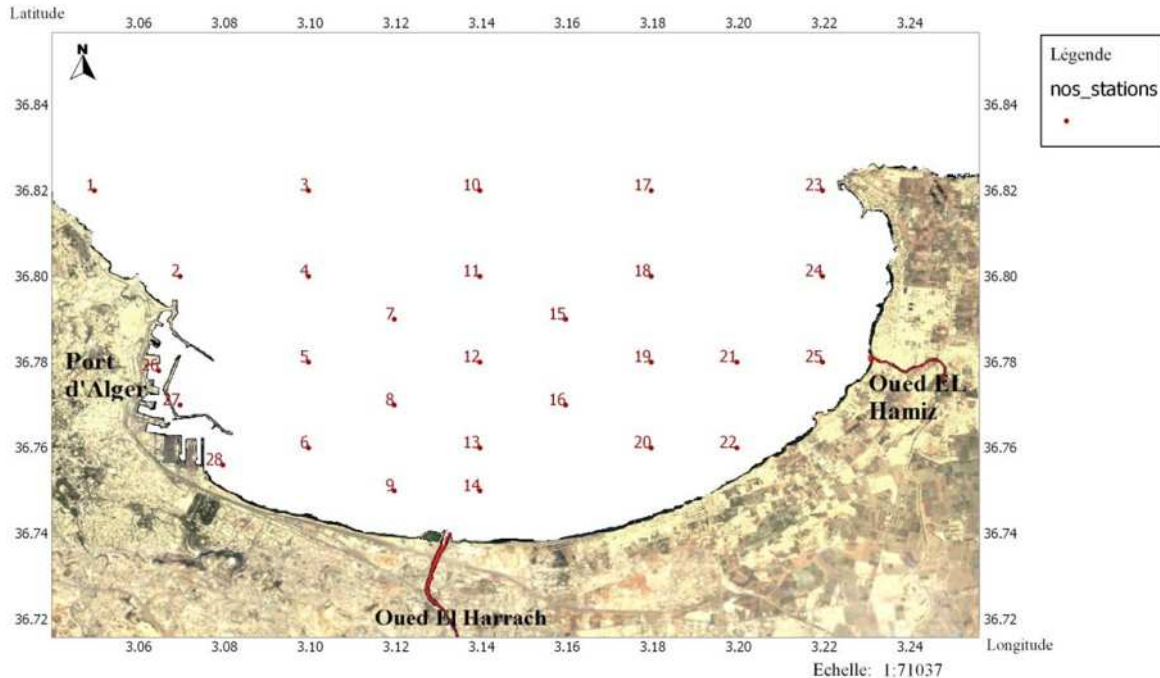


Figure (III.6) : Répartition des stations choisies sur le fond de carte

A cet effet, nous avons intégré dans le SIG trois couches de stations à estimer, une couche pour chaque année dénommée « Estimées-Année », avec exactement la même structure que les couches mesurées. Néanmoins, à cette étape, les cases relatives aux paramètres estimés ne sont pas encore renseignées.

La structure des couches des stations à estimer est donc la suivante :

- num-station: identifiant ; numéro unique, de la station de mesure;
- X: longitude en degré décimal de la station;
- Y : latitude en degré décimal de la station;
- T : température en °C;
- S : salinité en PSU;
- pH: potentiel d'hydrogène ;
- OD : oxygène dissous en % (2009) et en $\mu\text{mol/Kg}$ (2011 et 2012);
- MES : matières en suspension en mg/l.

Tel que le champ station est un entier et les champs X, Y, T, S, pH, OD, MES sont des réels (Fig. III.7).

stations	X	Y	T2011	S2011	pH2011	MES2011
1	3.05	36.82	NULL	NULL	NULL	NUL
2	3.07	36.8	NULL	NULL	NULL	NUL
3	3.1	36.82	NULL	NULL	NULL	NUL
4	3.1	36.8	NULL	NULL	NULL	NUL
5	3.1	36.78	NULL	NULL	NULL	NUL
6	3.1	36.76	NULL	NULL	NULL	NUL
7	3.12	36.79	NULL	NULL	NULL	NUL
8	3.12	36.77	NULL	NULL	NULL	NUL
9	3.12	36.75	NULL	NULL	NULL	NUL
10	3.1	36.82	NULL	NULL	NULL	NUL
11	3.14	36.8	NULL	NULL	NULL	NUL
12	3.14	36.78	NULL	NULL	NULL	NUL
13	3.14	36.76	NULL	NULL	NULL	NUL
14	3.14	36.75	NULL	NULL	NULL	NUL
15	3.16	36.79	NULL	NULL	NULL	NUL
16	3.16	36.77	NULL	NULL	NULL	NUL
17	3.18	36.82	NULL	NULL	NULL	NUL
18	3.18	36.8	NULL	NULL	NULL	NUL
19	3.18	36.78	NULL	NULL	NULL	NUL
20	3.18	36.76	NULL	NULL	NULL	NUL
21	3.2	36.78	NULL	NULL	NULL	NUL
22	3.2	36.76	NULL	NULL	NULL	NUL
23	3.22	36.82	NULL	NULL	NULL	NUL

Figure (III.7) : Caractéristiques des stations à estimer entrées

Dans ce qui suit, les mesures effectuées, pour chaque paramètre seront ramenées au niveau des stations virtuelles afin de permettre l'analyse et la comparaison spatiotemporelles de chaque paramètre.

III.6.4. Traitement des données:

A cette étape, notre SIG est constitué d'une donnée raster, à savoir l'image satellitaire géoréférencée faisant office de fond cartographique et de données vectorielles, notamment les couches géospatiales issues des tableaux Excel. Ces données ont été structurées de façon extensible et aussi de façon à faciliter leur traitement à savoir, la génération des grilles d'interpolation et l'extraction des courbes d'iso-valeurs.

III.6.4.1 Génération des grilles d'interpolation des données :

Le premier traitement consiste à générer une grille d'interpolation, appelée communément grid, à partir des couches géospatiales relatives aux mesures en mer.

Les grids sont une représentation raster du monde réel. Ainsi, l'espace est divisé en cellules de tailles égales localisées uniquement par trois paramètres : Coordonnées X, Y de la cellule et valeur contenu dans la cellule. En ce qui concerne ce projet, les coordonnées des cellules sont

données en coordonnées géographiques et la troisième valeur n'est autre que le paramètre estimé (Fig. III.8).

Un grid est constitué de cellules carrées espacées, régulièrement réparties sur un territoire donné. Chaque cellule possède un nœud situé au centre du point, qui représente l'estimation de la valeur d'un seul paramètre mesuré (**Pitney Bowes, 2009**).

Les grids peuvent être utilisés pour visualiser de manière efficace la tendance de l'information géographique sur un territoire, ils donnent le pouvoir de comparer et questionner mathématiquement les couches et les requêtes d'informations, créer de nouveaux grids, trier, et analyser des couches.

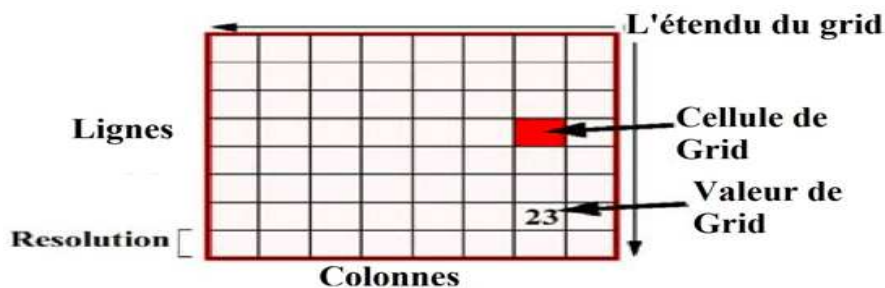


Figure (III.8) : Structure de génération d'un grid

Il est à noter que pour la génération des grids d'estimation pour chaque paramètre, il est recommandé d'avoir un nombre suffisant de stations couvrant d'une manière régulière la zone d'étude.

Il est évidemment impossible de mesurer les valeurs en tous points de l'espace, pour cela l'interpolation est la technique qui permet de donner par estimation des valeurs aux points non échantillonnés. Le processus consiste à estimer les valeurs du grid en utilisant les valeurs mesurées prises à partir d'un ou de plusieurs couches de point. Beaucoup de méthodes mathématiques peuvent être appliquées à l'interpolation des valeurs de grids, mais il n'y a aucune solution parfaite. Le choix de la méthode d'interpolation dépend des caractéristiques des données in situ (type, précision et densité) et d'autres facteurs tels que le temps de calcul (**Pitney Bowes, 2009**).

La méthode d'interpolation utilisée est celle dite de la pondération par l'inverse de la distance couramment désigné par les lettres IDW: (Inverse Distance Weighting) (Fig. III9) puisqu'elle se prête bien aux données environnementales (mesures chimiques) (**Pitney Bowes, 2009**).

Les entrées de l'algorithme sont :

- les coordonnées géographiques du coin inférieur gauche et celles du coin supérieur droit ;
- les dimensions du grid (nombre de lignes et de colonnes) ou bien la résolution du grid (taille de la cellule) ;
- le rayon de recherche.

Le principe de l'algorithme est le suivant :

- générer une grille vide dont les dimensions sont fixées par les entrées de l'utilisateur ;
- parcourir la grille de la première à la dernière cellule et à chaque fois :
 - rechercher les stations mesurées qui se trouvent à l'intérieur du cercle de recherche (Fig. III.9);
 - calculer le poids d'une station en inversant sa distance par rapport à la cellule à interpoler;
 - calculer la moyenne pondérée des mesures des stations (à l'intérieur du cercle de recherche) et l'affecter à la cellule à interpoler;

L'algorithme se poursuit jusqu'à ce que toutes les cellules du grid soient parcourues et renseignées.

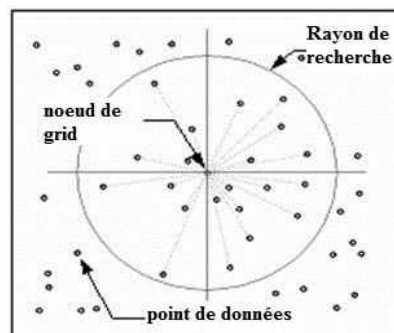


Figure (III.9) : Méthode d'interpolation IDW

Il est à noter que la taille de la cellule influe sur la taille du fichier du grid interpolé. Une petite taille de cellule génère systématiquement un grand fichier. Dans notre cas, nous avons choisi une taille de cellule en tenant en compte du niveau de résolution nécessaire, du temps de calcul, de la taille du fichier et surtout de la densité des stations. Par défaut, certains modèles prennent comme taille de cellule la diagonale de l'étendue divisée par 300.

III.6.4.2 Estimation des valeurs des paramètres de pollution:

Les valeurs des paramètres de pollution des stations à estimer sont calculées à partir des grids interpolés précédemment, pratiquement deux méthodes peuvent être utilisées :

- **Méthode manuel :** Cette méthode consiste d'abord à afficher, dans une même fenêtre graphique, paramètre par paramètre, le grid interpolé et la couche des stations à estimer. Par la suite, à l'aide de l'extension « identifier les entités » offerte par QGIS, il s'agit de récupérer la valeur du paramètre estimé et l'inscrire manuellement dans la table des données de la couche des stations à estimer.
- **Méthode automatique :** Elle consiste à utiliser l'extension « Point sampling tool » qui permet l'extraction des valeurs estimées et le remplissage des tables de données des couches à estimer d'une manière automatique.

III.6.4.3 Génération des lignes d'iso-valeurs:

A l'aide toujours des extensions proposées par Quantum GIS, il est possible de créer des contours correspondant à des lignes d'iso-valeurs de température, de salinité, de MES, de pH et d'Oxygène dissous.

Afin de mieux ressortir les différentes populations existantes dans un même ensemble de données, nous avons opté pour des distances entre courbes non égales (pas irréguliers) pour chaque paramètre, dont le but est de faciliter l'observation de l'évolution et la variation des paramètres de la pollution.

III.6.4.4 La cartographie :

A cette étape, notre projet SIG (Fig. III.10) est composé des couches suivantes :

- Les couches géographiques des stations mesurées par année (03), nommées « Mesurées-Année » ;
- Les grids interpolés, par paramètre et par année, nommés « Grid-Paramètre-Année ». Leurs nombre est de 15 ;
- Les couches des paramètres estimés par année (03), nommées « Estimées-Année » ;
- Les couches des lignes d'iso valeurs relatives à chaque paramètre et pour chaque année (15).

Le SIG étant mis en œuvre, il est possible à présent d'effectuer toutes sortes d'analyse, de cartographies et d'états.

Afin de répondre aux objectifs de notre travail, nous avons procédé à la réalisation des cartes d'estimation des différents paramètres à l'aide de l'outil de composition cartographique de QGIS.

Ce dernier offre l'avantage d'intégrer le projet SIG tel quelle dans le composeur de carte et ce, d'une manière dynamique c'est à dire que toute modification effectuée dans le SIG est systématiquement répercutée sur la carte.

En outre, il offre une large gamme d'outils permettant l'insertion et le paramétrage des éléments graphiques de la carte à savoir, le titre, l'échelle, la légende, la flèche du nord ...etc. Ceci, dans un environnement très convivial.

Une fois les cartes réalisées, elles sont soit exportées dans un format JPEG afin d'être intégrées dans un document à des fins d'impression, soit exportées dans un format Map afin d'être hébergées dans un serveur, de type Map serveur, à des fins de distribution sur le réseau internet ou intranet.

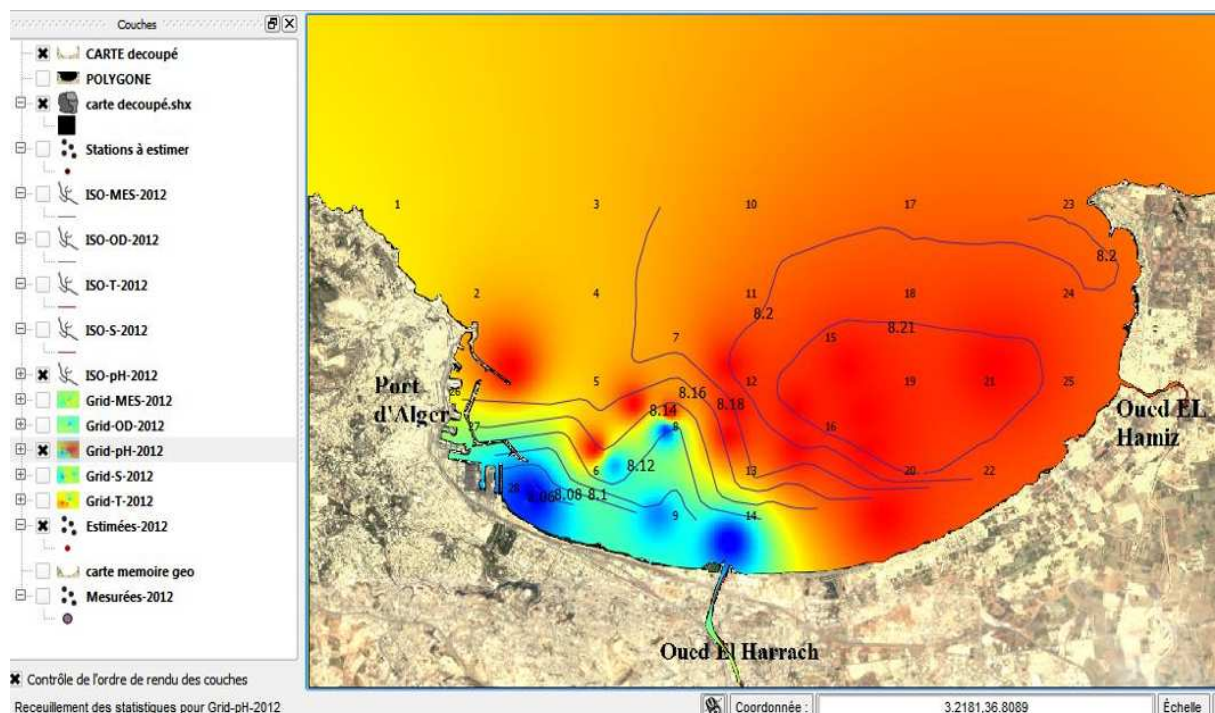


Figure (III.10): Compositions d'un projet

Chapitre VI

*Résultats et
évaluations*

IV.1.Résultats:

Le premier résultat de notre travail est la mise en œuvre d'un SIG des données de pollution marine, un produit numérique, dynamique et évolutif. La deuxième famille de résultats concerne les produits à valeur ajoutée obtenus, à savoir, les grids, les paramètres estimés des stations virtuelles et les lignes d'iso valeurs de chaque paramètre. Enfin, la troisième famille de résultats concerne les cartes d'estimation des différents paramètres élaborées à partir des données en entrée et des données à valeur ajoutée de façon à servir comme un outil d'aide à la décision, sans oublier les histogrammes et les tableaux. Le détail est présenté dans ce qui suit :

IV.1.1.La Température :

Les températures de surface des trois années (2009, 2011 et 2012) sont comprises entre un minimum de 14,960°C et un maximum de 16,499 °C, avec une moyenne de 15,729°C, et un écartype de 1,088 pour l'année 2009, un minimum de 17,76°C, et un maximum 18,8661°C avec une moyenne de 18,315°C, et un écartype de 1,088 pour l'année 2011, un minimum de 18,161°C, et un maximum de 20,218°C, avec une moyenne de 19,190°C, et un écartype de 1,455 pour l'année 2012 (Tab. IV.1).

Tableau (IV.1) : Statistiques de la température en surface de la Baie d'Alger (2009,2011 et 2012).

		2009	2011	2012
Température (°C)	Max	16,499	18,8661	20,218
	Min	14,960	17,7637	18,161
	Moy	15,729	18,315	19,190
	Ecartype	1,088	0,780	1,455

L'observation de l'histogramme des températures (Fig. IV.I), révèle que ces derniers augmentent progressivement environ 2°C entre 2009 et 2011 et 1°C entre 2011 et 2012, à l'exception de quelques stations (11, 12, 17, 18) qui contiennent des valeurs plus ou moins élevées.

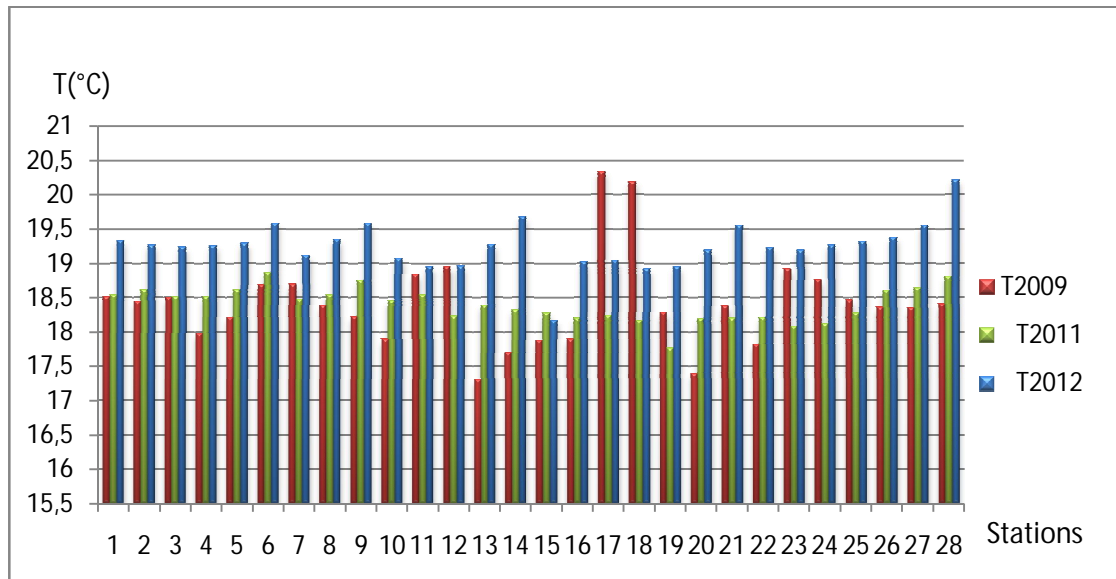


Figure (IV.1): La température en surface de la Baie d'Alger (2009,2011 et2012)

D'autre part les cartes d'estimation montrent une hétérogénéité de la répartition de température.

Ainsi, les eaux de température élevées sont situées au niveau du port en 2009 (Fig. IV.2) et à proximité du port et d'Oued El Harrach en 2012 (Fig. IV.4), en revanche, ces zones ne présentent pas des valeurs estimées significatives en 2011 (Fig. IV.3) en raison de l'absence des mesures.

La partie nord et centre de la baie, les valeurs de température estimée sont plus ou moins faibles dans toutes les cartes.

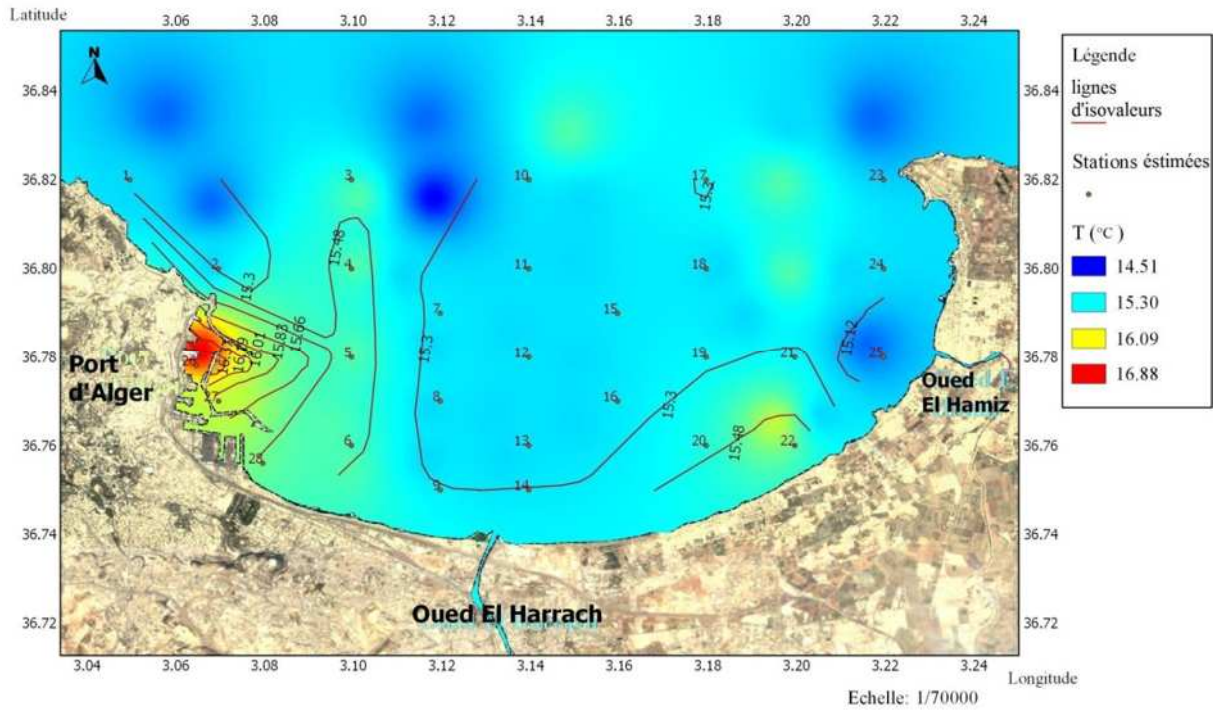


Figure (IV.2): Distribution de la température estimée en surface dans la Baie d'Alger (2009)

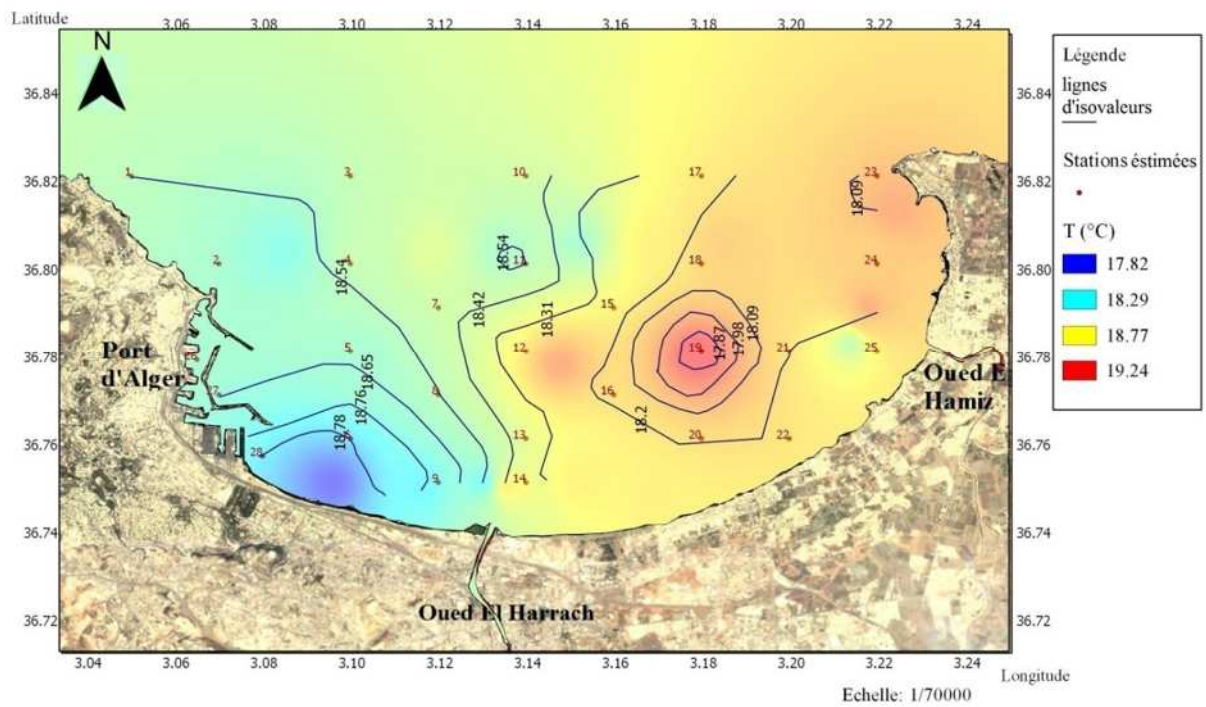


Figure (IV.3): Distribution de la température estimée en surface dans la Baie d'Alger(2011)

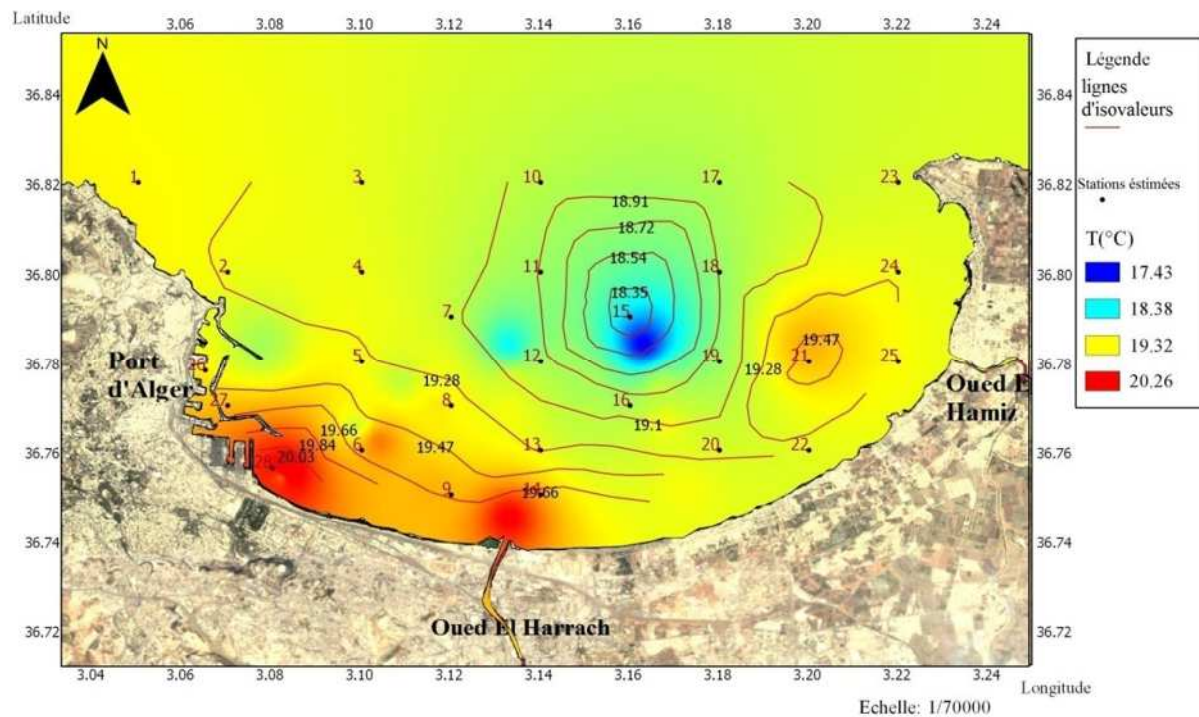


Figure (IV.4): Distribution de la température estimée en surface dans la Baie d'Alger (2012)

IV.1.2.La salinité :

Dans le cas de notre travail, nous constatons que les valeurs de la salinité sont comprises entre un minimum de 35,754 PSU et un maximum de 37,024 PSU avec une moyenne de 36,389 PSU et un écart-type de 0,898 pour l'année 2009, un minimum de 35,2739 PSU et un maximum de 35,6276 PSU avec une moyenne de 35,451PSU et un écart-type de 0,250 pour l'année 2011 .et enfin un minimum de 35,094 PSU et un maximum de 35,272 PSU avec une moyenne de 35,183 PSU et un écart-type de 0,126 PSU pour l'année 2012 (Tab. IV.2).

Tableau (IV.2) : Statistiques de la salinité estimée en surface dans la Baie d'Alger (2009, 2011 et 2012)

		2009	2011	2012
Salinité(PSU)	Max	37,024	35,6276	35,272
	Min	35,754	35,2739	35,094
	Moy	36,389	35,451	35,183
	Ecartype	0,898	0,250	0,126

L'observation de l'histogramme de la salinité (Fig. IV.5), révèle que la salinité diminue au cours des trois années. Donc la variation de ce paramètre est peu importante (1 PSU entre 2009 et 2011), et (0,5 PSU entre 2011 et 2012).

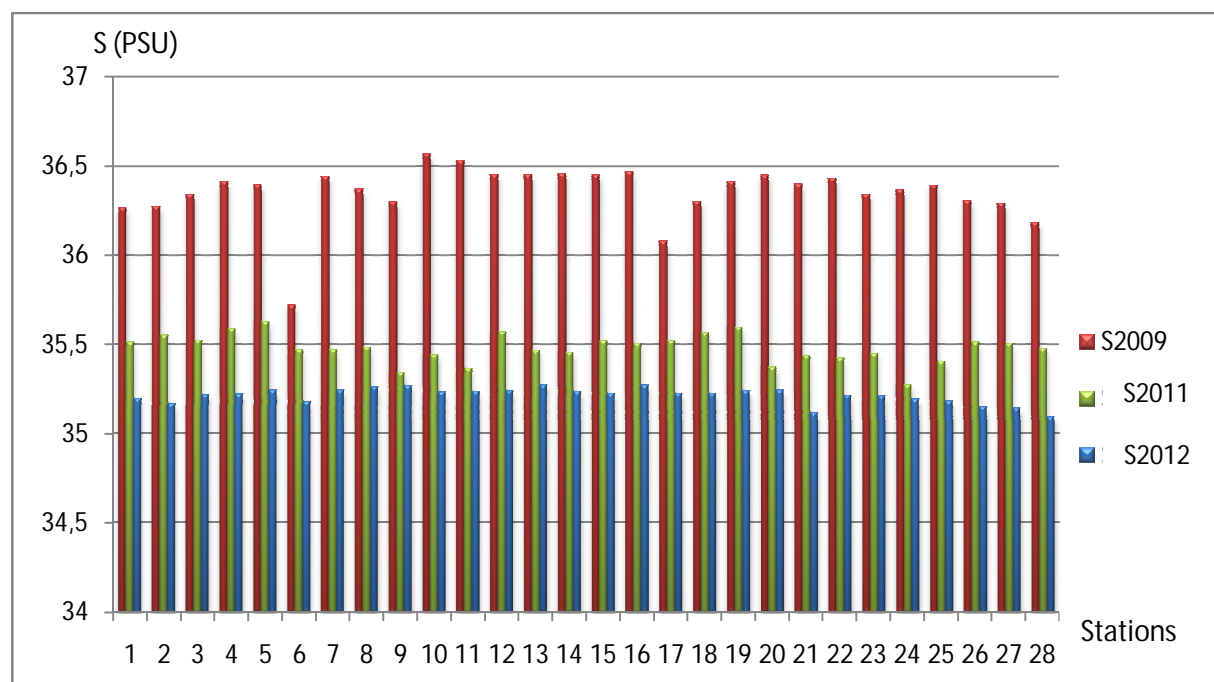


Figure (IV.5): Salinité en surface de la Baie d'Alger (2009, 2011 et 2012)

D'autre part les cartes d'estimation de la salinité des eaux en surface, montrent que les valeurs faibles (forte pollution) sont observées dans la zone proche du port en 2009 (Fig. IV.6) et à proximité d'Oued El Hamiz et d'oued el Harrach en 2011 (Fig. IV.7), ceci semble indiquer une pollution de ces eaux. En revanche, les valeurs élevées se présentent dans la zone

de résurgence côtière ainsi que la valeur intermédiaire semble couvrir la zone près de la côte et au-delà de la zone de résurgence côtière.

Les valeurs estimées au niveau du port d'Alger en 2011 (Fig. IV.7) apparaissent faible compte tenue de l'absence de mesure dans cette région, dans ce cas nous pouvons dire qu'elles ne sont pas représentatives.

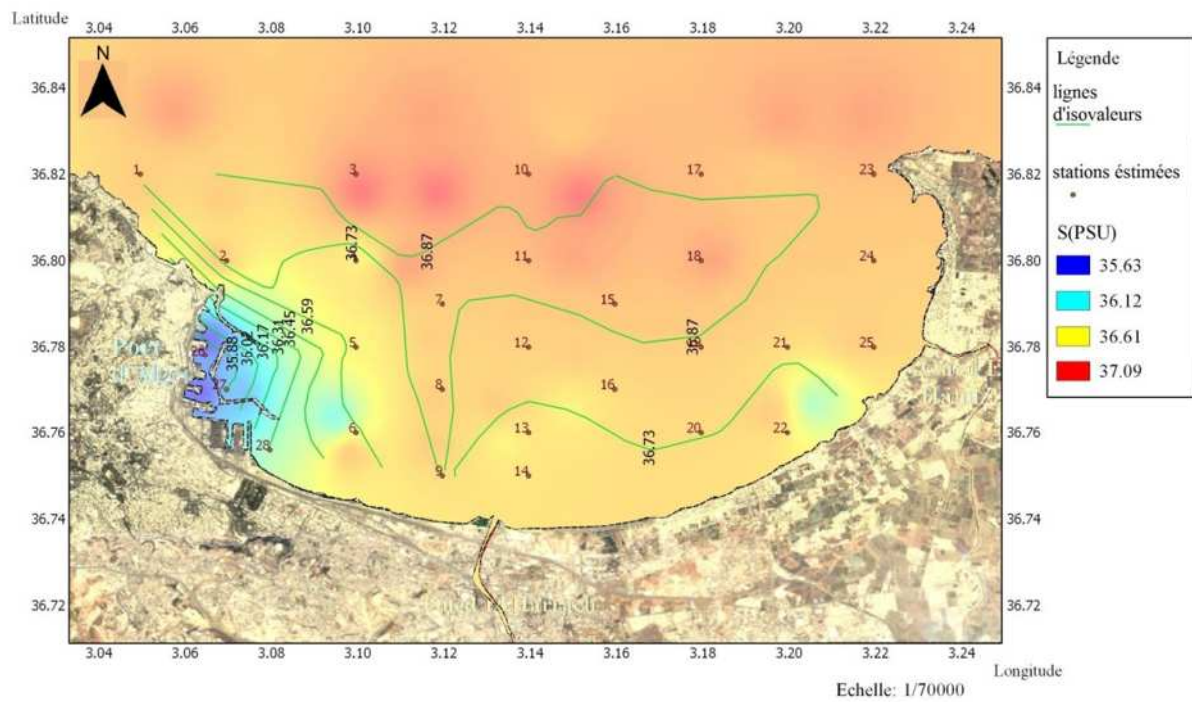


Figure (IV.6) : Distribution de la Salinité estimée en surface dans la Baie d'Alger (2009)

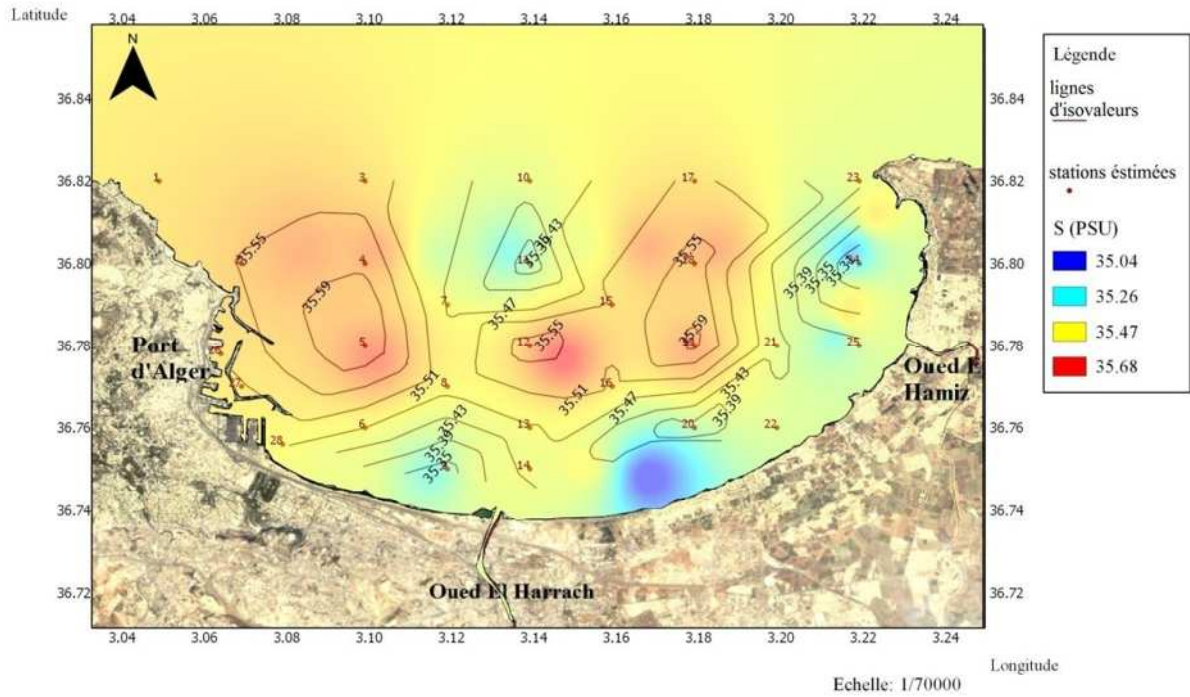


Figure (IV.7) : Distribution de la Salinité estimée en surface dans la Baie d'Alger (2011)

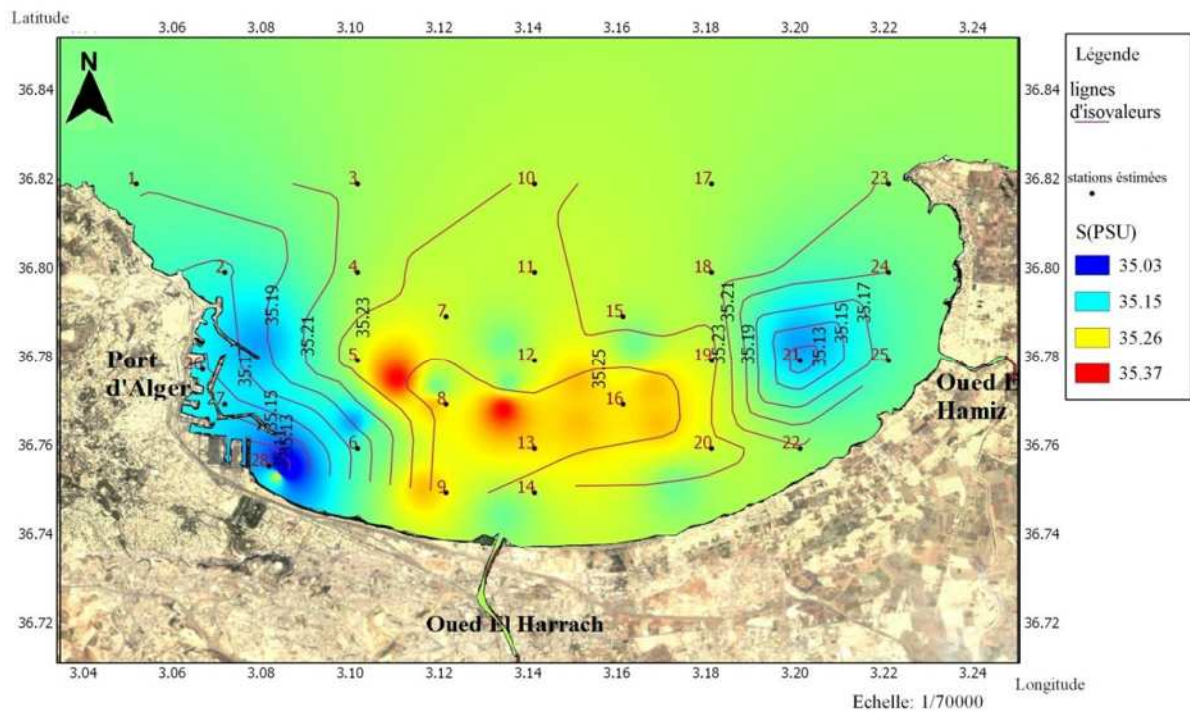


Figure (IV.8) : Distribution de la Salinité estimée en surface dans la baie d'Alger (2012)

IV.1.3. Le potentiel d'hydrogène pH :

Les valeurs du pH sont comprises entre un minimum de 7,671 et un maximum de 8,289 avec une moyenne de 7,980 et un écart-type de 0,437 pour l'année 2009. Un minimum de 8,0709 et un maximum de 8,2185 avec une moyenne de 8,145 et un écart-type de 0,104 pour l'année 2011. Un minimum de 8,043 et un maximum de 8,219 avec une moyenne de 8,131 et un écart-type de 0,124 pour l'année 2012 (Tab. IV.3).

Tableau (IV.3) : Statistiques du pH estimé en surface dans la Baie d'Alger (2009,2011 et 2012)

		2009	2011	2012
pH	Max	8,289	8,2185	8,219
	Min	7,671	8,0709	8,043
	Moy	7,980	8,145	8,131
	Ecartype	0,437	0,104	0,124

L'histogramme du pH estimé en surface de la baie montre une variation d'environ de 0,3 dans trois années (2009,2011 et 2012) (Fig. IV.9).

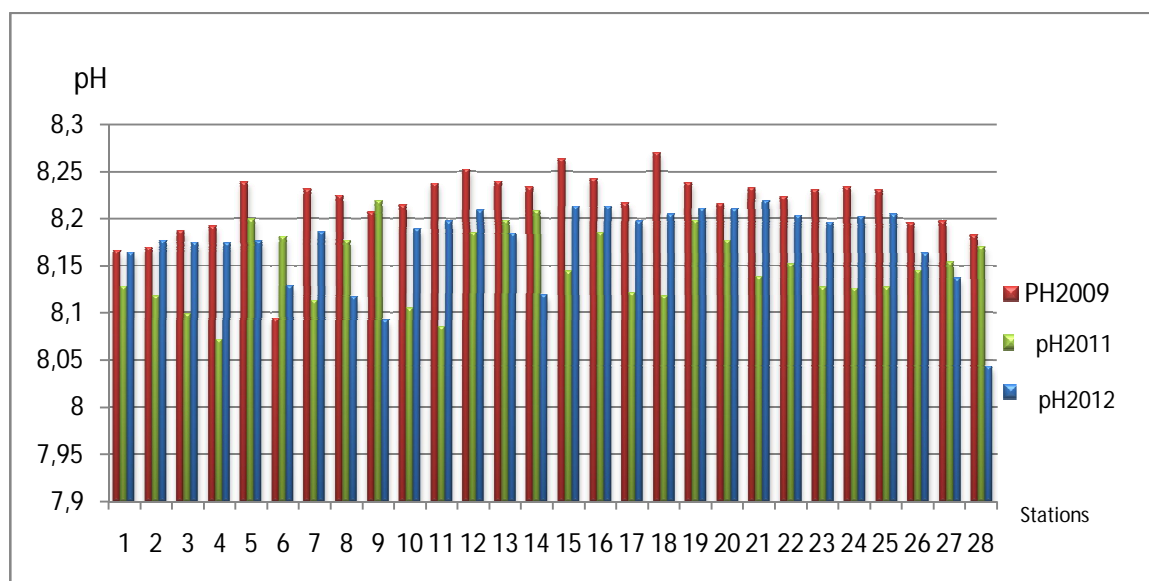


Figure (IV.9) : pH en surface de la Baie d'Alger (2009,2011 et 2012)

D'après les cartes d'estimation du pH, nous constatons que les valeurs faibles sont observées généralement dans les zones côtières et particulièrement dans la zone proche du port en 2009 (Fig. IV.10) et à proximité d'Oued El Hamiz et d'Oued El Harrach en 2012 (Fig. IV.12). Ceci semble indiquer une faible pollution contrairement aux zones de résurgence côtière les quelles renseignent des valeurs élevées, les valeurs peu faibles sont observées dans la zone près de la côte (Fig. IV.11).

- L'estimation du pH en 2011 (Fig. IV.11) révèle des valeurs faibles au niveau du port d'Alger, ces derniers n'indiquent pas les valeurs significatifs parce que les mesures de paramètres de pollution n'ont pas été effectuées.

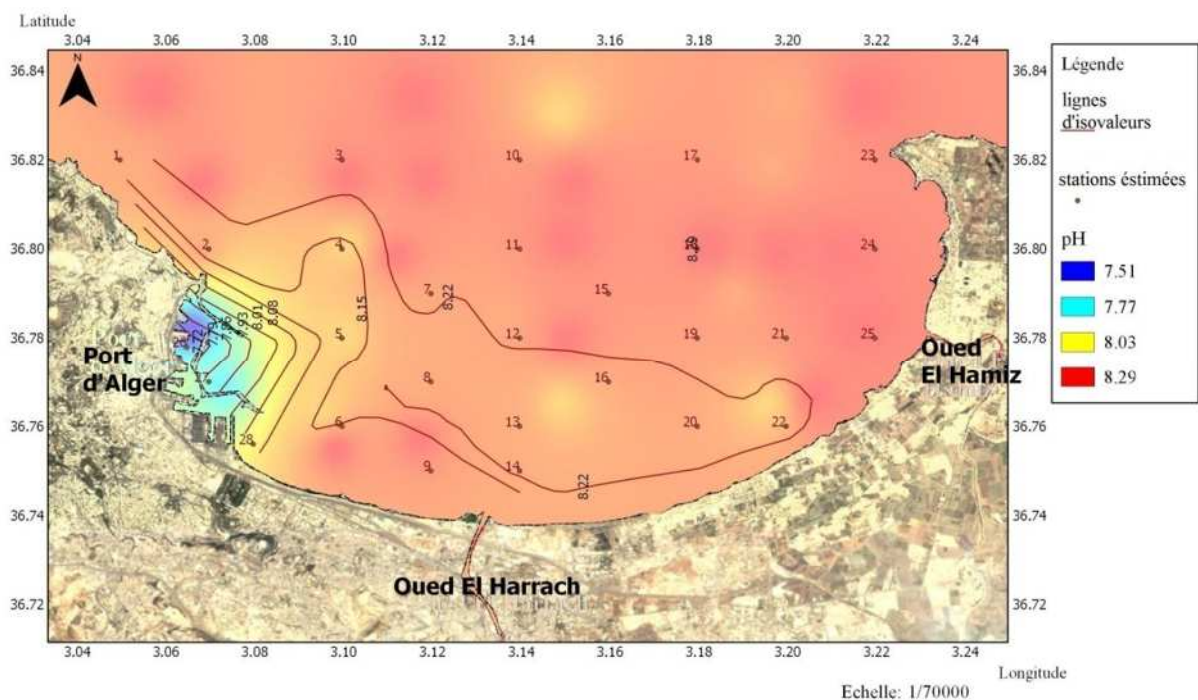


Figure (IV.10) : Distribution du pH estimé en surface dans la Baie d'Alger (2009)

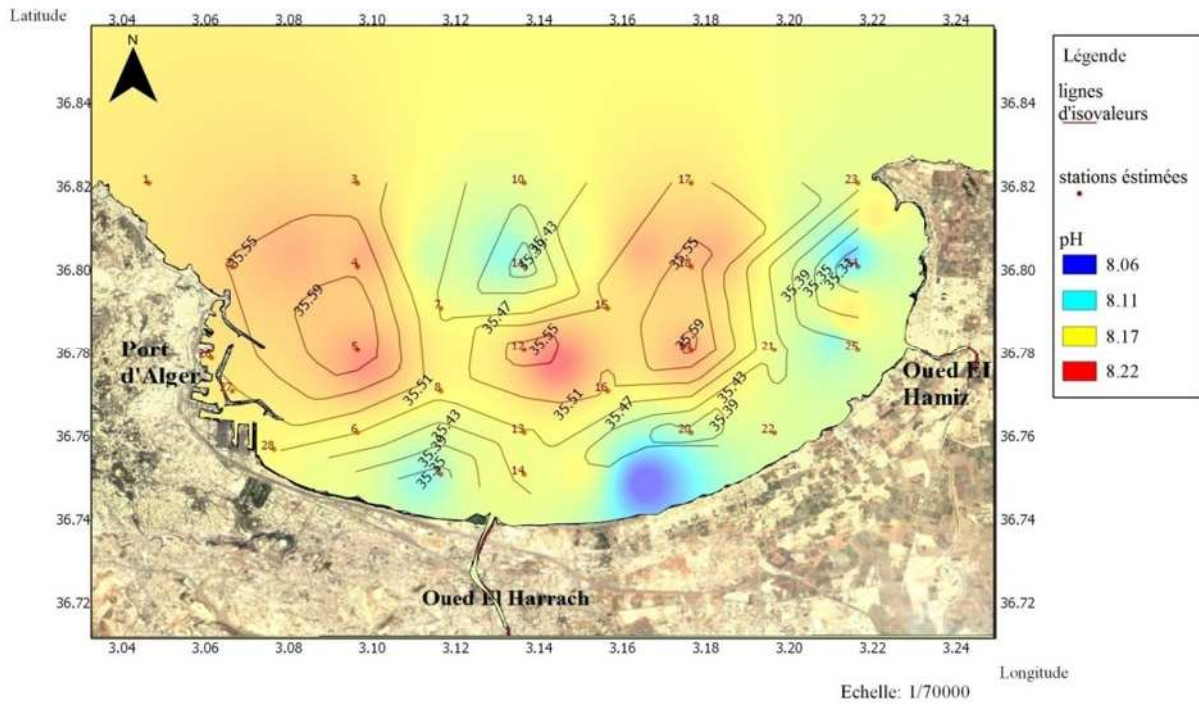


Figure (IV.11) : Distribution du pH estimé en surface dans la Baie d'Alger(2011)

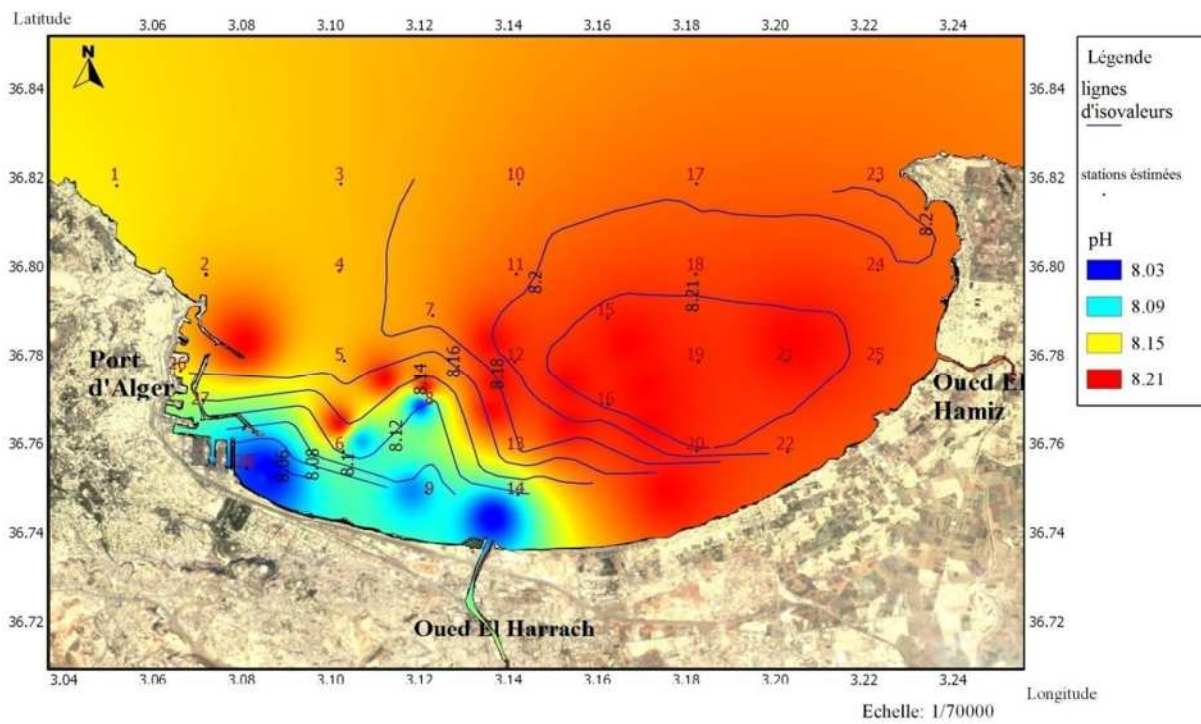


Figure (IV.12) : Distribution du pH estimé en surface dans la Baie d'Alger (2012)

IV.1.4.Oxygène dissous (OD):

Concernant l'oxygène dissous estimé au niveau de la baie d'Alger, les résultats révèlent des fluctuations assez importantes. Ces valeurs varient entre un minimum de 73,179% et un maximum de 94,118%, avec une moyenne de 83,648% et un écart-type de 14,806 pendant l'année 2009, un minimum de 136,445 $\mu\text{mol/Kg}$, un maximum 267,476 $\mu\text{mol/Kg}$ avec une moyenne de 201,961 $\mu\text{mol/Kg}$ et un écart-type de 92,653 pour l'année 2011, un minimum de 199,158 $\mu\text{mol/Kg}$, un maximum de 219,602 $\mu\text{mol/Kg}$ avec une moyenne de 209,380 $\mu\text{mol/Kg}$ et un écart-type de 14,456 pour l'année 2012 (Tab. IV.4).

Tableau (IV.4) : Statistiques de l'oxygène dissous estimée en surface dans la Baie d'Alger (2009, 2011 et 2012)

		2009	2011	2011
oxygène dissous (2009 %)) et ($\mu\text{MOL/Kg}$ 2011 et 2012)	max	94,118	267,476	219,602
	min	73,179	136,445	199,158
	moy	83,648	201,961	209,380
	Ecart-type	14,806	92,653	14,456

Les cartes de distribution de l'oxygène dissous estimé en surface dans la baie d'Alger montrent que les valeurs faibles (pollution élevée) sont localisées en face des embouchures des deux Oueds El Harrach et El Hamiz en 2009 et en 2011 (Fig. IV.13-IV.14), ces valeurs sont présentées qu'en face de Oued El Harrach en 2012 (Fig. IV.15).

L'estimation de l'oxygène dissous estimé en 2011 (Fig. IV.14) révèle des valeurs faibles au niveau du port d'Alger, ces derniers n'indiquent pas les valeurs significatifs parce que les mesures de paramètres de pollution n'ont pas été effectuées.

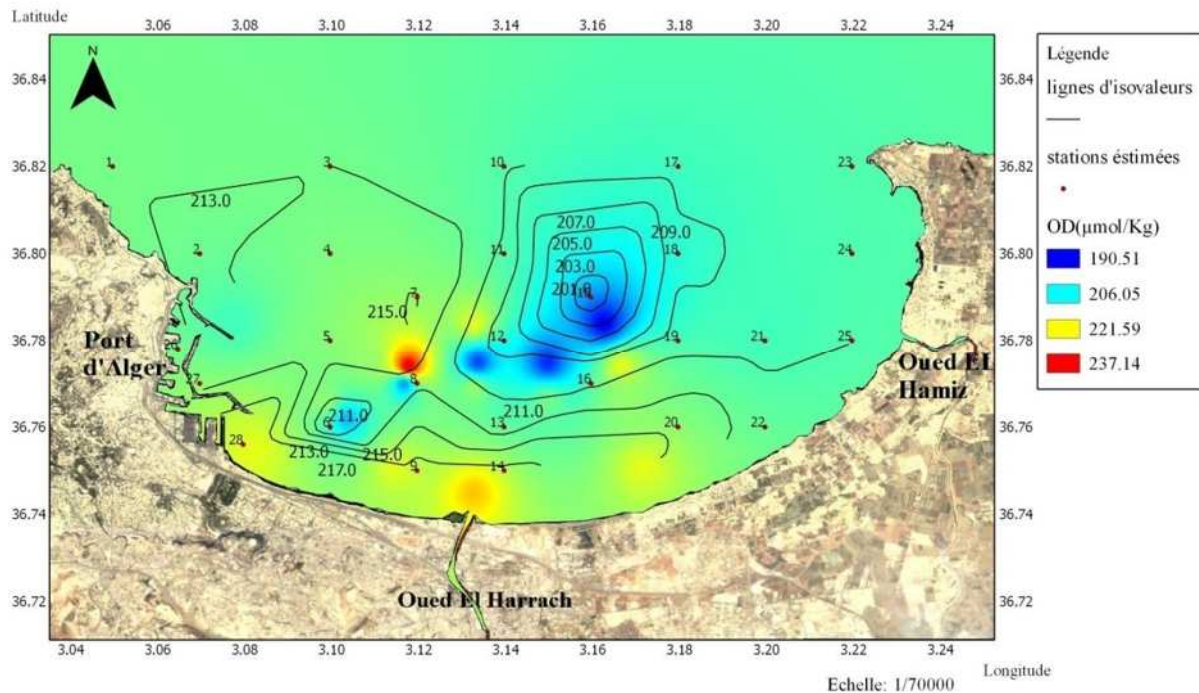


Figure (IV.15) : Distribution de l'oxygène dissous estimé en surface dans la Baie d'Alger (2012)

IV.5. Les Matières En Suspension (MES) :

Les valeurs de MES varient entre un minimum de 13,676 mg/l et un maximum de 27,463 mg/l avec une moyenne de 20,57 mg/l et un écart-type de 9,749 en 2009, un minimum de 92,176 mg/l et un maximum de 98,468 mg/l avec une moyenne de 95,311 mg/l et un écart-type de 4,434 en 2011, un minimum de 98,184 mg/l et un maximum de 102,248 mg/l avec une moyenne de 100,216 mg/l et un écart-type de 2,874 en 2012 (Tab IV.5).

Tableau (IV.5) : Statistiques des matières en suspensions estimées en surface dans la Baie d'Alger (2009,2011 et 2012)

		2009	2011	2012
Matière en (mg/l)	Max	27,4639	98,4468	102,248
	Min	13,6764	92,176	98,184
	Moy	20,5701	95,311	100,216
	Ecartype	9,7492	4,434	2,874

L'histogramme des matières en suspension (Fig. IV.16), montre de grandes fluctuations marquant les trois années.

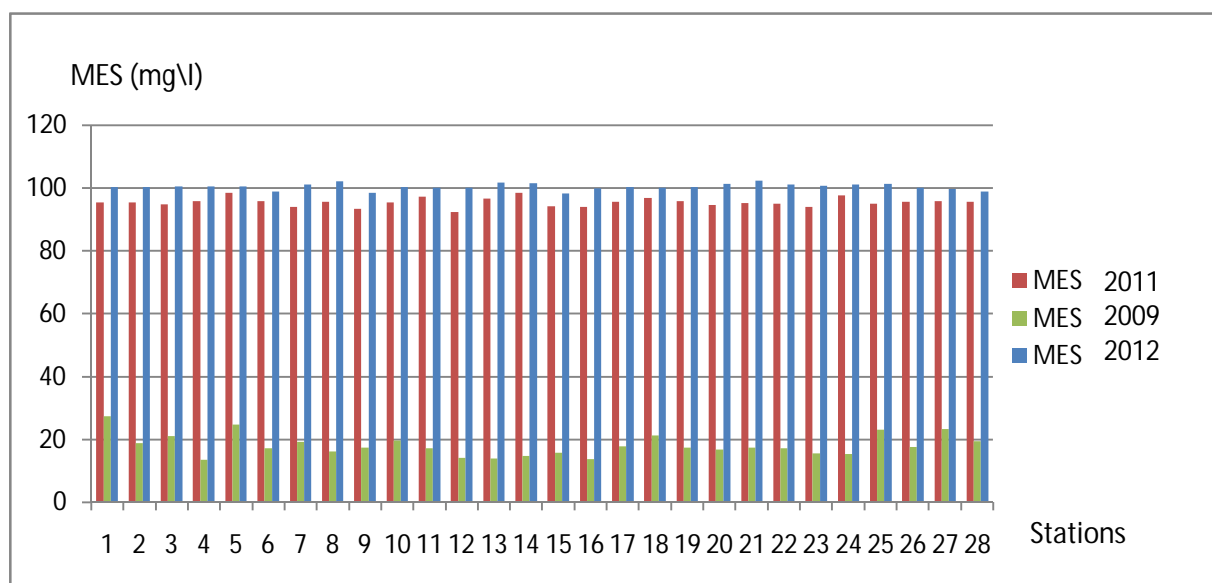


Figure (IV.16) : MES en surface de la Baie d'Alger (2009,2011 et 2012)

D'après l'analyse des cartes, nous avons constaté que les matières en suspension interpolées augmentent au fur à mesure que nous nous approchons de la côte. Les valeurs élevées sont présentes au niveau du port et les emboucheurs d'Oued El Harrach et Oued El Hamiz et ce, pour les années 2009 et 2012. (Fig. IV.17- IV.19). En revanche ces derniers ne sont constatés qu'à proximité d'Oued El Harrach en 2011 (Fig. IV.18) à cause de l'absence de mesures au niveau du port.

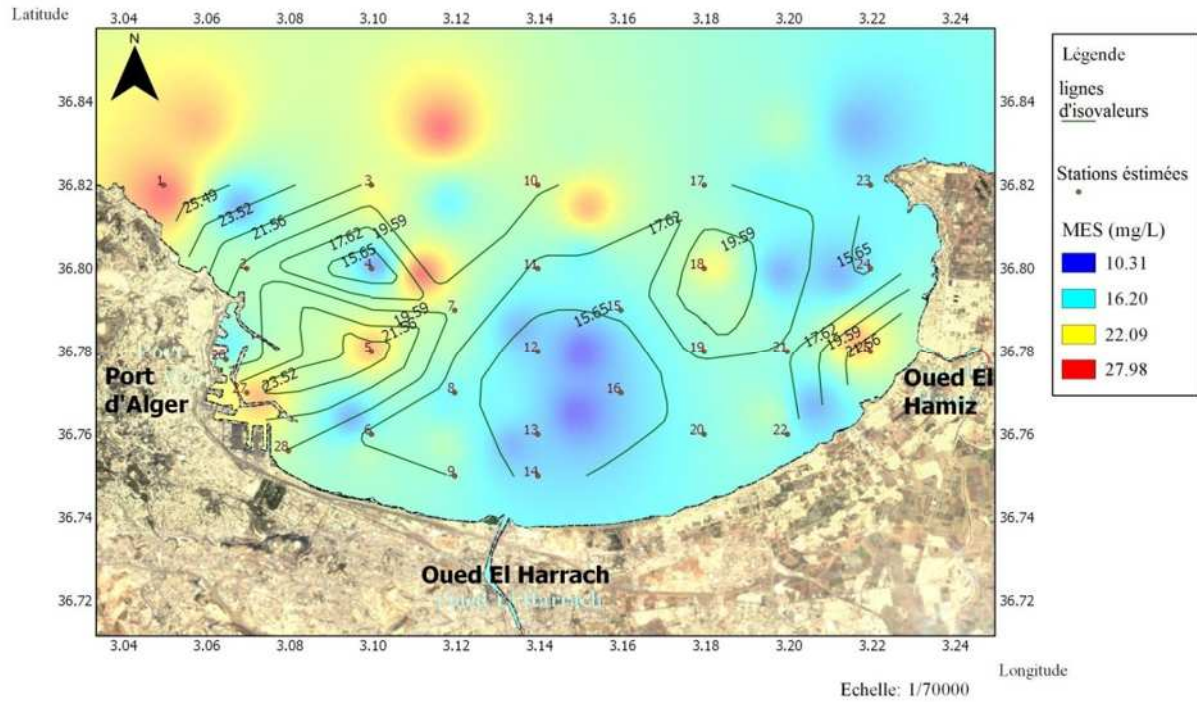


Figure (IV.17) : Distribution des MES estimés en surface dans la Baie d'Alger (2009)

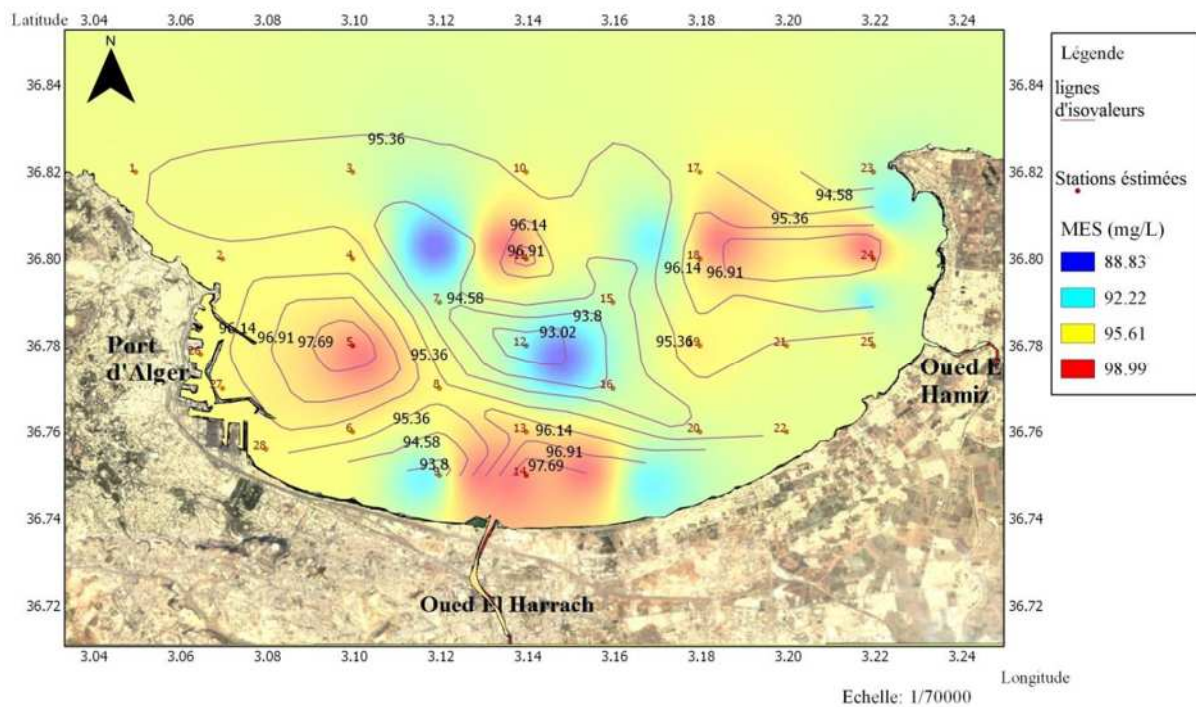


Figure (IV.18) : Distribution des MES estimé en surface dans la Baie d'Alger (2011)

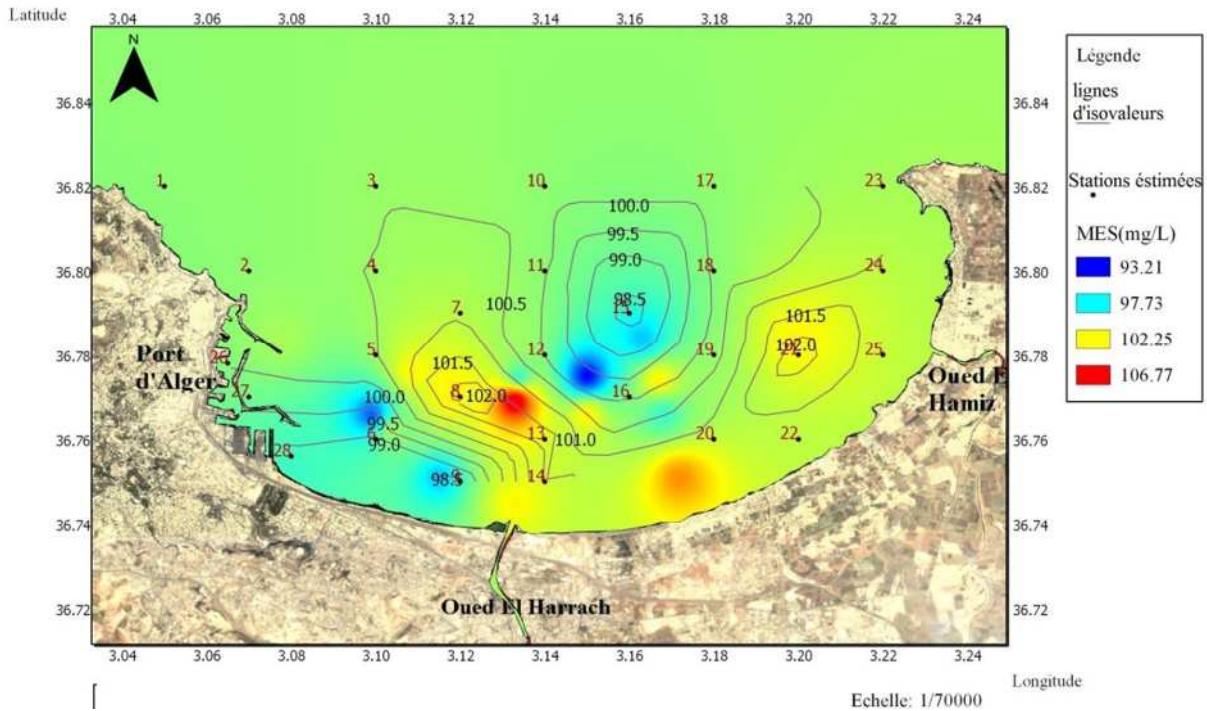


Figure (IV.19) : Distribution des MES estimé en surface dans la Baie d'Alger (2012)

IV.2. Evaluation:

Afin d'évaluer nos résultats, nous avons procédé par une évaluation qualitative suivie d'une évaluation quantitative :

IV.2.1 Evaluation qualitative :

L'évaluation qualitative consiste à utiliser la perception visuelle et la base de connaissance de l'interpréteur. L'objectif est de vérifier si les estimations, des paramètres de pollution, obtenues sont conformes à la réalité connue dans la zone d'étude. Pour ce faire, nous allons passer en revue les différents paramètres :

IV.2.1.1 Température :

La variation spatiale de la température, pourtant estimée, semble proche de la réalité est peut être due au changement climatique et des apports anthropiques déversés dans la baie d'Alger, ainsi que la distribution spatiale de ce paramètre peut dépendre des facteurs hydrodynamiques tels que les houles et les courants de surface mais aussi les facteurs météorologiques et climatiques saisonniers.

IV.2.1.2 Salinité:

D'après les résultats de la salinité estimées obtenus, nous pouvons dire que la diminution de la salinité dans la baie d'Alger peut être due au mélange plus ou moins avancé des eaux atlantiques avec les eaux locales, en outre ces résultats peuvent signaler aussi un apport en eau continentale important adoucissant en partie les eaux de la baie.

IV.2.1.3 Oxygène dissous:

La diminution de la teneur en oxygène dissous peut s'expliquer par le confinement de ce milieu dans lequel la dégradation et l'oxydation de la matière organique seraient importantes. Nous pouvons dire que l'augmentation du taux d'oxygène dissous calculé durant les années 2009,2011, 2012 est lié à l'échange entre l'atmosphère et la surface de la mer.

IV.2.1.4 Potentiel d'hydrogène:

La variation du pH au cours des trois années était conditionnée par les facteurs hydrodynamiques (les houles et les courants de surface), les facteurs météorologiques (précipitation) et les apports anthropiques provenant des embouchures des eaux usées mais aussi à l'acidification du milieu provoquée par le processus de la dégradation de la matière organique.

IV.3.1.5 Matière en suspension :

La variation des matières en suspension estimées est peut être due aux apports des eaux usées qui viennent de l'oued El Harrach et probablement à la mise en suspension des éléments fins par les houles.

IV.2.2 Evaluation quantitative:

Afin de quantifier la fiabilité de nos résultats, il est important de faire une comparaison entre les valeurs des paramètres mesurés et celles que nous avons obtenu à partir des grids d'interpolation. Pour cela, nous avons choisi de travailler sur les mesures issues de la campagne de l'année 2009 vu le nombre suffisant de stations (37).

Nous avons alors écarté 03 stations de la formation du modèle d'interpolation des différents paramètres. Par la suite, les valeurs des stations mesurées, n'ayant pas participé au calcul du modèle d'interpolation, ont été confrontées aux valeurs de ces mêmes stations relevées à partir des grids obtenus. Les résultats semblent satisfaisants (tab. IV.6).

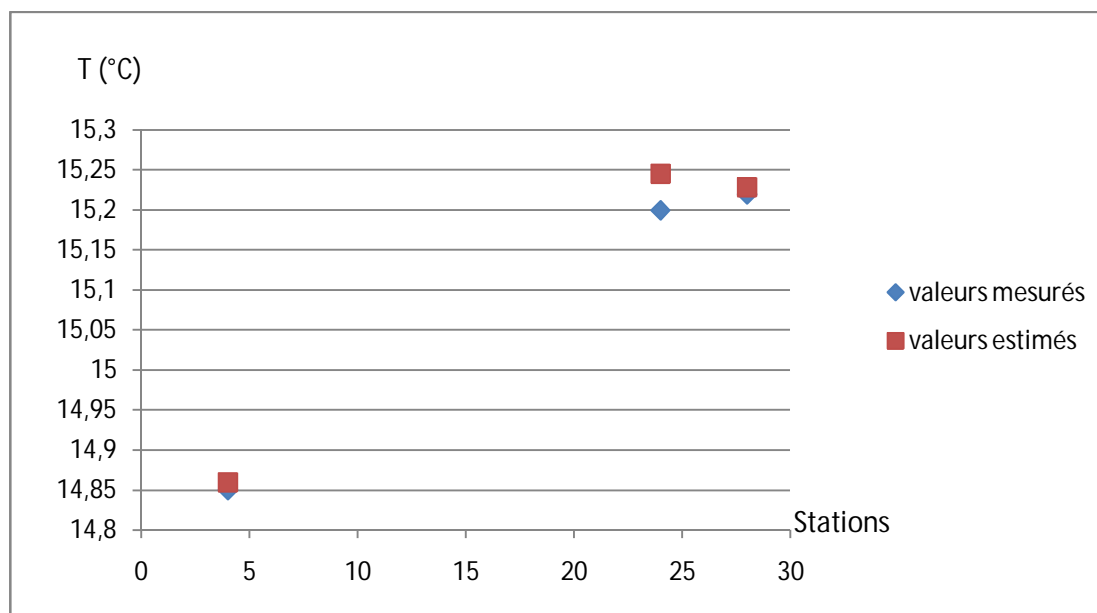
(Tableau. IV.6): Comparaison entre les stations estimées et les stations mesurées (2009) ;

Stations	MES (mg/l)			pH			OD(%)		
	mesuré	estimé	Différence	mesuré	estimé	Différence	Mesuré	estimé	Différence
4	13	12,8157	0,1843	8,3	8,2975	0,0025	96	95,8773	0,1227
24	10	10,5436	0,5436	8,12	8,1555	0,0355	88	89,4901	1,4901
28	16	15,2123	0,7877	8,21	8,2292	0,0192	92	91,1433	0,8567

Tableau (IV.7) : comparaison entre les stations estimées et les stations mesurées (2009)
(suite).

Stations	T (°C)			S (PSU)		
	mesuré	Estimé	Différence	mesuré	Estimé	Différence
4	14,85	14,8594	0,0094	36,8	36,818	0,018
24	15,2	15,2453	0,0453	36,65	36,669	0,019
28	15,22	15,2287	0,0087	36,8	36,8285	0,0285

D'autre part, les histogrammes en nuages de points (Fig. IV.20-21-22-23) relatifs aux cinq paramètres révèlent également une faible variation entre les valeurs mesurées (issues de la campagne en mer) et celles estimées (grids).

**Figure (IV.20) :** Comparaison entre les valeurs de Température mesurées et estimées

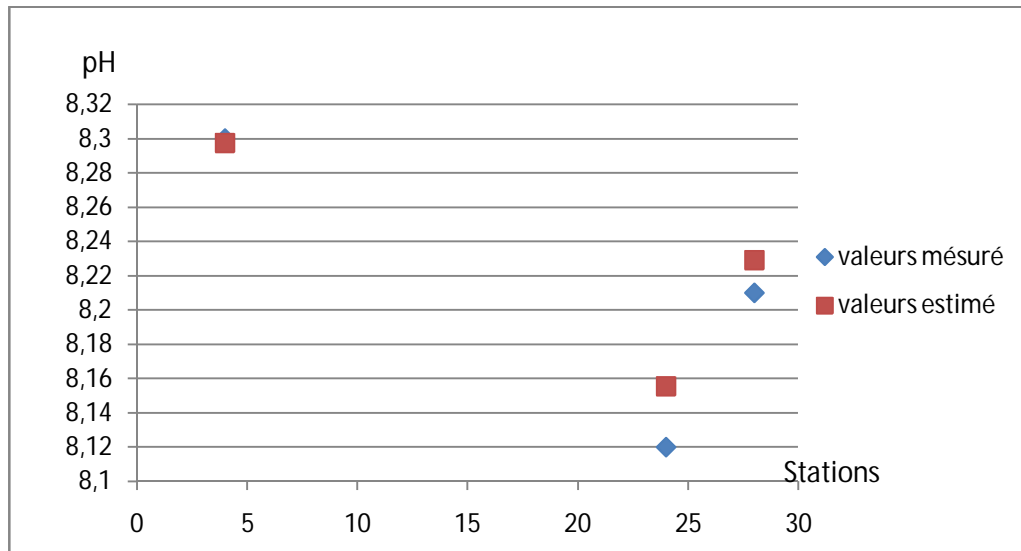


Figure (IV.21) : Comparaison entre les valeurs du pH mesurées et estimées

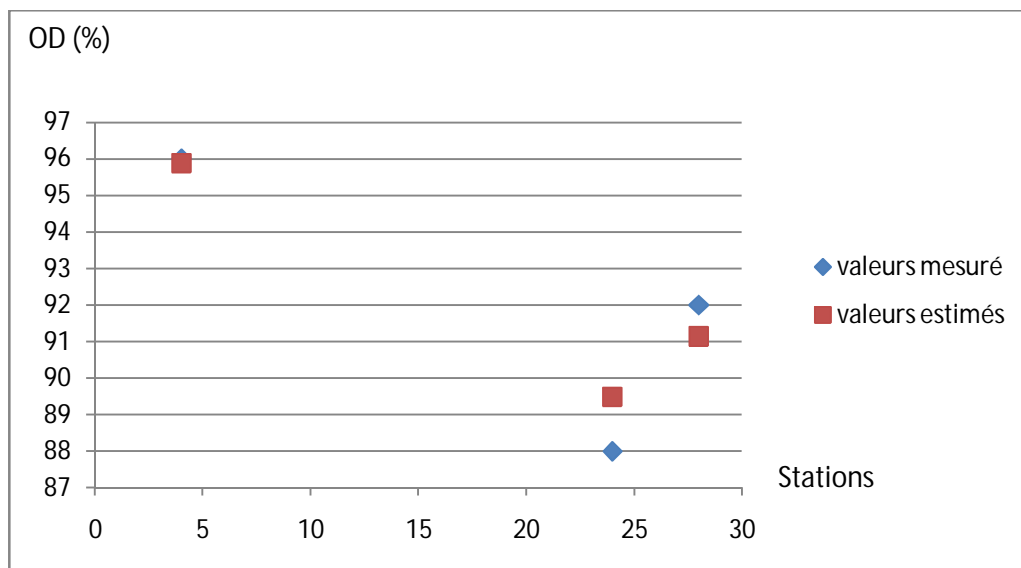


Figure (IV.22) : Comparaison entre les valeurs de l'oxygène dissous mesurées et estimées

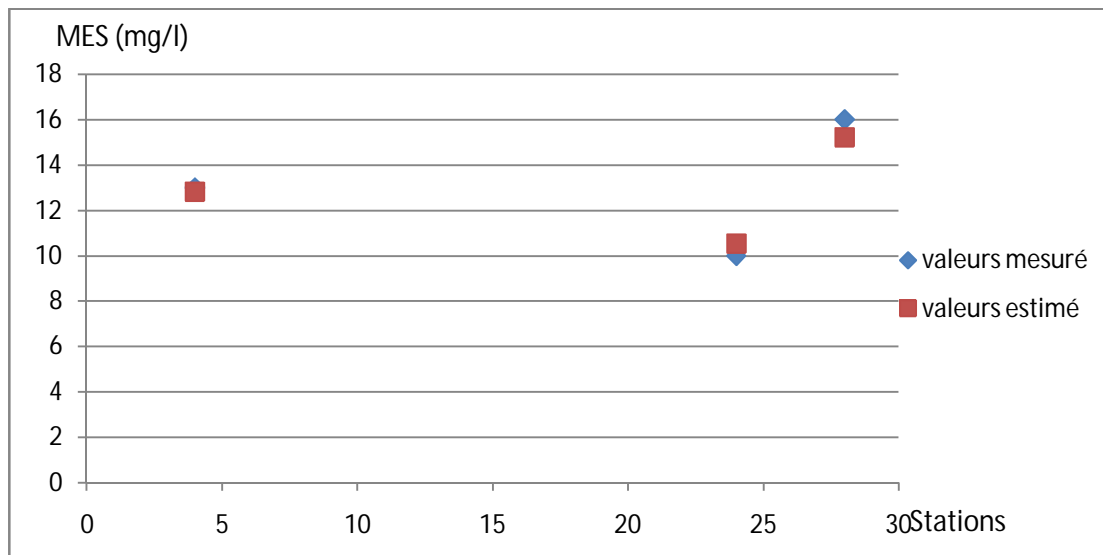


Figure (IV.23) : Comparaison entre les valeurs des matières en suspensions mesurées et estimées

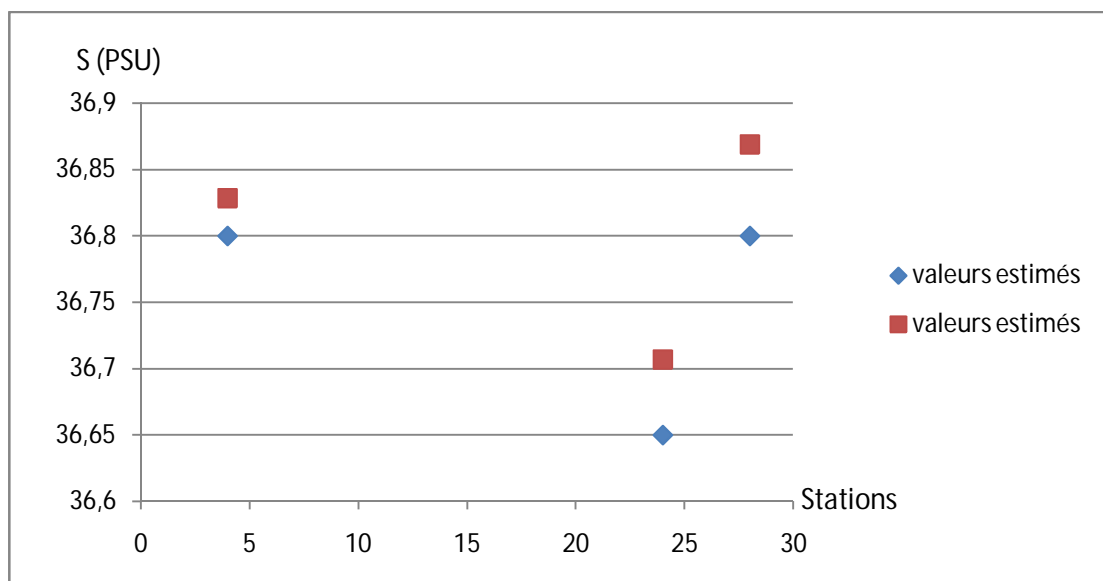


Figure (IV.24) : Comparaison entre les valeurs de la salinité mesurées et estimées

Conclusion

Conclusion :

Il y'a quelques années, la mise en œuvre d'un SIG paraissait réservée aux spécialistes, aujourd'hui les progrès informatiques et la disponibilité des logiciels ainsi que des données géo-spatiales, ont conduit à la généralisation de l'utilisation de cet outil dans toutes les spécialités notamment les sciences de la mer. La mise en place d'un SIG, quelque soient la problématique et l'étendue de la zone, reste un investissement humain financier et dans le temps.

En effet, la mise en œuvre d'un SIG nous a permis d'intégrer les couches géographiques nécessaires à la cartographie des paramètres de pollution, quel que soit leurs formes et leurs sources, dans un même environnement et dans une structure facile, évolutive, extensible et dynamique. Cette organisation en projet SIG nous a offert la possibilité d'aboutir à des produits à valeur ajoutée tel que les grilles (grids) d'interpolation des températures, de la salinité, du pH de l'oxygène dissous et des MES pour chaque campagne en mer.

Ces grilles nous ont permis de faire une interprétation spatiotemporelle de chaque paramètre sur toute l'étendue de la zone. Aussi, ils ont permis d'obtenir des produits à valeur ajoutée qui sont la couche vectorielle des estimations des paramètres de pollution au niveau des stations virtuelles et les courbes d'isovaleurs des paramètres physicochimique permettant une interprétation presque immédiate de l'évolution spatiale de ces derniers dans la zone d'étude.

Par ailleurs, le SIG ainsi mis en œuvre peut être alimenté par des données de futures campagnes en mer comme il peut être stocké dans un serveur spatial et mis à la disposition des utilisateurs selon des niveaux d'accès.

Les cartes obtenues peuvent être alors analysées, archivées, imprimées, ou même exportées vers un serveur cartographique de type Map-serveur, pour une éventuelle publication sur internet.

L'interprétation des paramètres de pollution estimés conforte celle obtenue à partir des mesures issues des campagnes en mer,

Néanmoins, nous recommandons à nos camarades, futurs élèves ingénieurs de stocker les mesures issues des campagnes en mer dans des tableaux, en indiquant la position et les mesures de chaque station, et ce, afin de faciliter leurs intégration dans un SIG.

Aussi, nous recommandons fortement que la répartition des stations soit notamment au niveau des embouchures d'oueds pour une meilleure estimation des paramètres de pollution dans toute la zone.

Bibliographie

Bibliographie

AMINOT.A et KEROUEL.R, 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Éd. Ifremer, 336 p.

AMINOT.A et CHAUSSEPIED.M, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Éd. Centre National pour l'Exploitation des Océans, Brest, France, 395 p.

AISSOU.A, 1982. Contribution à l'étude des polluants métalliques chez les moules *Perna-Perna* (L) dans la région d'Alger. Mémoire de magistère en océanographie biologique, université d'Aix-Marseille II, 138 p.

AICHIUO.L, 2006. Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de baignade des deux plages de la commune de Bab El Oued : R'mila et Kittani, Mémoire d'ingénieur en environnement marin, ISMAL, 73p.

BACHARI HOUMA.F, 2009. Modélisation et cartographie de la pollution Marine et de la bathymétrie à partir de l'image satellitaire. Thèse de Doctorat en Sciences Univers Environnement, Université du Val de Marne Paris XII (France), 234p.

BACHOUCHE.S, 2010. Etude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage. Ports d'Alger et de Bouharoun, mémoire de magister ENSSMAL.

BELKESSA.R, 2005. Les ports algériens : ensablement, pollution et dragage des sédiments. Thèse de doctorat Université de Constantine.

BOZETINE.A et ZERROUKI.M, 2011: Contribution à l'étude du système des carbonates et au suivi de l'état d'eutrophisation de la Baie d'Alger en Avril 2011 mémoire d'ingénieur ENSSMAL.

BURNS.K and SALIOT.A, 1986. Petroleum hydrocarbons in the Mediterranean sea: A mass Balance. *Marine Chemistry*, 20, Elsevier Science Publishers B.V, pp.141-157.

CHARAKDJIF, DJENEDI.R et IFAIDIF, 2006. Etat du littoral de l'Est Algérois Bordj El Kiffen Et Bordj El Bahri (causes et conséquences de l'érosion). Mémoire d'ingénieur en aménagement du littoral, ISMAL. 59 p.

DJRIDI .H. et MANSOURI.T.2012. Suivi de l'état d'eutrophisation et rôle de la baie d'Alger comme source ou puits de CO₂ pour l'atmosphère mémoire d'ingénieure.

EQUINOXE N° SPECIAL, 1990. Le magazine des ressources vivantes de la mer «environnement littoral »p32 – 54.

GALAF.F, GHANNAM.S, 2003. Contribution a l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin. Mémoire d'ingénieur en agronomie, option halieutique. IAVH II. Maroc. 39p.

GAUJOUS.D, 1995.La pollution des milieux aquatiques. Edit. Lavoisier Techniques et documentation .Paris.217p.

IVANOFF.A, 1972. Paramètres physico-chimiques des eaux de mer. *Tome I, Edition :* Librairie Vuibert, 208 p.

KANKOU.M, 2004. Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie – étude en laboratoire du comportement de deux pesticides. Docteur de l'Université de Limoges, France, 159 p.

LACAZE.J-C, 1996. L'eutrophisation des eaux marines et continentales : causes, manifestations, moyens et lutte. Edition : Ellipses, 191 p.

LECLAIRE.L, 1972. La sédimentologie holocène sur le versant méridional du bassin Algéro – Balear (Précontinent algérien). Mémoire du muséum national d'histoires naturelles, nouvelle série. Tome XXIV. Ed. Du muséum : 319 p.

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

MILLOT.C, 1989. La circulation générale en Méditerranée occidentale : aperçu de nos connaissances et projets d'études. Annales de géographie, n° 459, XXVIIIe.

MITSUO YOSHIDA. Pollution d'Oued El Harrach : El Watan (Archives - 2005 - 2005-04 - 2005-04-06).

OTTMANN, F. (1965). Introduction à la géologie marine et littorale. Edition Masson, Paris. 259p.

PITNEY BOWES, 2009. Vertical Mapper user guide version 3.7.

PLAN D'AMENAGEMENT COTIER ALGEROI (PAC), 2005. Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoua Actions pilotes, plan d'action et recommandations.

RAMADE.F, 2000. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edition: Edi-science International, France, 690 p.

RODIER.J et AL, 2005. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Edition : DUNOD, 8ème édition, Paris, 1384 p.

RODIER.J et AL, 1996. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 8èmeEd. Dunod, Paris : 1383 p.

Annexes

ANNEXES

Tableau (1): Paramètres mesurés en surface de la Baie d'Alger (BACHARI, 2009)

Station	X	Y	T	pH	O2%	MES	S
1	3,05	36,818	15,2	8,21	92	28	36,8
2	3,058	36,835	14,85	8,3	96	25	36,95
3	3,0683	36,815	14,85	8,3	96	13	36,8
4	3,0684	36,801	15,2	8,21	72	19	36,8
5	3,1014	36,816	15,55	8,3	96	22	37,1
6	3,1012	36,801	15,55	8,12	88	13	36,65
7	3,1	36,781	15,55	8,12	88	25	36,65
8	3,095	36,764	15,55	8,12	92	13	36,2
9	3,0988	36,755	15,55	8,3	92	19	36,8
10	3,1166	36,8338	14,85	8,3	92	28	36,95
11	3,1186	36,8161	14,5	8,3	84	16	37,1
12	3,1122	36,7989	15,2	8,3	84	28	36,95
13	3,1181	36,7827	15,2	8,21	84	19	36,8
14	3,1182	36,7683	15,2	8,21	92	16	36,8
15	3,1174	36,7576	15,2	8,3	100	19	36,8
16	3,135	36,93	15,55	8,3	88	13	36,8
17	3,1358	36,7853	15,2	8,21	88	13	36,8
18	3,1324	36,7674	15,2	8,21	88	16	36,8
19	3,1341	36,7578	15,2	8,21	96	13	36,65
20	3,1491	36,8308	15,55	8,12	80	19	36,8
21	3,1521	36,8149	15,2	8,3	92	25	37,1
22	3,1503	36,8022	15,2	8,3	88	16	36,95
23	3,1506	36,78	15,2	8,3	88	10	36,8
24	3,1495	36,7655	15,2	8,12	88	10	36,65
25	3,1826	36,8004	15,2	8,3	84	22	36,95
26	3,1885	36,7894	15,2	8,21	84	19	36,8
27	3,1991	36,8332	15,2	8,21	96	19	36,95
28	3,1969	36,8192	15,55	8,21	92	16	36,8
29	3,1987	36,7993	15,55	8,3	88	13	36,8
30	3,1957	36,7651	15,9	8,12	88	19	36,8
31	3,2065	36,767	15,2	8,3	84	13	36,35
32	3,2175	36,8338	14,85	8,3	96	13	36,95
33	3,2164	36,783	14,85	8,3	96	25	36,8
34	3,2121	36,7989	15,2	8,3	92	13	36,8
35	3,0729	36,769	15,9	7,76	76	25	35,9
36	3,0639	36,7695	15,9	7,94	84	22	35,6
37	3,066	36,7816	16,95	7,49	72	16	35,6

ANNEXES

Tableau (2): Paramètres mesurés en surface de la Baie d'Alger (**Bouzetine et Zerouki, 2011**)

STATIONS	X	Y	T	S	Ph	OD	MES
1	3,085	36,803	18,7	35,6	8,1	220	95,5
2	3,102	36,803	18,5	35,6	8,063	225	95,9
3	3,119	36,803	18,4	35,4	8,05	215	88,5
4	3,135	36,803	18,6	35,3	8,063	210	99
5	3,152	36,805	18,6	35,45	8,1	215	95,5
6	3,169	36,804	18,25	35,6	8,098	213	92
7	3,185	36,804	18,125	35,6	8,11	210	99
8	3,218	36,803	18,126	35,2	8,125	235	99
9	3,224	36,812	18	35,5	8,125	229	92
10	3,218	36,79	18	35,5	8,125	225	92
11	3,217	36,787	18,128	35,5	8,125	224	95,5
12	3,214	36,782	18,5	35,3	8,125	20	95,5
13	3,179	36,779	17,75	35,6	8,2	240	95,9
14	3,148	36,777	18	35,7	8,23	212	88,5
15	3,102	36,777	18,62	35,65	8,21	213	99
16	3,096	36,75	19,25	35,45	8,175	190	95,5
17	3,116	36,749	18,8	35,3	8,225	190	92
18	3,13	36,75	18,75	35,45	8,224	192	99
19	3,136	36,749	18,25	35,46	8,21	295	99
20	3,153	36,751	18,25	35,48	8,2	210	99
21	3,169	36,748	18,25	35	8,2	200	92

ANNEXES

Tableau (3): Paramètres mesurés en surface de la Baie d'Alger (**Djeridi et Mansouri, 2012**)

stations	X	Y	T	S	ph	OD	MES
1	3,082	36,754	19,9	35,29	8,05	220	98,7
2	3,083	36,755	20,7	34,85	8,02	220	98,9
5	3,115	36,751	19,6	35,29	8,07	220	96,8
6	3,133	36,745	20,3	35,2	8,03	225	102,4
10	3,078	36,784	19	35,11	8,22	210	100,7
12	3,099	36,766	19,2	35,11	8,22	215	95
13	3,172	36,751	19,3	35,2	8,22	220	104,2
14	3,2	36,784	19,6	35,11	8,22	210	102,4
15	3,163	36,784	17,4	35,2	8,22	190	96,8
16	3,133	36,784	18,4	35,2	8,22	220	100,5
17	3,109	36,776	19,1	35,38	8,22	215	102,4
18	3,118	36,774	19,3	35,2	8,22	240	102,4
19	3,134	36,775	19,2	35,2	8,22	195	98,9
20	3,15	36,775	19	35,29	8,22	193	93,2
21	3,167	36,774	19,1	35,29	8,22	220	102,4
22	3,168	36,766	19,3	35,29	8,22	215	98,7
23	3,15	36,766	19,1	35,29	8,22	213	102,4
24	3,133	36,769	19,3	35,38	8,22	215	107,9
25	3,117	36,77	19,4	35,29	8,05	200	102,4
26	3,104	36,762	19,8	35,2	8,08	202	100,5

ANNEXES

Tableau (4): Estimation des paramètres de pollution en surface (2009).

Stations	X	Y	MES	T	pH	OD	S
1	3,050	36,820	27,57910	15,19870	8,20990	91,87530	36,79670
2	3,070	36,800	18,95530	15,22280	8,20079	73,17860	36,77760
3	3,100	36,820	21,32080	15,46050	8,27819	93,88780	37,02420
4	3,100	36,800	13,54990	15,53480	8,12631	87,96770	36,65980
5	3,100	36,780	24,80750	15,54580	8,12124	87,99930	36,64930
6	3,100	36,760	17,16240	15,50940	8,21311	91,35180	36,58150
7	3,120	36,790	19,24880	15,24500	8,21666	86,40470	36,79640
8	3,120	36,770	16,33430	15,21700	8,21085	91,57150	36,78600
9	3,120	36,750	17,45400	15,27110	8,23769	94,01940	36,73430
10	3,100	36,820	21,32080	15,46050	8,27819	93,88780	37,02420
11	3,140	36,800	17,21670	15,21880	8,24838	88,13030	36,86160
12	3,140	36,780	14,23010	15,22140	8,22078	88,36970	36,78470
13	3,140	36,760	14,17440	15,22270	8,20345	92,07740	36,70220
14	3,140	36,750	14,92490	15,24490	8,20597	91,80800	36,70400
15	3,160	36,790	15,85420	15,24100	8,24936	88,17030	36,82370
16	3,160	36,770	13,67120	15,24170	8,20567	88,45690	36,74110
17	3,180	36,820	17,99170	15,30330	8,24071	89,24870	36,84910
18	3,180	36,800	21,14020	15,21680	8,28907	84,73090	36,92480
19	3,180	36,780	17,56040	15,29270	8,23065	87,18770	36,79090
20	3,180	36,760	16,89100	15,39160	8,20776	88,20090	36,74710
21	3,200	36,780	17,57380	15,30340	8,24307	88,10240	36,73650
22	3,200	36,760	17,43160	15,60960	8,18435	87,37850	36,69640
23	3,220	36,820	15,79260	15,16650	8,26194	92,20630	36,85440
24	3,220	36,800	15,47380	15,21120	8,28098	91,29120	36,79730
25	3,220	36,780	22,77240	14,96020	8,28895	94,11750	36,77730
26	3,065	36,778	18,01460	16,49850	7,67084	76,11380	35,75390
27	3,070	36,770	23,40780	15,90390	7,82165	78,54860	35,88250
28	3,080	36,756	19,42220	15,63060	8,04885	85,72610	36,32400

ANNEXES

Tableau (5): Estimation des paramètres de pollution Résultats en surface (2011).

St	X	Y	OD	S	T	MES	pH
1	3,05	36,82	214,309	35,513	18,534	95,304	8,128
2	3,07	36,8	216,813	35,553	18,609	95,468	8,118
3	3,1	36,82	217,585	35,524	18,512	94,863	8,099
4	3,1	36,8	223,402	35,587	18,509	95,703	8,072
5	3,1	36,78	213,064	35,628	18,613	98,432	8,199
6	3,1	36,76	201,703	35,471	18,866	95,709	8,181
7	3,12	36,79	214,408	35,468	18,471	93,952	8,113
8	3,12	36,77	212,815	35,482	18,539	95,663	8,177
9	3,12	36,75	196,244	35,34	18,75	93,389	8,219
10	3,14	36,82	212,773	35,442	18,457	95,332	8,105
11	3,14	36,8	211,463	35,367	18,535	97,221	8,085
12	3,14	36,78	213,543	35,57	18,224	92,24	8,185
13	3,14	36,76	229,051	35,467	18,386	96,637	8,198
14	3,14	36,75	269,202	35,456	18,325	98,473	8,208
15	3,16	36,79	213,917	35,52	18,271	94,153	8,144
16	3,16	36,77	214,51	35,506	18,196	93,889	8,185
17	3,18	36,82	210,294	35,519	18,235	95,522	8,121
18	3,18	36,8	210,684	35,567	18,166	96,751	8,118
19	3,18	36,78	238,975	35,596	17,764	95,874	8,198
20	3,18	36,76	209,244	35,374	18,187	94,645	8,177
21	3,2	36,78	171,416	35,438	18,204	95,215	8,138
22	3,2	36,76	189,685	35,424	18,213	95,041	8,152
23	3,22	36,82	220,958	35,447	18,078	93,9	8,127
24	3,22	36,8	226,776	35,274	18,12	97,55	8,126
25	3,22	36,78	135,526	35,404	18,272	94,978	8,127
26	3,07	36,78	212,371	35,514	18,606	95,625	8,145
27	3,07	36,77	210,56	35,506	18,64	95,712	8,154
28	3,08	36,76	203,885	35,476	18,811	95,653	8,17

ANNEXES

Tableau (6): Estimation des paramètres de pollution en surface (2012).

St	X	Y	OD	S	T	MES	Ph
1	3,05	36,82	213,238	35,196	19,332	100,211	8,164
2	3,07	36,8	212,599	35,169	19,266	100,283	8,177
3	3,1	36,82	213,027	35,219	19,235	100,415	8,175
4	3,1	36,8	213,663	35,221	19,255	100,523	8,174
5	3,1	36,78	214,254	35,243	19,296	100,449	8,176
6	3,1	36,76	209,055	35,178	19,58	98,927	8,129
7	3,12	36,79	215,07	35,243	19,117	100,984	8,186
8	3,12	36,77	212,656	35,262	19,351	102,193	8,117
9	3,12	36,75	218,005	35,267	19,581	98,43	8,093
10	3,14	36,82	211,16	35,234	19,065	100,256	8,189
11	3,14	36,8	210,964	35,237	18,949	100,159	8,197
12	3,14	36,78	208,206	35,239	18,954	99,979	8,209
13	3,14	36,76	212,076	35,271	19,275	101,732	8,184
14	3,14	36,75	217,481	35,235	19,678	101,551	8,119
15	3,16	36,79	199,158	35,226	18,161	98,184	8,213
16	3,16	36,77	210,676	35,272	19,019	99,846	8,213
17	3,18	36,82	209,809	35,226	19,037	100,255	8,197
18	3,18	36,8	208,333	35,224	18,92	100,099	8,205
19	3,18	36,78	210,246	35,239	18,943	100,318	8,211
20	3,18	36,76	214,688	35,242	19,188	101,252	8,21
21	3,2	36,78	210,093	35,12	19,558	102,248	8,219
22	3,2	36,76	212,311	35,216	19,223	101,109	8,203
23	3,22	36,82	210,913	35,211	19,19	100,706	8,196
24	3,22	36,8	210,777	35,192	19,266	101,071	8,202
25	3,22	36,78	210,941	35,183	19,318	101,299	8,205
26	3,07	36,78	213,158	35,15	19,373	100,048	8,163
27	3,07	36,77	214,509	35,143	19,558	99,711	8,137
28	3,08	36,76	219,602	35,094	20,218	98,834	8,043

Tableau (7): Statistiques des paramètres physicochimiques estimés en surface de la Baie d'Alger (2009,2011 et 2012)

		2009	2011	2012
Température (°c)	max	16,499	18,8661	20,218
	min	14,960	17,7637	18,161
	moy	15,729	18,315	19,190
	Ecart-type	1,088	0,780	1,455
Salinité(PSU)	max	37,024	35,6276	35,272
	min	35,754	35,2739	35,094
	moy	36,389	35,451	35,183
	Ecart-type	0,898	0,250	0,126
pH	max	8,289	8,2185	8,219
	min	7,671	8,0709	8,043
	moy	7,980	8,145	8,131
	Ecart-type	0,437	0,104	0,124
Oxygène dissous (en % 2009)et ($\mu\text{mol}/\text{Kg}$ 2011et2012)	Max	94,118	267,476	219,602
	Min	73,179	136,445	199,158
	Moy	83,648	201,961	209,380
	Ecart-type	14,806	92,653	14,456
Matière en suspension (mg/l)	Max	27,4639	98,4468	102,248
	Min	13,6764	92,176	98,184
	Moy	20,5701	95,311	100,216
	Ecart-type	9,7492	4,434	2,874