

SIGLE ET ABREVIATIONS

AEE	: L'Agence Européenne pour l'Environnement
APC	: Bureau d'étude d'Architecture et du Centre Publique.
Al	: L'aluminium
As	: L'arsenic
BPC	: Les biphényles polychlorés
Ca	: Le calcium
CCMRE	: Conseil Canadien des Ministres des Ressources et de l'Environnement
Cd	: Le cadmium
CO₂	: Le dioxyde de carbone
Cr	: Le chrome
Cu	: Le cuivre
DBO₅	: La demande Biologique en Oxygène à 5 jours
DCO	: La Demande Chimique en Oxygène
DDD	: Le dichlorodiphényldichloréthane
DDT	: Le dichlorodiphényltrichloréthane
DRIRE	: La Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
FAO	: Food and Agriculture Organisation
GESAMP	: Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution
G.I.S	: Groupement d'Internet Scientifique
H₂SO₄	: L'acide sulfurique
HAB	: Harmful Algal Blooms
HCB	: L'hexachlorobenzène
HCH	: L'hexachlorocyclohexane
Hg	: Le mercure
JO	: Le Journal Officiel
L	: Litre

SIGLE ET ABREVIATIONS

MES	: Matières En Suspension
mg	: Milligramme
Mg	: Le magnésium
MISE	: Mission Inter Service de l'Eau de Lorraine
Mn	: Le manganèse
N₂	: L'azote
NaCl	: Le chlorure de sodium
Ni	: Le nickel
O₂	: L'oxygène
OFEFP	: L'Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage
Pb	: Le plomb
pH	: Le potentiel d'hydrogène
PNDA	: Plan National du Développement Agricole
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'environnement
PO₄	: Le phosphate
POP	: Les Polluants Organiques Persistants
POS	: Plan d'Occupation du Sol de Kristel
PPB	: Partie Par Milliard = 10 ⁻⁹
PPM	: Partie Par Million = 10 ⁻⁶
RFEA	: Réseau Francophone sur l'Eau et l'Assainissement
RNB	: Réseau National de Bassin
SAA	: Spectrophotomètre d'Absorption Atomique
SABARC	: Société d'Assainissement du Bassin d'Arcachon
TBT	: Le tributylétain
TDE	: Le tétrachlorodiphényléthane (synonyme de DDD)
ZET	: Zone d'Expansion Touristique

SIGLE ET ABREVIATIONS

Zn	: Le zinc
µm	: Micromètre
µg	: Microgramme
µS/cm	: Micro siemens par centimètre
[C]	: La concentration

*Listes des Figures et des
Tableaux*

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Aspects visuels de l'eutrophisation	9
Figure 2 : Schéma général de la contamination des chaînes trophiques océaniques	14
Figure 3 : Pyramide de la chaîne trophique	14
Figure 4 : Classification des rejets des eaux usées	21
Figure 5 : Circulation des eaux pluviales et les eaux usées	27
Figure 6 : Concentrations des polluants en Maroc	35
Figure 7 : Synthèse des travaux relatifs aux rejets d'eaux usées sur la côte algérienne.	36
Figure 8 : Concentrations des polluants au niveau d'Annaba	36
Figure 9 : Pollution marine au niveau du port d'Alger	36
Figure 10 : Concentrations de la DBO5 et la DCO	38
Figure 11 : Pollution marine au niveau d'Oran et Mostaganem	38
Figure 12 : Polluants présents au niveau du littoral oranais	39
Figure 13 : Polluants présents au niveau du littoral mostaganémois	39
Figure 14 : Localisation géographique de la zone d'étude	40
Figure 15 : La zone industrielle d'Arzew	40
Figure 16 : Le Port d'Oran	41
Figure 17 : Structure générale du Port d'Oran	41
Figure 18 : Site de Kristel	42
Figure 19 : Site de Bou Sfer	43
Figure 20 : Site des Andalouses	43
Figure 21 : Principales sources de la pollution industrielle des wilayas littorales	46
Figure 22 : Interface des changements des maximums des températures et des précipitations	48
Figure 23 : Variations interannuelles du régime du vent	49
Figure 24 : Circulation globale en Méditerranée	50
Figure 25 : Circulation de surface et vitesse des courants	50

LISTE DES FIGURES

Figure 26 : Localisation géographique de la zone de prélèvement	52
Figure 27 : Localisation des rejets étudiés	53
Figure 28 : Rejet d'Arzew	54
Figure 29 : Evolution de l'occupation du sol au niveau d'Arzew	55
Figure 30 : Rejet du Port d'Oran	56
Figure 31 : Evolution de l'occupation du sol au niveau du Port d'Oran	57
Figure 32 : Rejet de Kristel	58
Figure 33 : Evolution de l'occupation du sol au niveau de Kristel	59
Figure 34 : Rejet de Bou Sfer	60
Figure 35 : Evolution de l'occupation du sol au niveau de Bou Sfer	61
Figure 36 : L'Oued des Andalouses	62
Figure 37 : Evolution de l'occupation du sol au niveau des Andalouses	64
Figure 38 : Mode de prélèvement des échantillons des eaux usées	65
Figure 39 : pH mètre	66
Figure 40 : Etapes de l'analyse de l'oxygène dissous	68
Figure 41 : Conductimètre	68
Figure 42 : Matériel utilisé pour l'analyse des MES	69
Figure 43 : Analyse de la DCO	71
Figure 44 : Erlens portés à l'ébullition	74
Figure 45 : Analyse du phosphore total	75
Figure 46 : Mesure colorimétrique par un colorimètre	77
Figure 47 : Dosage des métaux lourds	81
Figure 48 : Valeurs moyennes du pH	85
Figure 49 : Valeurs moyennes de la température	86

LISTE DES FIGURES

Figure 50 : Valeurs moyennes de l'oxygène dissous	87
Figure 51 : Valeurs moyennes de la conductivité électrique	88
Figure 52 : Valeurs moyennes des matières en suspension	90
Figure 53 : Variations saisonnières des MES dans les eaux usées	91
Figure 54 : Variations saisonnières des MES dans l'eau de mer	91
Figure 55 : Valeurs moyennes de la demande chimique en oxygène	93
Figure 56 : Variations saisonnières de la DCO dans les eaux usées	94
Figure 57 : Variations saisonnières de la DCO dans l'eau de mer	94
Figure 58 : Valeurs moyennes de la demande biochimique en oxygène	96
Figure 59 : Variations saisonnières de la DBO ₅ dans les eaux usées	97
Figure 60 : Variations saisonnières de la DBO ₅ dans l'eau de mer	97
Figure 61 : Variation de degré de biodégradabilité entre les sites étudiés	98
Figure 62 : Valeurs moyennes de la matière organique	99
Figure 63 : Variations saisonnières de la MO dans les eaux usées	100
Figure 64 : Variations saisonnières de la MO dans l'eau de mer	101
Figure 65 : Valeurs moyennes du phosphore total	102
Figure 66 : Variations saisonnières du phosphore total dans les eaux usées	103
Figure 67 : Variations saisonnières du phosphore total dans l'eau de mer	103
Figure 68 : Valeurs moyennes du nitrate	105
Figure 69 : Variations saisonnières de nitrate dans les eaux usées	106
Figure 70 : Variations saisonnières de nitrate dans l'eau de mer	106
Figure 71 : Valeurs moyennes du nitrite	107
Figure 72 : Variations saisonnières de nitrite dans les eaux usées	108
Figure 73 : Variations saisonnières de nitrite dans l'eau de mer	109

LISTE DES FIGURES

Figure 74 : Valeurs moyennes de l'ammonium	110
Figure 75 : Variations saisonnières de l'ammonium dans les eaux usées	111
Figure 76 : Variations saisonnières de l'ammonium dans l'eau de mer	111
Figure 77 : Teneurs moyennes en plomb	112
Figure 78 : Variations saisonnières du plomb dans les eaux usées	113
Figure 79 : Variations saisonnières du plomb dans l'eau de mer	114
Figure 80 : Teneurs moyennes en zinc	115
Figure 81 : Variation saisonnières du zinc dans les eaux usées	116
Figure 82 : Variation saisonnières du zinc dans l'eau de mer	116
Figure 83 : Teneurs moyennes en cadmium	117
Figure 84 : Variations saisonnières du cadmium dans les eaux usées	118
Figure 85 : Variations saisonnières du cadmium dans l'eau de mer	118

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Principaux polluants et leurs effets	15
Tableau 2 : Problèmes environnementaux majeurs dans la zone côtière des pays méditerranéens	20
Tableau 3 : Concentrations de polluants dans les eaux usées urbaines	24
Tableau 4 : Pollution des eaux de ruissellement - origine et teneur en métaux lourds	25
Tableau 5 : Qualité moyenne des eaux pluviales	26
Tableau 6 : Normes définies par l'arrêté du 22 juin 2007	32
Tableau 7 : Evaluation de la qualité d'eau	34
Tableau 8 : Valeurs limites de certains paramètres des rejets industriels	35
Tableau 9 : Résultats des analyses effectuées sur un rejet urbain déversant dans le golfe de Bizerte	35
Tableau 10 : Résultats des paramètres analysés	82
Tableau 11 : Echelle de biodégradabilité	98

Résumé

RESUME

Ce présent travail consiste à évaluer le degré de la pollution causée par les eaux usées au niveau du littoral oranais. Cette étude est basée sur l'analyse des paramètres physicochimique, des paramètres indicateurs de pollution et le dosage des métaux lourds (Pb, Zn, Cd) sur des échantillons d'eau de mer et des échantillons d'eaux usées prélevés dans cinq sites soit : Arzew, Kristel, le Port d'Oran, Bou Sfer et les Andalouses.

Trois campagnes d'échantillonnages saisonniers ont été réalisées entre le mois de décembre 2013 et le mois de mai 2014.

Les résultats obtenus mettent en évidence des variations significatives dans les paramètres physicochimiques, paramètres indicateurs de pollution et la teneur en métaux lourds entre les échantillons des eaux usées et les échantillons d'eau de mer selon les sites de prélèvement et les saisons.

Le suivi des variations des paramètres physicochimiques donne des résultats variés mais ils sont tous dans les normes. La quantité de l'oxygène dissous est pratiquement faible dans tous les sites, surtout pour les échantillons des eaux usées ce qui signifie la présence d'une activité bactérienne plus forte au niveau des rejets étudiés.

Les résultats des paramètres indicateurs de pollution montrent la présence d'une pollution plus au moins importante au niveau des cinq sites étudiés. Les résultats obtenus sont largement supérieurs aux normes algériennes définies.

Il ressort du dosage des métaux lourds, que les sites étudiés présentent une légère contamination par les métaux. L'absence du traitement et l'exposition à long terme à ces rejets vont engendrer une pollution métallique grave au niveau de l'eau de mer.

Mots clés : Oran – eaux usées – eau de mer – pollution marine – étude saisonnière – paramètres physicochimiques – paramètres indicateurs de pollution – métaux lourds – impact biologique – impact environnemental.

ABSTRACT

The present study consists in assess level of marine pollution caused by wastewater in Oran's coast. This study is based on physicochemical parameters analysis, indicators of pollution and heavy metals (Pb, Zn, Cd) analysis in seawater and wastewater samples taken out from five areas: Arzew, Kristel, Oran's Port, Bou Sfer and Les Andalouses.

The three sampling companies are carried out seasonally between December 2013 and May 2014.

The results show significant variations in the physicochemical parameters, indicators of pollution parameters and heavy metal content in wastewater samples and seawater samples according to different areas studied and different seasons of sampling.

The monitoring of changes in physicochemical parameters shows varied results. These results are all below norms. The quantity of dissolve oxygen is practically low in all areas, especially in wastewater samples, that's mean the presence of a high microorganism's activity in the studied wastewater.

The indicators of pollution parameters results show the presence of an important pollution in the five areas studied. The obtained results are above algerien norms.

It arises of heavy metals analysis that the areas studied presents a low level of metallic contamination. Absence of treatment and explanation to this wastewater in the long term will engender a metallic pollution in seawater.

Key words: Oran – wastewater - seawater – marine pollution – seasonally study – physicochemical parameters - indicators of pollution parameters – heavy metals – biological effect – environmental effect.

ملخص

هذه الدراسة تهدف الى تقييم درجة التلوث البحري الناتج عن المياه القذرة في الساحل الوهراني. هذه الدراسة تعتمد على تحليل المعايير الفيزيوكيميائية، المعايير الدالة على التلوث و تحليل المعادن الثقيلة (الرصاص، الزنك، الكاديوم) في عينات من مياه البحر و عينات من مياه الصرف الصحي مأخوذة من خمس مناطق: أرزيو، كريستال، ميناء وهران، بوسفر و الأندلسيات.

قمنا بتنظيم ثلاث رحلات فصلية لأخذ العينات في الفترة الممتدة من ديسمبر 2013 الى ماي 2014.

النتائج المحصل عليها تظهر اختلافات كبيرة في المعايير الفيزيوكيميائية، المعايير الدالة على التلوث و المعادن الثقيلة بين عينات المياه القذرة و عينات مياه البحر حسب المناطق المدروسة و الفصول التي تمت فيها المعاينة.

دراسة الاختلافات في المعايير الفيزيوكيميائية اعطت نتائج مختلفة ولكنها لا تتعدى المقاييس المعتمدة. كمية الأكسجين المنحل منخفضة في كل المناطق المدروسة في عينات المياه القذرة مما يدل على وجود نشاط بكتيري مهم.

نتائج تحليل المعايير الدالة على التلوث تبين تلوث المناطق المدروسة. هذه النتائج مرتفعة جدا مقارنة بالمقاييس الجزائرية المعتمدة.

تحليل المعادن الثقيلة يظهر أن المناطق المدروسة تحتوي على نسبة قليلة من التلوث بالمعادن الثقيلة. عدم التصفية و التعرض لهذه المياه القذرة سيسبب على المدى الطويل تلوثا خطيرا على مستوى مياه البحر.

الكلمات المفتاحية: وهران - المياه القذرة - مياه البحر - التلوث البحري - دراسة فصلية - المعايير الفيزيوكيميائية - المعايير الدالة على التلوث - المعادن الثقيلة - التأثير البيولوجي - التأثير البيئي.

Table des Matières

TABLE DES MATIERES

Sigles et abréviations	i
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	viii
Résumé	ix
Introduction générale	01

PARTIE I : LA POLLUTION MARINE

Introduction	03
1- La pollution marine	03
2- Les types de polluants	03
2.1- Les macropolluants	03
2.2- Les micropolluants	03
3- Les types de pollution	04
3.1- La pollution chimique	04
3.2- La pollution physique	04
3.3- La pollution biologique	05
4- Les différents polluants marins	05
4.1- Les métaux lourds	05
4.2- Les biocides	06
4.2.1- Les pesticides organochlorés	06
4.2.2- Le tributylétain	07
4.3- Les biphényles polychlorés	07
4.4- Les hydrocarbures	07
4.5- Les substances eutrophisantes	08
4.6- Les substances radioactives	09
4.7- Les matières en suspension	09
4.8- La pollution thermique	10
4.9- Les eaux usées	10
4.10- Les détergents	11
5- La bioaccumulation et la bioconcentration	12
5.1- Notion de biodisponibilité	12
5.2- La bioaccumulation	12
5.3- La bioconcentration	13
6- La circulation des polluants dans la chaîne trophique	13
7- L'impact des polluants sur les organismes marins	15
8- Les problèmes environnementaux majeurs en Méditerranée	17

TABLE DES MATIERES

PARTIE II : LES REJETS DES EAUX USEES

Introduction	21
1- Classification des rejets des eaux usées	21
1.1- Les rejets industriels	21
1.1.1- Les rejets des industries	21
1.1.2- Les rejets hospitaliers	22
1.2- Les rejets domestiques	23
1.2.1- Particularité des eaux usées des agglomérations littorales	24
1.3- Les eaux pluviales	24
2- Evaluation des dangers écologiques des effluents liquides	26
3- Aperçu sur la réglementation algérienne dans le domaine de la protection du milieu marin	28
4- Les normes des rejets des eaux usées	32
4.1- Les normes françaises	32
4.2- Les normes algériennes	33
5- Pollution marine dans le Grand Maghreb	34
5.1- La Tunisie	34
5.2- Le Maroc	35
5.3- L'Algérie	35
5.3.1- Annaba	36
5.3.2- Alger	37
5.3.3- Oran et Mostaganem	37

PARTIE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Introduction	40
1- Description et localisation de la zone d'étude	40
1.1- Arzew	40
1.2- Le Port d'Oran	41
1.3- Kristel	42
1.4- Bou Sfer	43
1.5- Les Andalouses	43
2- L'intérêt de choix de la zone d'étude	44
3- Les facteurs météorologiques	47
3.1- Température	47
3.2- Pluviométrie	47
3.3- Régime des vents	48
4- Les facteurs hydrodynamiques	49
4.1- Les courants	49
4.2- Les houles	51

TABLE DES MATIERES

PARTIE IV : MATERIEL ET METHODES

Introduction	52
1- Localisation géographique de la zone de prélèvement	52
2- L'occupation de sol au niveau de la zone d'étude	53
2.1- Arzew	54
2.2- Le Port d'Oran	56
2.3- Kristel	58
2.4- Bou Sfer	60
2.5- Les Andalouses	62
3- Mode et méthode de prélèvement	64
4- Conservation des échantillons	65
5- Analyses et modes opératoires	65
5.1- Mesure des paramètres physico-chimiques	65
5.1.1- Le pH	65
5.1.2- La température	66
5.1.3- L'oxygène dissous	67
5.1.4- La conductivité électrique	68
5.2- Les paramètres indicateurs de pollution	69
5.2.1- Les matières en suspension	69
5.2.2- La demande chimique en oxygène	70
5.2.3- La demande biochimique en oxygène	72
5.2.4- La matière organique	73
5.2.5- Analyse du phosphore total	75
5.2.6- Les sels nutritifs	76
a) Le dosage de nitrate	76
b) Le dosage de nitrite	77
c) Le dosage d'ammonium	78
5.3- Les métaux lourds	79
5.3.1- Le plomb	79
5.3.2- Le zinc	79
5.3.3- Le cadmium	79

PARTIE V : RESULTATS ET DISCUSSION

Introduction	82
1- Etude qualitative	82
2- Résultats des paramètres physico-chimiques	84
2.1- Le pH	84
2.2- La température	85
2.3- L'oxygène dissous	86
2.4- La conductivité électrique	87

TABLE DES MATIERES

3- Résultats des paramètres indicateurs de pollution	89
3.1- Les matières en suspension	89
3.2- La demande chimique en oxygène	92
3.3- La demande biochimique en oxygène	95
3.4- Rapport de biodégradabilité	98
3.5- La matière organique	99
3.6- Le phosphore total	101
3.7- Les sels nutritifs	104
3.7.1- Le nitrate	104
3.7.2- Le nitrite	107
3.7.3- L'ammonium	109
4- Résultats du dosage des métaux lourds	112
4.1- Le plomb	112
4.2- Le zinc	114
4.3- Le cadmium	117
5- Evaluation de l'impact des rejets sur l'eau de mer	119
Conclusion générale	121
Références bibliographiques	123
Annexes	

*« La science est d'un goût amer à ses débuts,
mais à la fin, elle est aussi douce que le miel »*

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

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

L'intensité des activités humaines dans des régions entourant les mers fermées et semi-fermées, telles que la mer Méditerranée, a toujours eu à long terme, une forte incidence environnementale se traduisant par une dégradation côtière et maritime.

Les activités liées directement à la mer ont pris une place prépondérante, notamment dans les collectivités côtières ; cependant, elles sont tributaires de la santé et de la productivité du milieu marin. L'homme en investissant de plus en plus le milieu marin contribue à son déséquilibre. Les ressources vivantes et la biodiversité sont menacées par les pressions anthropiques en termes d'aménagement du milieu côtier, de pollution et d'exploitation.

La mer méditerranée est soumise à un problème grave de pollution dû à l'accroissement des apports anthropogéniques côtiers des 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; LAMBERT et PENOT, 1981 ; HOUMA *et al.*, 2005**)

Cependant, les zones côtières sont exposées à des énormes risques: la pression démographique où la majorité de la population mondiale est située près des côtes, la croissance des zones urbaines, associée à une expansion rapide de l'industrie et du tourisme et à une exploitation évasée des ressources marines. L'humanité a pris conscience de la fragilité de cet environnement, d'autant plus que les ressources biologiques sont souvent menacées d'où une partie importante des ressources économiques (tourisme, pêche, activités portuaires), provient des zones côtières. (**FARMER *et al.*, 1993**)

En effet, la côte occidentale algérienne est relativement polluée. Cette pollution est la combinaison de plusieurs facteurs, mais les rejets d'eaux usées non traitées représentent le facteur le plus important. Plus de 90 millions de mètres cubes d'eaux usées se déversent annuellement sur les côtes du littoral. (**HAMEL et FEKIR, 2011**)

Plusieurs auteurs (**GRIMES et BAKALEM, 1993 ; GRIMES et BOUDJAKDJI, 1996 ; BOUTIBA *et al.*, 2003 ; GRIMES, 2010**) ont montré une pollution croissante dans l'ensemble du littoral algérien, en particulier dans les zones côtières des grandes villes à l'instar du littoral oranais.

Le littoral oranais, long de 124 km, soit 1/10 du littoral national, représente ainsi un pôle d'attraction économique, touristique et industriel. Il est aujourd'hui soumis aux mêmes menaces que les autres rivages Méditerranéens : urbanisation massive, recul du trait de côte, surexploitation des ressources naturelles, pollution urbaines et industrielles. La pollution accidentelle ou chronique représente des problèmes majeurs de l'environnement au niveau du littoral de la wilaya d'Oran. (**SAHNOUN *et al.*, 2010**)

INTRODUCTION GENERALE

Toutefois, le littoral de la côte oranaise est devenu vulnérable, constituant le réceptacle privilégié des apports contaminants, provenant des fleuves, de l'atmosphère ou des émissaires des eaux usées urbaines et industrielles qui sont rejetées directement dans la mer sans aucun traitement.

Dans ce contexte, nous avons réalisé cette étude afin de diagnostiquer l'état de la pollution marine causée par les eaux usées rejetées dans la côte oranaise. Cette investigation est réalisée par l'analyse des paramètres physicochimiques, paramètres indicateurs de pollution ainsi que le dosage des métaux lourds dans les rejets bruts déversés le long du littoral oranais et dans les échantillons d'eau de mer prélevés au niveau des mêmes sites que les eaux usées.

Ce présent travail s'articule autour de 5 parties :

- **La 1^{ère} partie** : traite des différentes sources de pollution marine et leur impact sur le milieu marin méditerranéen.
- **La 2^{ème} partie** : est une synthèse bibliographique sur les différents types de rejets en eaux usées et leur impact environnemental sur le littoral, ainsi que les différents travaux réalisés au niveau du Grand Maghreb.
- **La 3^{ème} partie** : est consacrée à la description de la zone d'étude et ses caractéristiques météorologique et hydrodynamique.
- **La 4^{ème} partie** : matériel et méthodes, qui décrit la stratégie expérimentale adoptée.
- **La 5^{ème} partie** : regroupe l'ensemble des résultats obtenus, leurs interprétations et l'évaluation de l'impact des rejets étudiés sur le littoral oranais.

Enfin, nous finirons par une conclusion générale qui résume les principaux résultats et quelques perspectives visant à améliorer la situation du littoral oranais.

Partie I :

La Pollution Marine

Introduction :

La pollution marine est un problème qui touche tous les pays du monde. L'océan n'a pas de frontière et les effets de la pollution sur les écosystèmes marins et sur la santé humaines peuvent parfois se faire sentir très loin de la source de pollution.

1- La pollution marine :

Le terme de pollution marine fait l'objet d'une définition, reconnue par l'ensemble de la communauté scientifique internationale (**GESAMP,1989**), comme étant "l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans le milieu marin (y compris les estuaires) occasionnant des effets néfastes tels que des nuisances envers les ressources biologiques, des risques pour la santé de l'homme, des entraves aux activités maritimes (y compris la pêche), une altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et une dégradation des valeurs d'agrément".

2- Les types de polluants :

Le polluant, tout agent physique, chimique ou biologique dans un hydrosystème, qui y provoque, par sa concentration dans l'eau, des perturbations préjudiciables au bon équilibre de l'écosystème et en réduit les possibilités d'usages de l'eau. (**RNB, 1999**)

Le comportement dans l'environnement d'une substance est difficile à appréhender car il dépend de ses propriétés et de la nature du milieu dans lequel elle se trouve. Par exemple, sa capacité à se retrouver dans l'atmosphère dépend à la fois de son degré de volatilité et de sa solubilité dans l'eau (**RNB, 1999**). Selon **MOUCHEL et THEVENOT (2003)** on distingue :

2.1- Les macropolluants :

Ce sont des molécules naturelles qui se trouvent dans l'environnement à des concentrations différentes de celles habituellement observées, ce qui entraîne une augmentation de la cinétique des réactions biochimiques.

2.2- Les micropolluants :

Produit actif minéral ou organique susceptible d'avoir une action toxique à des concentrations infimes (de l'ordre du $\mu\text{g/l}$ ou moins).

Les micropolluants sont susceptibles de contaminer les différents compartiments eau/air/sol puisqu'ils sont directement introduits au sein même de l'écosystème.

Les mécanismes de transfert de ces polluants, depuis leur émission et les zones de traitement jusqu'aux sols, aux eaux de surface et aux eaux souterraines, font intervenir leur cycle de vie couplé au cycle de l'eau.

Par leurs propriétés intrinsèques, les micropolluants sont dangereux. L'intensité et la durée de leur présence dans les eaux (facteurs d'exposition) conditionnent le risque pour les milieux aquatiques et les écosystèmes, ainsi que pour la santé humaine.

Ces polluants, en raison même de leur impact sur le milieu, font de plus en plus l'objet d'un suivi régulier. Cependant, leur détection dans les cours d'eau est difficile, en raison de la multiplicité des substances, la variabilité des contaminations et leur très faible concentration (**RNB, 1999**).

3- Les types de pollution :

La plupart du temps, un rejet n'est jamais une source unique et les différents types de pollution sont mélangés et agissent les uns sur les autres (effets de synergie). Ainsi, un égout rejette des déchets organiques, des détergents dont certains s'accompagnent de métaux lourds (pollution chimique), des micro-organismes (pollution biologique), le tout dans de l'eau douce (pollution physique) (**GRAVEZ et BERNARD, 2006**).

3.1- La pollution chimique :

C'est une pollution due au déversement de substances chimiques telles que les hydrocarbures, les détergents, les biocides, les pesticides (DTT, Lindane,...), les métaux lourds (Pb, Cd, Hg...) (**GIS, 1996**).

De nombreuses substances de synthèse issues du génie humain ont la capacité d'engendrer des sous-produits (métabolites) encore plus dangereux comme le DDE, les dioxines. Ainsi l'Océan mondial est systématiquement pollué par des substances toxiques, même dans ses régions les plus reculées, à titre d'exemple les morues de la mer Baltique présentent des teneurs record en PCB (**VINCENT, 2006**).

3.2- La 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 d'eau douce qui fera baisser la salinité d'un lieu (par une centrale hydroélectrique), d'un rejet d'eau réchauffée ou refroidie (par une centrale électrique ou une usine de regazéification de gaz liquide), d'un rejet liquide ou solide de substances modifiant la turbidité du milieu (boue, limon, macro-déchets...), d'une source de radioactivité (**GIS, 1996 ; GRAVEZ et BERNARD, 2006**).

Cependant, le rejet de chaleur dans l'environnement constituant de nos jours une forme de pollution physique du milieu naturel capable de provoquer de vrais bouleversements, car d'un point de vue écologique, il existe un paramètre incontournable qui est la température du milieu. Or, dans certains pays industrialisés, l'augmentation de température en aval des centrales électriques peut atteindre 7 à 8°C, ce qui engendre une modification totale des communautés aquatiques et de leurs modes de fonctionnement (**VINCENT, 2006**).

3.3- La pollution biologique :

Il peut s'agir de pollution par des micro-organismes (bactéries, virus, champignons) provenant des égouts qui peuvent proliférer à leur arrivée dans le milieu marin, même s'il est vrai qu'il s'agit d'un milieu qui ne favorise pas la vie de la plupart des agents pathogènes (**GRAVEZ et BERNARD, 2006**).

Cette pollution peut résulter du rejet dans les eaux continentales ou littorales d'une grande variété de substances organiques fermentescibles d'origines diverses (effluents urbains, matières fécales, industries, élevages,...) et se traduit par une forte contamination bactériologique. Elle soulève, dans bien des cas, de redoutables problèmes d'hygiène publique: qualité des eaux potables, salubrité des plages, qui ne sont pas limités aux seuls pays du tiers monde. Cette extension incessante de la pollution microbiologique des eaux continentales et littorales a pour conséquence une recrudescence d'affections pathogènes (colibacilles, hépatites, virus entériques,...) (**VINCENT, 2006**).

Il peut également s'agir de l'introduction d'une espèce marine dans une zone où elle est normalement absente et dans laquelle elle a un impact non négligeable (ex : la caulerpe : *Caulerpa taxifolia*) (**GRAVEZ et BERNARD, 2006**).

4- Les différents polluants marins :

Il existe plusieurs types de polluants qui affectent le milieu marin et provoquent des altérations pour les espèces marines. Parmi ces polluants on distingue :

4.1- Les métaux lourds :

Les métaux lourds, aussi nommés éléments-traces métalliques, sont présents dans le milieu marin de façon naturelle et certains sont mêmes essentiels au bon fonctionnement de nombreux processus biologiques. Cependant, de trop grandes concentrations de ces métaux, principalement des métaux dits non-essentiels, peuvent s'avérer toxiques pour les organismes aquatiques (**DABY, 2006**). Les rejets industriels et domestiques, l'activité minière et les eaux d'écoulement contaminées par les engrais et les pesticides utilisés en agriculture sont autant de sources ayant contribué à l'augmentation des concentrations de métaux lourds dans le milieu marin et surtout en zone côtière (**KAISER, 2004**). Ces polluants s'accumulent principalement dans les sédiments où ils persistent indéfiniment puisqu'ils ne sont pas sujets à la décomposition bactérienne ou à toutes autres formes de dégradation (**DABY, 2006**). **D'ADAMO et al., (2008)**, dans leurs travaux portant sur la pollution du lagon de Lesina en Italie, rapportent des concentrations de métaux lourds de cent à mille fois plus élevées dans les sédiments que dans l'eau.

Les métaux lourds présents dans l'eau et dans les sédiments sont absorbés par les plantes et les animaux marins. Ceux-ci sont capables d'en éliminer une certaine partie via l'excrétion et la métabolisation mais, au-delà d'une certaine quantité, les métaux s'accumulent dans les organismes et tout au long de la chaîne alimentaire. Ils peuvent atteindre des

concentrations menaçant la survie de certaines populations naturelles et présenter des dangers pour la santé humaine (**LIEHR *et al.*, 2005**). Ceci peut même aller jusqu'à la disparition de certaines espèces intolérantes causant ainsi de profonds bouleversements dans la diversité et la structure des communautés biologiques (**BOENING, 1999**).

Dans le milieu marin, les métaux lourds qui ont retenu le plus l'attention des chercheurs en raison de leur toxicité sur les organismes et des risques qu'ils présentent pour la santé humaine sont le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le mercure (Hg), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni), l'aluminium (Al), le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et l'arsenic (As) (**KAISER, 2001**)

4.2- Les biocides :

Les biocides sont utilisés afin de protéger les récoltes ou certaines infrastructures contre l'attaque d'organismes jugés indésirables par l'homme tels les insectes, les champignons, les plantes qualifiées de mauvaises herbes, etc. Bien que la plupart des biocides soient destinés au milieu terrestre, une certaine partie de ces substances se retrouvent dans le milieu aquatique et affectent ainsi plusieurs organismes non ciblés initialement (**HELLOU *et al.*, 2009**). D'autres substances, par contre, sont délibérément introduites dans le milieu aquatique afin de protéger les navires ou les installations portuaires ou maritimes (**OEHLMANN *et al.*, 1998**).

4.2.1- Les pesticides organochlorés :

Les pesticides organochlorés sont une grande famille de pesticides utilisés en agriculture et dont la persistance dans le milieu aquatique et les effets toxiques sur la faune marine sont reconnus depuis longtemps par la communauté scientifique (**WANG *et al.*, 2008**).

Le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), l'hexachlorocyclohexane (HCH), l'hexachlorobenzène (HCB), le dieldrin, l'aldrin, l'endrin, le chlordane, l'heptachlore, le mirex et le toxaphène comptent parmi les plus tristement célèbres de ces substances et font désormais l'objet d'une interdiction d'usage dans de nombreux pays due à leur grand potentiel de contamination et de risque pour la santé humaine (**BAYEN *et al.*, 2004**; **YASUNO, 1995**).

Les pesticides organochlorés atteignent le milieu marin via le ruissellement, le transport aérien et les eaux de pluie, le plus souvent associés à des particules de sol en raison de leur caractère hydrophobe (**HELLOU *et al.*, 2009**; **KAISER, 2001**). Une fois dans le milieu marin, les pesticides entrent dans la chaîne alimentaire et s'accumulent dans les tissus graisseux des crustacés, des mollusques, des poissons et des autres organismes pour atteindre des concentrations pouvant aller jusqu'à plusieurs milliers de fois celles présentes dans le milieu ambiant (**KENNISH et RUPPEL, 1996**). Leurs effets sur ces organismes se font sentir principalement au niveau du métabolisme de ces derniers en interférant avec la consommation d'oxygène en situation de respiration aérobie (**KAISER, 2001**).

4.2.2- Le tributylétain :

Le tributylétain (TBT) est un produit de synthèse appartenant à la famille des composés organostanniques, c'est-à-dire qui possèdent au moins une liaison directe carbone-étain. Ces substances sont utilisées dans l'industrie comme biocide dans les peintures antisalissures, les pesticides, les produits pour la protection du bois et des textiles ainsi qu'en tant que catalyseurs de réactions chimiques et stabilisants dans les plastiques (OEHLMANN *et al.*, 1998). Il s'agit d'une des substances les plus toxiques à avoir jamais été délibérément introduite par l'homme dans le milieu aquatique (STALLARD *et al.*, 1987).

La principale cause de la présence TBT dans le milieu marin est son utilisation dans les peintures antisalissures pour les coques de bateaux et autres infrastructures maritimes et portuaires qui, depuis les années 1960, a été largement répandue à travers le monde (SMITH *et al.*, 2008).

4.3- Les biphényles polychlorés :

Les biphényles polychlorés (BPC) sont des polluants organiques persistants dont la très faible solubilité favorise leur accumulation dans les sédiments marins. La contamination des milieux naturels par les BPC a lieu via les percolats des sites d'enfouissement, les fuites de transformateurs, de condensateurs et de dispositifs hydrauliques ainsi que par les déversements accidentels ou illégaux et les incendies impliquant des dispositifs contenant des BPC (CCMRE, 2009). Certaines molécules sont également très volatiles et peuvent être transportées par voie atmosphérique sur de très grandes distances ce qui expliquerait en partie leur présence dans toutes les mers du globe et jusque dans l'Arctique (KUZYK *et al.*, 2003).

4.4- Les hydrocarbures :

La pollution des écosystèmes marins par les hydrocarbures est un phénomène qui soulève l'inquiétude des gouvernements nationaux et de la communauté internationale depuis de nombreuses années (ABDULLAH, 1997). Des accidents aussi spectaculaires que les grands déversements de pétrole (plus de 50 entre 1962 et 1979) et leurs effets dévastateurs sur les écosystèmes marins et côtiers n'ont pas manqué d'attirer l'attention des médias du monde entier (KAISER, 2001). Cependant, bien que ces événements soient hautement médiatisés, relativement peu de travaux portant sur les bioindicateurs d'effets de l'exposition aux hydrocarbures ont été publiés à ce jour (BURGER, 2006).

Les hydrocarbures comme le pétrole, les huiles et les graisses sont des polluants communs des écosystèmes marins côtiers. La majorité de ces hydrocarbures proviennent des activités d'exploitation, de transport et de raffinement du pétrole. Une étude coordonnée par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) a démontré que les raffineries étaient responsables de plus de 80% des rejets d'huile et de graisse dans la région des Caraïbes (SIUNG-CHANG, 1997). Cependant, une partie de ces polluants provient également des activités terrestres et leur origine se situe parfois à des kilomètres de distance des côtes affectées. En effet, on estime qu'environ 28% des rejets d'hydrocarbures de la

planète proviennent de l'essence et des huiles automobiles répandus sur la chaussée ainsi que de la disposition inadéquate ou illégale des huiles usées. Ces substances sont lessivées par les eaux de pluie et transportées vers les écosystèmes marins côtiers via les cours d'eaux. La pollution par les hydrocarbures représente un danger qui doit être pris au sérieux puisqu'elle peut causer des dommages irréparables auprès des écosystèmes marins et des populations humaines dont la qualité de vie dépend des ressources marines et côtières (**ABDULLAH, 1997**). En effet en plus de bouleverser certains écosystèmes et de causer la mort de plusieurs organismes, la pollution par les hydrocarbures peut contaminer des plages et nuire fortement à l'économie de communautés entières qui dépendent du tourisme pour survivre (**SIUNG-CHANG, 1997**).

En plus des dangers que représentent l'exploitation et le transport des hydrocarbures, une autre menace pour les écosystèmes marins provient des sous-produits issus de leur utilisation. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des molécules organiques composées d'au moins deux groupements benzènes. On compte quelques centaines de ces composés dans l'environnement qui proviennent de la combustion incomplète de la matière organique. Leur émission dans l'environnement est principalement le résultat de la combustion d'essence et d'autres combustibles fossiles par les différents engins à moteur, de l'activité des raffineries de pétrole, des déchets venant des incinérateurs et de la production de coke, d'asphalte et d'aluminium (**SROGI, 2007**). Les HAP sont reconnus, entre autres, pour leur effet mutagène sur certains organismes appartenant aux écosystèmes côtiers (**SIUNG-CHANG, 1997**). Tout comme les hydrocarbures en général, les HAP sont très peu solubles dans l'eau et tendent à s'accumuler principalement dans les sédiments et les tissus graisseux (**SROGI, 2007**) et c'est pourquoi l'utilisation de bioindicateurs issus de la macrofaune benthique et l'analyse des sédiments semblent être les meilleurs moyens d'évaluer leurs effets sur les écosystèmes à long terme (**SIUNG-CHANG, 1997**).

4.5- Les substances eutrophisantes :

Les substances eutrophisantes sont des composés chimiques comme l'azote et le phosphore qui stimulent la croissance des plantes et des algues marines. Ces nutriments sont nécessaires au fonctionnement normal des écosystèmes sains, mais ils sont dangereux à concentration élevée. Les nitrates et les phosphates proviennent des déjections animales et humaines, les résidus végétaux, des dépôts atmosphériques et du lessivage d'engrais épandus sur des terrains résidentiels et agricoles. (**BERG et al., 2009**)

En excès, les éléments nutritifs vont contribuer à la prolifération des plantes aquatiques et des algues. Bien que ces derniers constituent la base du réseau alimentaire des écosystèmes aquatiques, leur prolifération va à l'encontre de l'équilibre naturel entre producteurs et consommateurs, et engendre d'autres problèmes comme l'**eutrophisation**. (**BERG et al., 2009**)

Le terme eutrophisation désigne le déséquilibre d'un écosystème aquatique (mer, eau douce) dû à un excès de nutriments provenant des activités humaines. Il se traduit par une croissance excessive des algues et une diminution de l'oxygène dissous. (BERG *et al.*, 2009)

La figure (1) montre les aspects visuels de l'eutrophisation

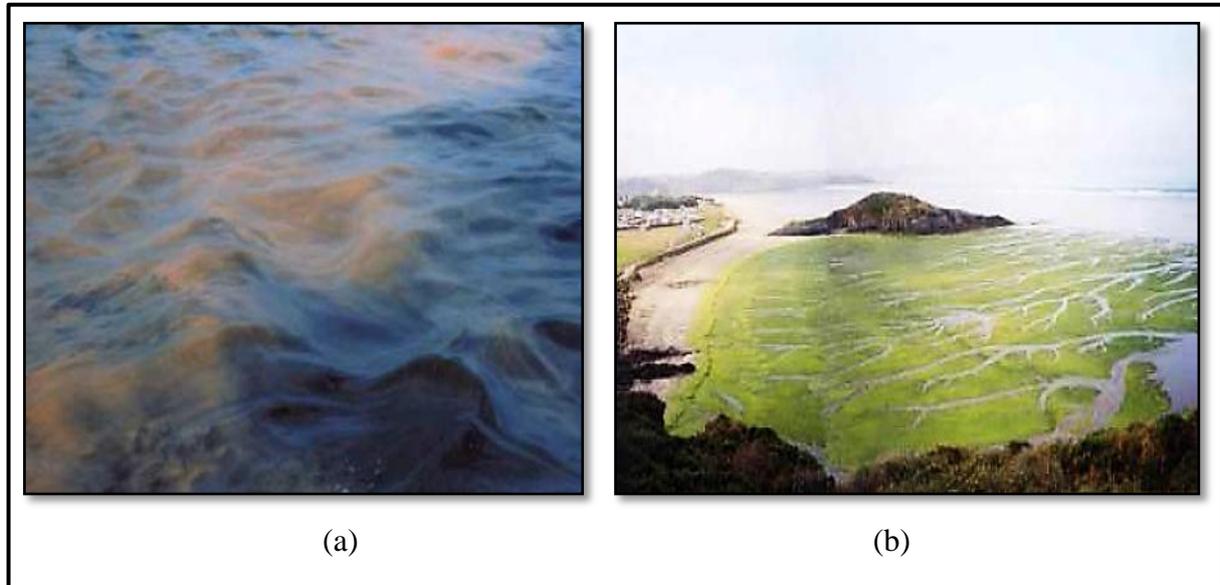


Figure 1 : Aspects visuels de l'eutrophisation (BAUDRIER *et al.*, 2012)
(a) marée rouge (phytoplancton) ; (b) marée verte (macro-algues)

4.6- Les substances radioactives :

Elles contiennent des atomes d'isotopes instables qui émettent spontanément une radiation. Les substances radioactives se retrouvent dans l'eau par différentes sources comme l'exploitation de minière et la transformation de minerais radioactifs comme l'uranium et le thorium. De nombreuses industries utilisent des substances radioactives, bien que les centrales nucléaires et l'industrie de l'armement en emploient le plus. Les services de recherches médicales et scientifiques en consomment également. (BERG *et al.*, 2009)

Les radiations peuvent s'échapper par inadvertance de ces services, polluant ainsi l'air, le sol et l'eau. Des accidents dans des centrales nucléaires peuvent rejeter beaucoup de radiations dans l'atmosphère ce qui finalement contamine le sol et l'eau. Les radiations provenant de sources naturelles peuvent polluer les eaux souterraines. (BERG *et al.*, 2009)

4.7- Les matières en suspension :

D'après IVANOFF (1972), en plus des substances dissoutes, l'eau de mer contient des matières en suspension d'origines minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature biogénique, terrigène, éolienne ou météoriques. Les matières en suspension dans les eaux de mer sont donc 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. Elles sont

transportées au sein de la masse d'eau qu'elle soit douce, marine ou résiduaire. (**AMINOT et CHAUSSE-PIED, 1983**).

D'une part, les particules réduisent la transparence de l'eau de ce fait la production primaire photosynthétique, d'autre part elles présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques ou biologiques avec l'eau de mer. (**MERTES *et al.*, 1993**).

Des teneurs élevées en matières en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuent l'oxygène dissous et limitent alors le développement de la vie aquatique en créant des déséquilibres entre diverses espèces. Elles peuvent être aussi responsables de l'asphyxie des poissons par colmatage des branchies. (**RODIER, 1997; BERNE et CORDONNIER, 1991**)

Elles peuvent aussi interférer sur la qualité d'une eau par des phénomènes d'adsorption notamment de certains éléments toxiques, et de ce fait être une voie de pénétration de toxiques plus ou moins concentrés dans l'organisme (**SIRONE *et al.*, 1986**). Selon leur nature, elles sont également une source nutritive non négligeable pour la faune.

Elles peuvent être aussi considérées comme des transporteurs importants des polluants, fertilisants, toxiques et biologiques (**LACAZE, 1996**). Dans les océans, la concentration en matières en suspension est faible : elle diminue de la surface jusqu'au fond. Par contre, les plus importantes teneurs en matières en suspension sont aux niveaux des milieux côtiers et estuariens.

4.8- La pollution thermique :

Il y a pollution thermique quand de l'eau chaude produite au cours de certains processus industriels est rejetée dans les voies navigables. De nombreuses industries comme les centrales qui utilisent de la vapeur pour produire de l'électricité, pompent de l'eau pour refroidir leurs installations. L'eau devenue chaude est ensuite légèrement refroidie avant d'être rejetée dans le milieu marin mais sa température reste plus chaude qu'elle ne l'était à l'origine. Le milieu récepteur est donc légèrement réchauffé. (**BERG *et al.*, 2009**)

L'augmentation de la température d'une masse d'eau a des effets chimiques, physiques et biologiques. Les réactions biochimiques comme la décomposition des déchets, se produisent plus rapidement, consommant plus d'oxygène dissous. De plus, l'oxygène se dissout moins dans l'eau chaude que dans l'eau fraîche et la concentration de l'eau en oxygène dissous a des effets importants sur la vie aquatique. (**BERG *et al.*, 2009**)

Quand le taux d'oxygène dissous diminue à cause d'une pollution thermique, les poissons ventilent plus souvent leurs branchies pour s'oxygéner correctement. Cette situation provoque un gros stress chez le poisson car il tente d'obtenir plus d'oxygène à partir d'une concentration plus petite d'oxygène dissous dans l'eau. D'autres changements subtils peuvent apparaître dans les activités et le comportement d'organismes aquatiques dans une eau polluée

thermiquement parce que la température a un effet sur les cycles de reproduction, les rythmes digestifs et respiratoires. A des températures plus élevée, les poissons ont besoin de davantage de nourriture pour garder leur masse corporelle. Ils ont généralement une espérance de vie plus courte et les populations sont plus petites. En cas de pollution thermique forte, les poissons et les autres organismes aquatiques meurent. (**BERG *et al.*, 2009**)

4.9- Les eaux usées :

La pollution engendrée par le déversement des eaux usées est l'une des formes de pollution les plus répandues et les plus dommageables pour l'ensemble des écosystèmes marins côtiers de la planète (**ESPINOSA *et al.*, 2007**). Lorsqu'elles ne sont pas traitées convenablement, les eaux usées d'origine domestique transportent avec elles des quantités excessives de nutriments, des bactéries pathogènes et de matière en suspension (**SIUNG-CHANG, 1997**) alors que celles d'origine industrielle renferment des polluants organiques et inorganiques (**KAISER, 2001**). Le plus souvent, ces eaux sont rejetées près des côtes en zone infralittorale et peuvent ainsi affecter la faune marine. Leur rejet dans les milieux naturels est souvent associé à des désordres au niveau cellulaire et/ou physiologique chez les organismes ainsi qu'aux perturbations des habitats pouvant aller jusqu'à causer des changements irréversibles au niveau de la structure des communautés (**ESPINOSA *et al.*, 2007**)

4.10- Les détergents :

Le problème de la pollution par les détergents, remonte au début des années 1960, où les rivières commencèrent à se recouvrir de mousses, de détergents biodégradables. De nos jours, le problème majeur est celui des phosphates que l'on tente d'éliminer de la composition des détergents (**DEFRANCESCHI, 1996**).

Ce problème est la préoccupation majeure des hygiénistes, vu leur augmentation considérable de leurs emplois dans les domaines ménagers, agricoles et industriels (**PESSON, 1976**).

La présence des détergents dans les milieux aquatiques, outre leurs aspects inesthétiques, ces mousses peuvent disséminer des bactéries, des virus pathogènes, ainsi certaines mycobactéries peuvent être transmises en cas de moussage, au niveau d'une station d'épuration (**PESSON, 1976**).

Selon **GAID (1984)**, tout détergent est composé de deux parties:

- *L'agent tensioactif* : C'est un élément constant et primordial caractérisé par des pouvoirs mouillant, émulsifiant solubilisant et moussant. La résultante de ces pouvoirs est l'action détergente. C'est le cas des détergents : cationiques, non anioniques, agents de surface ampholytes, anioniques (sels alcalins d'acide organique qui sont les plus utilisés et les moins toxiques ;

- *Les adjuvants* : ils ont pour fonction de diluer les matières de base, de renforcer leur action détergente tels que : les polyphosphates, les carbonates, les silicates, les renforçateurs et les additifs.

5- La bioaccumulation et la bioconcentration :

Les processus évoqués ci-dessus montrent que non seulement les organismes effectuent une dispersion active de nombreux polluants, mais pis encore, peuvent les concentrer dans leurs tissus, ce qui accroît les risques toxicologiques. (RAMADE, 2007)

5.1- Notion de biodisponibilité :

En réalité, la valeur de la concentration « inerte » d'un polluant dans un biotope terrestre ou aquatique ne présente pas une grande signification en écologie et a *fortiori* en écotoxicologie. En effet, de façon très générale, cette concentration dans l'air, les eaux ou les sols d'une substance minérale ou organique n'apporte aucune information sur le fait qu'elle pourra être absorbée par tel ou tel organisme constituant la biocénose et quelle proportion de cette dernière sera disponible pour les êtres vivants. (RAMADE, 2007)

La biodisponibilité d'une substance en général et d'un polluant en particulier est donc la fraction de la quantité totale de ce dernier présente dans le biotope qui est absorbable par des producteurs (végétaux), consommateurs (animaux) et/ou décomposeurs (champignon, bactéries), qui peut donc être prélevée dans le biotope par un organisme considéré et être transférée, stockée et métabolisée par ce dernier (KÖRDEL *et al.*, 1997). Il convient toutefois d'exclure de la fraction réputée biodisponible celle qui transite dans le tube digestif des animaux sans être utilisée. (RAMADE, 2007)

La notion de biodisponibilité est particulièrement importante pour les éléments toxiques (métaux et métalloïdes tel l'arsenic) car selon leur état chimique, ils sont plus ou moins assimilables, sans omettre le fait que toutes choses égales par ailleurs, cet état joue un rôle majeur dans la toxicité d'un élément. (RAMADE, 2007)

Il a été démontré que la biodisponibilité des polluants organiques présents dans un biotope donné pouvait varier selon la constitution chimique de ce dernier et aussi dans un même biotope en fonction de temps. De même la biodisponibilité des polluants organiques peut avoir tendance à diminuer dans le temps. (MORRISON *et al.*, 2000)

5.2- La bioaccumulation :

On désigne par bioaccumulation le processus d'absorption par lequel les êtres vivants peuvent accumuler dans leur organisme des nutriments, toute autre substance présente naturellement dans son environnement ou encore un polluant organique de synthèse, quelle que soit la voie de pénétration dans l'organisme considéré. Chez les organismes aquatiques, la bioaccumulation sera la somme des absorptions par contact et par digestion, plus celle par voie transbranchiale chez les animaux aquatiques. La bioaccumulation n'implique pas

obligatoirement un accroissement de concentration d'un polluant quand il passe du biotope dans l'organisme considéré. (RAMADE, 2007)

5.3- La bioconcentration :

On désigne par bioconcentration le processus par lequel une substance prélevée dans un biotope par un être vivant va se rencontrer dans l'organisme de ce dernier à des concentrations supérieures à celle auxquelles il se trouve selon le cas dans les eaux, l'air et/ou les sols.

Il n'existe pas de différence fondamentale entre les processus de bioaccumulation et de bioconcentration, cette dernière ne constituant qu'un cas particulier de la précédente : celui où existe un accroissement de concentration quand le polluant passe de biotope dans la biomasse, quel que soit le niveau trophique de l'organisme concentré. (RAMADE, 2007)

Mais ce phénomène de bioconcentration n'est pas le seul fait de substances naturelles, il s'observe aussi avec de nombreux composés organiques de synthèse et bien d'autres substances artificiellement produites par l'homme. (RAMADE, 2007)

HUNT et BISCHOFF (1960) avaient constaté que le phytoplancton d'un lac de Californie renfermait 5 ppm d'un insecticide voisin du DDT, le TDE alors que sa concentration dans les eaux n'était que de 0,014 ppm. ROBINSON (1967) signalait que la Dieldrine, un insecticide dilué à l'état de traces indosables dans les eaux de la mer du Nord, atteignait une concentration de 1 ppb dans le phytoplancton.

Parmi les invertébrés aquatiques, les mollusques bivalves peuvent atteindre des facteurs de concentration considérables. Ainsi, BUTLER, dès 1965, montrait que l'huître *Crassostrea virginica* pouvait accumuler le DDT dans son organisme à un taux 70000 fois supérieur à celui dans lequel il se trouvait dans l'eau de mer dans laquelle étaient élevée les individus de cette espèce faisant l'objet de ces recherches. Une des valeurs maximales de bioconcentration d'un polluant organique persistant chez les mollusques a été observée chez les moules *Mytilus galloprovincialis* de la région de Marseille qui ont présenté un facteur de concentration de 690000 pour les PCB (d'après RISEBROUGH *et al.*, in RAMADE, 1992)

6- La circulation des polluants dans la chaîne trophique :

En réalité, tous les êtres vivants présentent, certes é des degrés divers, cette propriété de pouvoir stocker dans leur organisme toute substance peu ou pas biodégradable. De ce fait, il apparaît des phénomènes d'amplification biologique des polluants dans tout écosystème contaminé. En effet, les organismes qui ont ainsi concentré telle ou telle substance toxique vont servir de nourriture à d'autres espèces animales qui les accumuleront à leur tour dans leurs tissus. Le facteur de bioconcentration sera d'autant plus élevé que la substance sera moins rapidement métabolisable – toutes choses égales par ailleurs. (RAMADE, 2007)

Il va se produire de la sorte de proche en proche une contamination de tout le réseau trophique de l'écosystème, initiée par les producteurs primaires qui « pompent » le polluant

dispersé dans le biotope, les phénomènes de bioaccumulation se produisant dans l'ensemble de la chaîne trophique. (RAMADE, 2007)

Avec les polluants xénobiotiques persistants peu ou pas biodégradables, il se produit assez souvent une bioconcentration de ces derniers dans toute la chaîne trophique le long de laquelle la concentration du toxique s'élèvera à chaque niveau, de sorte que, dans tous les cas, ce seront les superprédateurs, situé au sommet de la pyramide trophique, qui présenteront les taux de contamination les plus élevés. Ce phénomène est dénommé bioamplification des polluants, terme que nous préférons à celui de biomagnification, qui est de la langue anglaise (Figure 2 et 3). (RAMADE, 2007)

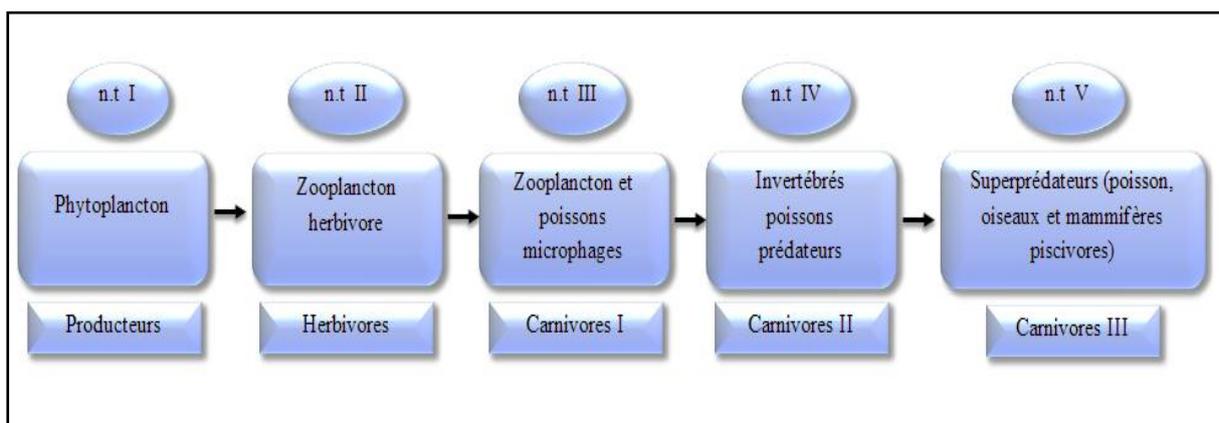


Figure 2 : Schéma général de la contamination des chaînes trophiques océaniques (RAMADE, 2007 ; modifié)

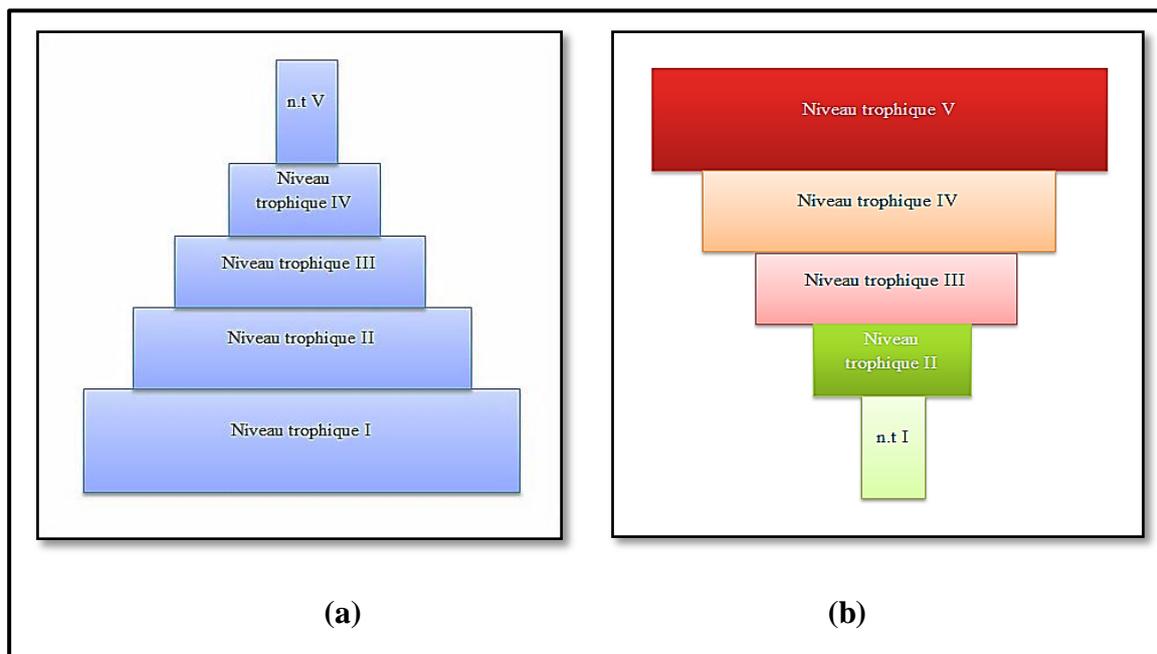


Figure 3 : Pyramide de la chaîne trophique (RAMADE, 1977 ; modifié)
(a) : Pyramide des biomasses ; (b) Pyramide des concentrations

1- L'impact des polluants sur les organismes marins :

Dans tout écosystème, la plus petite unité fonctionnelle n'est pas l'individu isolé mais la (ou les) population(s) de chaque espèce qui compose la communauté.

On se trouve confronté à l'un des problèmes majeurs soulevés à l'heure actuelle par la pollution de l'environnement, sitôt que l'on se place au niveau démo-écologique. Celui-ci découle de ce que l'échelle de temps à laquelle agissent les pollutions est très courte par rapport à celle qu'exigent les mécanismes de l'évolution pour l'apparition d'espèces nouvelles. Comme le rappelait fort à propos **MORIARTY (1990)**, il a été parfois suggéré que l'élimination des espèces vivantes par les pollutions serait sans importance car s'est en tout état de cause un processus naturel de l'évolution. Malheureusement, il existe une différence majeure entre les processus évolutifs et ceux introduits par la pollution. Celle-ci tient en la vitesse à laquelle ces derniers apparaissent dans l'environnement et agissent. (**RAMADE, 2007**)

Les différents polluants circulants dans le milieu marin ont des effets néfastes pour les organismes marins et par conséquent sur la santé humaine. Les effets de ces polluants sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Principaux polluants et leurs effets (RFEA, 1990)

NATURE	PARAMETRES	SYMB.	EFFETS	ORIGINE
MECANIQUE	Matière en suspension Turbidité	MES	- Colmatage du lit de la rivière, des zones de reproduction des poissons (frayères).	Erosion des sols (orages), travaux en rivière, vidanges de retenues
ORGANIQUE	Oxygène dissous	O ₂ dissous	- Diminution de la photosynthèse	Rejets domestiques et industriels
	Demande biochimique en oxygène Demande chimique en oxygène	DBO ₅ DCO	- Consommation d'oxygène dissous au détriment des poissons	Elevages intensifs
THERMIQUE	Température	T°	- Diminution de l'oxygène dissous - Perturbe les poissons	Eau de refroidissement des grosses usines
AZOTE	Azote organique	N-org	- Perturbe la production d'eau potable	Rejets domestiques

	Ammoniaque	NH_4	- Toxique pour les poissons	et industriels	
	Nitrites	NO_2	- Toxique pour les poissons	Elevages intensifs	
	Nitrates	NO_3	- Perturbe la production d'eau potable si fortes concentrations - Contribue à l'eutrophisation	excès d'engrais, rejets domestiques	
PHOSPHORE	Phosphore total	P		Rejets domestiques	
	Phosphates	PO_4	- Augmente les risques d'eutrophisation = asphyxie de la rivière par prolifération d'algues	essentiellement Elevages et excès d'engrais	
TOXIQUES & MICRO-POLLUANTS	Cyanures	CN		Rejets d'industries : - traiteurs de surfaces - utilisateurs de solvants divers	
			- Inhibiteur de la vie aquatique		
	Métaux lourds : cadmium, mercure, chrome, plomb, ...	Cd, Hg, Cr, Pb <i>métox</i>		- Compromettent la fabrication d'eau potable si normes réglementaires dépassées	
	Solvants et divers: phénols, fluor, solvants chlorés	P-OH, F		- Risque de toxicité immédiate et/ou de toxicité différée par accumulation dans les chaînes alimentaires	Résultat de l'action du chlore sur les matières organiques
	Micropolluants organiques : organo-halogénés (ex : chloroforme)	AOx		- Risques d'effets mutagènes et cancérogènes	Rejets diffus provenant du traitement des cultures, des abords des routes et voies de chemin de fer.
	Pesticides (atrazine, lindane)	<i>Equitox</i>			

RADIOACTIVIT E	Activité globale Analyses spécifiques	Bq	- Risques mutagènes et cancérogènes	Rejets des hôpitaux, activités nucléaires
BACTERIO- LOGIQUE	Analyses microbiologiques : - Bactéries - Virus	MES	- Turbidité - Contamination qui nécessite une stérilisation de l'eau potable - Limite l'usage de la baignade	Rejets domestiques Elevages intensifs

2- Les problèmes environnementaux en Méditerranée :

La côte méditerranéenne accueille de nombreuses activités humaines qui sont des causes importantes de dégradation de l'écosystème marin. Les principales préoccupations concernent: (AEE, 1999; AEE 2002)

Les eaux usées et le ruissellement urbain : Des 601 villes côtières comptant une population de plus de 10 000 habitants (population fixe totale de 58,7 millions d'habitants), seules 69 % exploitent une station d'épuration des eaux usées. Toutefois, l'efficacité de ces installations à éliminer les polluants est souvent assez faible et inadéquate. Le problème est aggravé du fait de la croissance rapide de nombreuses villes et agglomérations côtières, en particulier sur la rive sud de la Méditerranée.

Les déchets solides produits dans les centres urbains le long du littoral méditerranéen : sont souvent déversés dans des décharges après un traitement sanitaire minimal, voire sans aucun traitement. Le déversement de déchets solides fins provenant d'installations industrielles côtières ou l'immersion de matériaux inertes provenant d'activités de construction peuvent conduire au recouvrement du fond de la mer par des matériaux d'origine terrestre.

Les effluents industriels : y compris ceux provenant de la transformation des hydrocarbures. La plupart des zones côtières de la Méditerranée abritent des industries chimiques et extractives qui produisent des quantités significatives de déchets industriels (par ex. des métaux lourds, des substances dangereuses et des polluants organiques persistants (POP)) susceptibles de gagner directement ou indirectement (c'est-à-dire via les rivières et les eaux de ruissellement) les milieux marins de la Méditerranée. De plus, des stocks de produits chimiques obsolètes (tels que des POP et des pesticides) sont considérés comme une source importante de contamination pour le milieu marin. La plupart de ces composés sont présentés au cours de la discussion sur la présence de POP dans la région méditerranéenne.

L'urbanisation du littoral : est un des problèmes majeurs de la région méditerranéenne, conduisant souvent à une perte de biodiversité attribuable à la destruction et à l'altération physique des habitats. Des problèmes liés au «bétonnage» du littoral se rencontrent dans l'ensemble de la Méditerranée. Un développement incontrôlé — en particulier celui des

infrastructures touristiques — en est généralement la cause. La destruction des zones humides et des marais salants pour récupérer des terres et l'extraction de ressources côtières (exploitation de carrières de sable et de roche) pour les besoins de la construction modifient également le littoral naturel méditerranéen de façon irrémédiable.

L'eutrophisation : est très courante dans les masses d'eau marines protégées telles que les ports et les baies semi-fermées le long de la côte méditerranéenne, principalement à proximité de villes côtières. Les effluents urbains non traités ou partiellement traités contiennent d'importantes quantités d'éléments nutritifs et de matières en suspension (dégradables ou inertes). Ils contribuent en grande partie à l'accumulation de dépôts riches en matières organiques et contaminés par des métaux et autres polluants.

L'érosion du sable : est un problème courant dans beaucoup de pays méditerranéens. Bien qu'elle trouve son origine dans des causes naturelles, telles que le transport de sédiments marins, elle peut être amplifiée par des activités humaines (par ex. l'exploitation de carrières de sable). L'érosion du sable peut avoir une multitude d'effets sur l'écosystème côtier: destruction des couches superficielles du sol qui aboutit à la pollution de la nappe phréatique, dégradation du système des dunes qui entraîne une diminution des ressources sédimentaires, désertification et réduction de la diversité biologique.

Le transport maritime : est une des principales sources de la pollution de la mer Méditerranée par les hydrocarbures de pétrole (pétrole brut) et les HAP. On évalue à environ 220 000 le nombre de navires de plus de 100 tonnes qui traversent annuellement la Méditerranée. Ces navires déversent approximativement 250 000 tonnes de pétrole résultant d'opérations de navigation telles que le déballastage, le lavage des citernes, la mise en cale sèche et les rejets de fiouls et d'huiles de vidange. À peu près 80 000 tonnes de pétrole ont, en outre, été déversées entre 1990 et 2005 à la suite d'accidents de la navigation. Enfin, on estime à 120 000 tonnes par an les déversements dus aux accidents dans les terminaux pétroliers ainsi qu'aux déversements de routine provenant d'installations terrestres, conduisant ainsi à des concentrations d'hydrocarbures élevées dans leur voisinage.

Invasions biologiques : Les changements climatiques conjugués à la détérioration des écosystèmes près des ports et des lagunes ont conduit à d'importants **changements dans la biodiversité** dus à l'introduction et à l'acclimatation d'espèces allogènes (ou non indigènes). La majorité des espèces allogènes se trouve dans le bassin oriental (ou bassin du Levant). L'introduction d'espèces allogènes (plus de 600 espèces recensées en 2004) est un processus dynamique ininterrompu responsable d'une quinzaine de nouvelles espèces relevées chaque année. Il convient de noter qu'**au XXI^e siècle, 64 nouvelles espèces ont été signalées en Méditerranée**, dont 23 enregistrées en 2004.

Les proliférations d'algues nuisibles ou HAB («Harmful Algal Blooms») : L'apparition croissante d'HAB en Méditerranée a conduit à de graves problèmes de santé publique causés par la consommation de fruits de mer contaminés par des algues toxiques. L'on a estimé, sur la base des résultats

l'impact socio-économique des HAB pour les trois pays méditerranéens qui ont fait l'objet d'une évaluation, à savoir l'Italie, la Grèce et la France, s'élevait à environ 329 millions d'euros par an.

L'exploitation des ressources marines : La dégradation de la chaîne alimentaire marine par la pêche a un impact négatif sur l'ensemble des écosystèmes. Selon les statistiques de pêche de la FAO, le niveau trophique moyen des captures en Méditerranée a diminué d'environ un échelon au cours des 50 dernières années. Un autre impact documenté de la pêche concerne les changements observés dans la structure des populations halieutiques. Les stocks de poissons démersaux en Méditerranée sont dominés par des jeunes poissons, ce qui témoigne d'une forte pression de pêche. Les petits poissons présentent un intérêt économique élevé, ce qui se traduit par des captures massives de poissons de trop petite taille dans certaines pêches au chalut de fond. Des taux élevés de rebut d'espèces ciblées de trop petite taille contribuent également à une perte de biodiversité d'espèces non ciblées.

Risques naturels : Les effets sociaux et économiques de grands tremblements de terre peuvent être dévastateurs, particulièrement dans les agglomérations urbaines côtières. Une sismicité accrue dans certaines régions méditerranéennes et l'activité tsunamique qui s'ensuit appellent une meilleure protection côtière.

Les grandes rubriques ci-dessus ont servi de guide pour l'évaluation des problèmes environnementaux majeurs du littoral des pays méditerranéens (tableau 2).

Tableau 2 : Problèmes environnementaux majeurs dans la zone côtière des pays méditerranéens (in. AEE, 2006)

	Effluents urbains	Déchets solides urbains	Effluents industriels	Effluents huileux	Stocks de produits chimiques toxiques	Eutrophisation côtière	Urbanisation côtière
Albanie	+	+	-	-	+	+/-	+/-
Algérie	+	+	+	+	-	+/-	+
Bosnie et Herzégovine	+	+	-	-	+/-	-	+
Croatie	+	+	-	+ (attendu)	-	+	+
Chypre	+/-	-	+	-	-	+	+
Egypte	+	+	+	+/-	-	+	+
Grèce	+	+	+	-	-	+/-	+/-
France	+	-	+	-	-	+/-	+/-
Palestine	+	-	+	+/-	-	+/-	+/-
Italie	+	-	+	+	-	+	+
Liban	+	+	+/-	-	-	-	+
Libye	+	+	+	+/-	-	-	-
Malte	+	+/-	+/-	+/-	-	-	+
Monaco	-	-	-	-	-	-	+
Maroc	+	+	+	+	+/-	+/-	-
Espagne	+	-	+	-	-	+/-	+
Slovénie	+	-	+	-	-	+/-	+
Syrie	+	+	+	+	-	+/-	+/-
Turquie	+	+	+	+/-	-	+	+
Tunisie	+	+	+	-	-	+/-	+

Légende : + : problème important ; +/- : problème moyen ; - : problème mineur.

Partie II :

Les Rejets des Eaux Usées

Introduction :

En raison du caractère continu de la pollution marine par les eaux usées et du fait que la quantité des eaux usées rejetées dans le milieu marin ne cesse d'augmenter avec le développement industriel et la croissance démographique, il devient essentiel d'étudier les effets de ces déversements afin de prévenir la dégradation des écosystèmes côtiers et les dangers potentiels pour la santé humaine (SMOLDERS *et al.*, 2003).

1- Classification des rejets des eaux usées :

Selon l'origine des eaux usées, on peut les classer en trois catégories comme le montre la figure suivante :

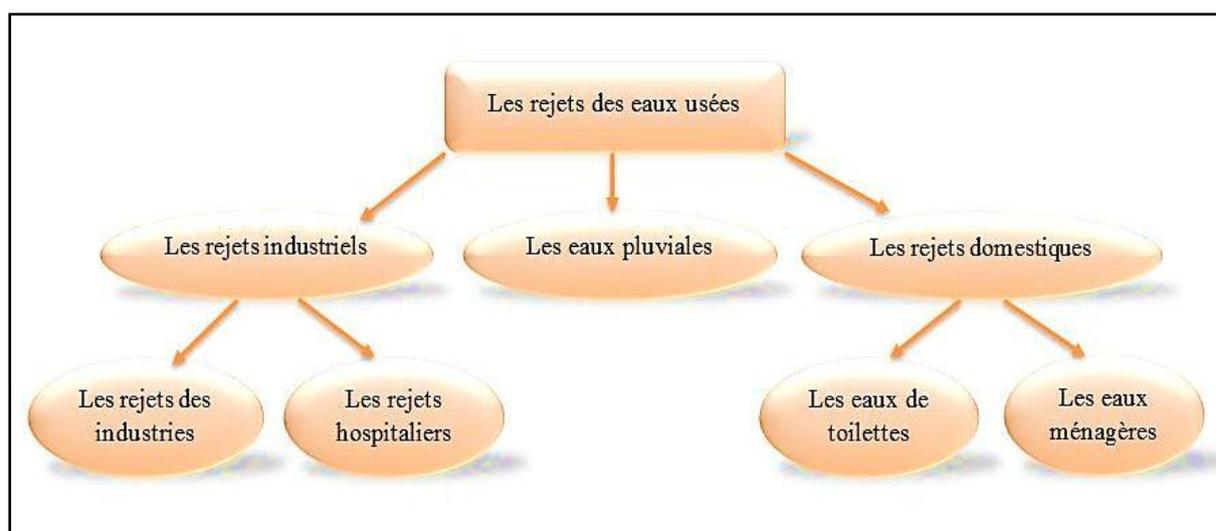


Figure 4 : Classification des rejets des eaux usées (DEMERS, 2007 ; modifié)

1.1- Les rejets industriels :

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc. (BAUMONT *et al.*, 2005)

1.1.1- les rejets des industries

Les rejets industriels peuvent être à l'origine de différents types de pollution de l'eau. Comme les procédés industriels utilisent une grande variété de produits chimiques et souvent toxiques, les rejets industriels constituent une belle soupe de produits nocifs (DEMERS, 2007). Les principales sont la pollution organique, le rejet de matières en suspension, la pollution toxique (métaux, hydrocarbures, organochlorés, pesticides), thermique (rejets

d'eaux chaudes issues de certaines industries) ou radioactive (rejets d'effluents aqueux chargés en substances radioactives). (**DRIRE, 2006 a ; DRIRE, 2006 b**)

Parmi les rejets liquides industriels, on distingue (**SOUDAN, 1968**) :

- Les eaux de refroidissement : Les eaux de refroidissement des compresseurs, des condenseurs et autres appareils risquent de perturber le milieu récepteur en raison de leur volume et de leur température plus que de leur nature chimique. Elles peuvent former une couche superficielle chaude et peu oxygénée qui nuit à la vie aquatique. De plus, elles contribuent à la pollution par les traces des graisses et des produits de la fabrication entraînés qui représentent des dizaines de tonnes perdues par an.

- Les effluents inorganiques : Ils sont généralement plus denses que l'eau de mer parce que chargés de sels minéraux. Leur réaction est souvent fortement acide, plus rarement basique. En fait, ces effluents sont assez facilement neutralisés grâce au pouvoir tampon que les carbonates, bicarbonates et borates confèrent à l'eau de mer. Les effluents peuvent contenir des éléments toxiques, sels de cuivre ou de zinc par exemple qui se rencontrent au voisinage des exploitations minières.

- Les effluents organiques : Les effluents de nature organique ont d'ordinaire une réaction plus proche de la neutralité que celle des effluents inorganiques. Les eaux résiduelles des industries alimentaires (abattoir, laiterie, conserverie, distillerie, etc.) qui contiennent surtout des matières fermentescibles se comportent approximativement comme les eaux ménagères, mais les fermentations et la contamination bactérienne subséquente sont typiques de chaque industrie. Les rejets, peu importants en moyenne par usine, varient en quantité et en qualité suivant les saisons.

1.1.2- Les rejets hospitaliers :

D'un point de vue qualitatif, les effluents liquides hospitaliers peuvent être classés en trois grandes catégories (**DELOFFRE-BONNAMOUR, 1995; EMMANUEL, 2004**) :

- Les rejets d'origine domestique qui regroupent les eaux provenant des cuisines, les rejets résultant de l'hygiène des patients non contagieux et du personnel.
- Les rejets assimilables à des effluents industriels qui sont générés par certains équipements spécifiques (blanchisseries, chaufferies, climatisations, ateliers, garages).
- Les effluents spécifiques aux établissements de santé qui sont générés par les activités de soins, d'analyse et de recherche.

Cette dernière catégorie est responsable de la singularité des effluents hospitaliers et nécessite à ce titre, d'être détaillée. Les rejets liquides spécifiques aux activités médicales comprennent principalement (**BOILLOT, 2008**) :

- Les effluents des services de soins qui contiennent des désinfectants (le glutaraldéhyde, l'hypochlorite de sodium, etc.), des détergents (surfactants

cationiques, non-ioniques et anioniques), des résidus médicamenteux (antibiotiques, anticancéreux, etc.), des rejets contenant des métaux (révélateurs et fixateurs de radiographies) ou encore des rejets contenant des germes pathogènes qui sont souvent polyrésistants aux antibiotiques : germes présents dans les rejets humains (salmonelles, etc.), bactéries responsables des infections nosocomiales (*Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, etc.), des virus, des parasites.

- Les effluents des services médico-techniques qui proviennent des salles d'opération et dans lesquels on retrouve entre autres des liquides biologiques très chargés en matières organiques : sang, urines, selles, liquide gastrique, aspiration trachéo-bronchite, liquides d'épanchement péritonéal ou pleural, de drainage ou d'irrigation, etc.

- Les rejets résultant de l'entretien du matériel médical et des locaux médicaux qui contiennent des détergents, des détergents-désinfectants et des désinfectants avec des traces de matières organiques et des résidus médicamenteux.

- Les rejets des laboratoires de recherches et d'analyses qui regroupent une très grande variété de molécules : du sang, des crachats, des urines, des acides (acétique, lactique, citrique), des bases (soude, etc.), des solvants, des hydrocarbures benzéniques (toluène et xylène), des désinfectants (formol, alcool éthylique, eau de Javel), des colorants, des effluents des services de radiologie (eaux de rinçage des clichés chargées en résidus argentiques) et des rejets provenant de la pharmacie (préparation de la teinture d'iode, désinfectants, etc.).

- Les effluents des services de médecine nucléaire. Certains éléments radioactifs (iode 131, technétium 99m, etc.) sont susceptibles de dispersion, même si leur évacuation est soumise à réglementation.

1.2- Les rejets domestiques :

Les eaux usées domestiques provenant des usages résidentiels tels la lessive, l'eau de vaisselle, la cuisine, les toilettes et les douches. **DEMERS (2007)** a divisé les eaux usées domestiques en deux catégories :

- Les eaux ménagères : (les eaux grises) issues des douches, baignoires et éviers. Les eaux ménagères, quant à elles, contiennent entre autres des détergents, des résidus organiques, des solvants, des parfums, des agents de blanchissage et des adoucissants. Les produits nettoyants domestiques sont constitués de milliers de produits chimiques aux formes variées (des petites molécules simples à de grosses molécules très complexes) et dont la persistance dans l'environnement varie (de quelques heures à quelques années). De plus, certains produits domestiques dangereux, telle la peinture, ne sont pas disposés de manière sécuritaire et sont déversés dans les égouts.
- Les eaux de toilettes : (les eaux noires) contiennent avant tout de la matière organique issue des déjections. Cette matière organique est une source de trois polluants majeurs

de nos cours d'eau : le carbone, le phosphore et les nitrates. Également, les êtres humains (autant que les animaux) excrètent dans leur urine une certaine quantité de résidus des médicaments consommés, qui se retrouvent ainsi dans les égouts. Enfin, l'eau issue des toilettes est une importante source de contamination bactériologique.

Les eaux domestiques sont responsables de l'augmentation de la demande en oxygène, 60% pour les eaux de toilettes et 40 % pour les eaux grises (eaux de cuisine, de douche, de lessive) (ERIKSSON *et al.*, 2002 ; GRAY et BECKER, 2002 ; DYER *et al.*, 2003). Le tableau suivant représente des concentrations moyennes en DCO, DBO5 et en métaux pour les eaux usées urbains.

Tableau 3 : Concentrations de polluants dans les eaux usées urbaines (GROMMAIRE-MERTZ, 1998)

Paramètres	Concentrations
MES (mg/L)	100 – 500
DCO (mg/L)	250 – 1000
DBO5 (mg/L)	100 – 400
Cd (µg/L)	1 – 10
Cu (µg/L)	83 – 100
Pb (µg/L)	5 – 78
Zn (µg/L)	100 – 570

1.2.1- Particularité des eaux usées des agglomérations littorales :

Les investigations effectuées sur les eaux usées issues des collectivités littorales font le plus souvent état des caractéristiques suivantes :

- Concentration en matière organique élevées ;
- Des valeurs de DCO supérieures à 1000mg/l en moyenne sur 24 heures sont couramment rencontrées ;
- Salinité importante et variable jusqu'à plusieurs grammes par litre. (MEOT et ALAMY, 1990)

1.3- Les eaux pluviales :

Par définition, les eaux pluviales sont des précipitations liquides d'eau atmosphérique sous forme de gouttes. Elles regroupent les eaux météoriques et celles ruisselant sur les

surfaces urbaines (voiries, Toitures). La pluie efficace se divise en deux flux, l'un qui ruisselle directement en surface, l'autre qui s'infiltré et alimente les nappes (VALIRON, 1990).

Les eaux de pluie contiennent à l'état dissous des gaz de l'atmosphère (N₂, O₂ et surtout CO₂) mais aussi, en faible quantité, les différentes combinaisons chimiques rencontrées dans l'atmosphère (H₂SO₄, NaCl au voisinage des côtes, sels de Ca et Mg, PO₄, etc.) et une multitude de poussières organiques voire des microorganismes (NAVARRO et BLANCHARD, 1982). Elles sont par ailleurs chargées en divers contaminants (VALIRON et TABUCHI, 1992).

La présence en concentrations importantes de certains métaux lourds, tels le cadmium, le plomb et le zinc, dans les eaux pluviales est rapportée dans la littérature (LASSABATERE, 2002, PLASSARD *et al.*, 2000 ; NIEMCZYNOWICZ, 1999 ; VALIRON et TABUCHI, 1992).

Le tableau suivant donne un résumé des valeurs mesurées pour les métaux lourds identifiés dans les eaux de ruissellement.

Tableau 4 : Pollution des eaux de ruissellement - origine et teneur en métaux lourds (VALIRON et TABUCHI, 1992)

Eléments	Teneur moyenne (mg/L)	Origine	Phase
Pb	0,1 à 0,8	Essence Industrie : 35 % Pluies : 50 % Solide en suspension	Solide en suspension
Cd	–	Industrie : 35 % (combustion) Pluies : 20 % Usure des pneus	dissoute
Zn	0,3 à 0,8	Industrie : 35 % (incinération des ordures) Pluies : 30 % Usure des pneus Corrosion des objets métalliques	Dissoute

La pollution des eaux de ruissellement urbaines a pour origine d'une part le lessivage de l'atmosphère et d'autre part le lessivage et l'érosion des surfaces urbaines. En effet, la quantification et la caractérisation de la pollution des différents types d'eaux de ruissellement

(toitures, chaussées,...) est nécessaire sachant que certaines données montrent que le ruissellement pourrait être une source non négligeable de micropolluants (**MOMPOINT, 2004**). Le tableau suivant permet de constater les modifications physico-chimiques que peuvent subir ces eaux au cours de leur passage sur les surfaces urbaines.

Tableau 5 : Qualité moyenne des eaux pluviales (COLANDINI, 1997)

Paramètre	Pluie	Ruissellement de toitures	Ruissellement des chaussés
pH	4,9	6,2	6,4 – 7,5
MES (mg/L)	17,5	22 - 40	64 - 140
Cl ⁻ (mg/L)	0,9 – 1,6	0,8	6 – 125
Fe (µg/L)	3 – 4,8	5,6	16 – 62,2
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	160 – 223	1200	4200 – 10400
Pb (µg/L)	5 – 76	23 – 104	128 – 311
Cd (µg/L)	0,6 – 3	0,7	1,9 – 6,4
Cu (µg/L)	1,5 – 12	27 – 235	62 – 108
Zn (µg/L)	5 – 80	24 – 290	220 – 603
HAP (µg/L)	86 – 145	500	240 - 3100

Les eaux de ruissellement de chaussées apportent dans les hydrosystèmes des matières minérales et organiques de façon chronique ; ces apports provoquent une modification des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du milieu récepteur, ils peuvent ainsi provoquer des phénomènes d'eutrophisation ou avoir des effets toxiques sur les organismes (**BOISSON, 1998**).

Par ailleurs, certains polluants trouvés dans les eaux de ruissellement peuvent provenir de l'érosion ou la corrosion par la pluie des surfaces urbaines. A titre, l'apport de terre, sable et graviers en provenance des surfaces non imperméabilisées, l'apport d'hydrocarbures provenant de l'usure du goudron, l'apport de métaux provenant des surfaces métalliques (notamment les toitures) constituent quelques exemples (**GARNAUD, 1999**).

2- Evaluation des dangers écologiques des effluents liquides :

Le schéma suivant représente la circulation des eaux pluviales et des eaux usées :

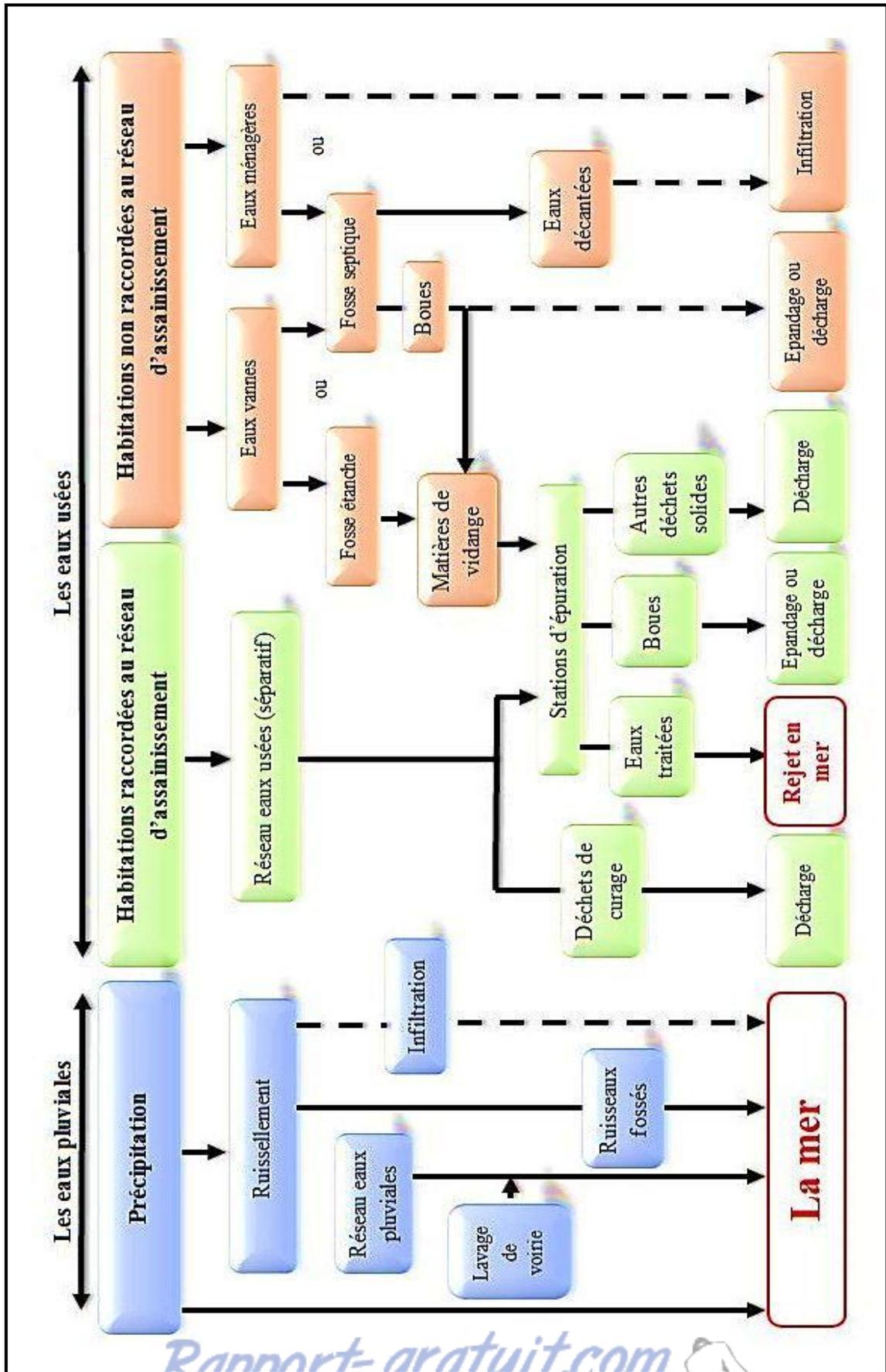


Figure 5 : Circulation des eaux pluviales et les eaux usées (SABARC, 1993 ; modifié)

L'exposition des organismes aquatiques aux eaux usées polluées génère un danger lié à la présence de substances toxiques, ces derniers peuvent provoquer des effets néfastes sur l'environnement et les espèces vivantes (**RIVIERE, 1998**). En effet, la notion de danger est liée à la possibilité pour une substance, du fait de ses caractéristiques ou de ses propriétés intrinsèques, de provoquer des dommages aux personnes, aux biens, à l'environnement, dans des conditions déterminées d'exposition (**RAZAFINDRADTANDRA et SEVEQUE, 1998**).

Les eaux usées urbaines et industrielles (**STRECK et RICHTER, 1997**) et les eaux pluviales (**VALIRON et TABUCHI, 1992; LASSABATERE, 2002**) sont chargées en différents polluants (anions, cations, métaux lourds, polluants organiques, etc.). Dans de telles mixtures, les métaux lourds sont présents sous la forme dissoute (cations libres ou complexés) et sous forme particulaire liés aux particules en suspension (**ARTIERES, 1987**).

Partout dans le monde, le principe de précaution prédomine dans l'évaluation du caractère dangereux des rejets et des effluents, ce principe consiste à réduire la teneur des polluants ou substances indiquée dans les permis de rejet (**KINNERSLEY, 1990**).

3- Aperçu sur la réglementation algérienne dans le domaine de l'environnement et la protection du milieu marin :

A l'état actuel, les textes législatifs algériens relatifs à l'environnement portent sur la réglementation (**JO, 2002**) :

- Des activités telles que la chasse, la pêche, la navigation maritime, l'occupation des sols, les industries et les installations classées, le transport.
- Des pollutions et des nuisances diverses : déchets, substances chimiques nocives ou dangereuses, fumées, odeurs, bruits et rayonnements ionisants.

En somme, cette législation touche aux facteurs susceptibles de porter atteinte aux éléments naturels tels que le sol, le sous-sol, les ressources en mer, la mer, l'air ainsi qu'aux sites naturels et historiques (littoral, forêts, faune et flore, réserves et parcs naturels). (**ROUANE-HACENE, 2013**)

Le texte de base régissant la protection de l'environnement dans son ensemble est constitué par la loi cadre n° 83-03 du 5/2/1983. Cette loi énonce une série de principes généraux et de règles générales qui fixent des impératifs de protection de l'environnement. Elle impose d'abord à l'administration le respect de principes généraux sous-tendus par l'exigence d'une prise en compte de la dimension environnemental dans la politique économique en vue d'un développement plus respectueux de l'environnement. Elle pose ensuite une série de règles à portée générale telles que la protection de la nature, la préservation des espèces animales et végétales, le maintien de l'équilibre biologique et la conservation des ressources naturelles contre toutes sources de dégradation. (*In* **ROUANE-HACENE, 2013**)

La loi n° 83-03, les textes législatifs promulgués peuvent être regroupés autour de trois thèmes :

- La protection des milieux récepteurs ;
- La protection du milieu naturel ;
- La lutte contre les pollutions et les nuisances.

3.1- Protection des milieux récepteurs :

Malgré son importance pour la préservation de l'environnement, la protection du sol et du sous-sol n'a pas été envisagée dans la loi n° 83-03 dans son titre consacré à la protection des milieux récepteurs. Toutefois, un certain nombre de textes relevant de ce domaine ont été promulgués. Ils concernent le statut foncier et la protection de certaines zones sensibles.

Le statut foncier est essentiellement organisé par quatre textes :

- La loi n° 90-25 du 18/11/1990 portant orientation foncière ;
- La loi n° 90-30 du 01/12/1990 portant loi domaniale ;
- Le décret exécutif n° 91-454 du 23/11/1991 fixant les modalités d'administration et de gestion des biens du domaine privé et du domaine de l'Etat ;
- Le décret exécutif n° 91-455 du 23/11/1991 relatif à l'inventaire des biens du domaine national.

Quand la protection des sols des zones sensibles, elle porte essentiellement sur la protection des sols contre la déforestation, la désertification et l'empiétement. Les principaux textes régissant cet aspect sont :

- La loi n° 84-12 du 23/06/1984 portant régime général des forêts ;
- L'ordonnance n° 75-43 du 17/06/1975 portant code pastoral ;
- Le décret n° 75-166 du 31/12/1975 portant limites des zones steppiques
- Le décret n° 75-168 du 31/12/1975 portant limitation du cheptel dans les zones steppique ;
- La loi n° 90-29 relative à l'aménagement du territoire et à l'urbanisation visant la protection des sols urbanisés.

- **Protection des eaux continentales :** les dispositions législatives générales qui régissent les eaux continentales sont contenues dans la loi n° 83-03 relative à la protection de l'environnement –Titre III- protection de l'eau.

- Code des eaux :

Le principal texte législatif relatif à la protection des eaux continentales est constitué par le décret n° 83-17 du 16/07/1983 portant code des eaux. Ce code définit les objectifs de la politique nationale de l'eau qui sont des objectifs, d'une part de prévention des effets nuisibles de l'eau (inondations, protection des sols contre la submersion, la salinisation, l'érosion), d'autre part de la

protection des eaux contre la pollution et de troisième part d'utilisation rationnelle et planifiée de l'eau.

Le code des eaux, tel que modifié par l'ordonnance n° 96-13, définit également les principes sur lesquels repose la politique nationale de l'eau.

▪ Protection des ressources en eau et lutte contre la pollution :

La lutte contre la pollution des eaux et la protection des ressources en eau font l'objet du chapitre 2 du Titre III de la loi n° 83-03 et du Titre VI de la loi n° 83-17 portant code de l'eau.

La loi n° 83-03 prévoit la détermination du degré de pollution des eaux superficielles par un inventaire, institue des périmètres de protection et réglemente les déversements. La loi 83-17 précise le régime des périmètres de protection et réglemente les comportements susceptibles de polluer les ressources en eau.

Le décret n° 93-163 du 10/07/1993 porte sur l'institution d'un inventaire des eaux superficielles qui doit être établi selon les critères physiques, chimiques, biologiques et bactériologiques.

▪ Règlementation des déversements des rejets :

➤ *Réglementation relative aux eaux usées domestiques :*

Les dispositions relatives aux eaux usées ont été regroupées dans un chapitre du Titre V de la loi 83-03 relatif aux « effets nuisibles de l'eau ».

➤ *Réglementation des rejets d'effluents liquides industriels :*

Trois décrets principaux régissent les rejets d'effluents liquides industriels :

- Le décret exécutif n° 93-163 du 10/07/1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels. En vertu de ce décret, les rejets d'effluents liquides industriels sont soumis à autorisation du ministre chargé de l'environnement. Cette autorisation ne peut être acceptée que si les rejets ne dépassent pas des valeurs limites maximales fixées en annexe du décret.

- Le décret exécutif n° 93-161 relatif au déversement des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel. Ce décret interdit le déversement, en milieu naturel, par rejets ou après ruissellement ou infiltration, et l'évacuation dans les réseaux d'assainissement, même équipés de stations de traitement, des huiles et lubrifiants, qu'ils soient neufs ou usagers.

- Le décret n° 87-182 du 18/08/1987 relatif aux PCB qui interdit le déversement de ces huiles dans les réseaux d'assainissement ou dans la nature.

- **Protection des eaux maritimes :**

En matière de protection des eaux maritimes, l'Algérie a ratifiée un bon nombre de conventions internationales.

En droit interne, outre le chapitre III du Titre III de la loi 83-03, relatif à la protection de la mer, les textes les plus importants promulgués sont :

- Le décret n° 94-13 du 28/05/1994 fixant les règles générales relatives à la pêche ;
- L'ordonnance n° 76-80 du 23/10/1986 portant code maritime et les textes d'application qui le complètent ;
- Le décret exécutif n° 93-164 qui définit la qualité des eaux de baignade.

- **Protection de l'air :**

Le chapitre I du Titre III de la loi n° 83-03, relatif à la protection de l'atmosphère établit les principes généraux destinés à supprimer ou réduire les émissions polluantes. Les prescriptions de la loi n° 83-03 relatives à ce sujet, ont fait l'objet de la promulgation du décret n° 93-165 qui réglemente les émissions atmosphériques de fumée, gaz, poussières, odeurs et particules solides des installations fixes notamment industrielles. Ce décret a été complété par le décret n° 73-2000 du 01/04/2000 réglementant la production, l'utilisation, l'importation et l'exportation des substances appauvrissant l'ozone.

Par ailleurs l'arrêté du 20/06/1983 (JO n°39 du 20/09/1983) porte sur les conditions d'émission de fumées produites par des véhicules automobiles.

3.2- Rejet des déchets :

- Le chapitre II du Titre IV de la loi n° 83-03 est consacré aux déchets

Les principaux textes exécutifs promulgués à ce sujet sont :

- Le décret n° 88-378 du 15/12/1984 fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et de traitement des déchets urbains ;
- Le décret n° 88-228 du 05/11/1988 définissant les conditions, procédures et modalités d'immersion des déchets susceptibles de polluer la mer, effectuée par les navires et les aéronefs ;
- Le décret exécutif n° 93-162 du 10/07/1993 fixant les conditions et les modalités de récupération et de traitement des huiles usagées ;
- Le décret n° 87-182 du 18/08/1987 relatif aux PCB ; interdisant l'utilisation de transformateurs électriques à bain d'huile d'askarels.
- La loi n° 01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et l'élimination des déchets.

4- Les normes des rejets des eaux usées :

4.1- Les normes françaises :

Les normes de rejet des eaux urbaines sont décrites dans l'arrêté **du 22 juin 2007**. Elles sont résumées dans le tableau ci-après. (MISE, 2009)

Tableau 6 : Normes définies par l'arrêté du 22 juin 2007 (MISE, 2009)

Paramètre	Concentration
DBO ₅ (mg/l)	25
DCO (mg/l)	125
MES (mg/l)	35
Azote global (mg/l)	15
Phosphore total (mg/l)	2

La qualité de l'eau dépend de facteurs naturels déterminants (sol, sous-sol, etc.) et d'activités humaines (agricole, industrielle et domestique) produisant des rejets qui se retrouvent directement ou indirectement dans les milieux aquatiques. (IFREMER, 2002)

Le tableau suivant permet d'évaluer la qualité d'un milieu aquatique :

Tableau 7 : Evaluation de la qualité d'eau (IFREMER, 2002)

Etat de la pollution	O ₂ dissous (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DCO (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Phosphore total (mg/l)	Coliformes fécaux (par 100ml)
Absente	> 7	< 3	< 20	< 0,1	< 0,1	< 20
Pollution modérée	7 – 5	3 – 5	20 – 25	0,1 – 0,5	0,1 – 0,3	20 – 2000
Pollution nette	5 – 3	5 – 10	25 – 40	0,5 – 2	0,3 – 0,5	2000 – 20000
Pollution importante	3 – 1	10 – 25	40 – 80	2 – 8	0,5 – 3	> 20000
Pollution très importante	< 1	> 25	> 80	> 8	> 3	-

4.2- Les normes algériennes :

Le décret exécutif n° 93-160 du Juillet 1993 règlemente les procédures de rejets d'effluents liquides dans le milieu naturel et rappelle que tout rejet d'effluents de type industriel est soumis à une autorisation préalable, délivrée par le Ministère chargée de l'environnement, qui détermine les conditions techniques auxquelles sont subordonnés les rejets. Ce décret précise également les valeurs limites maximale des paramètres de rejets des installations de déversement d'effluents liquides industriels (le tableau suivant). (BOUZIANI, 2002)

**Tableau 8 : Valeurs limites de certains paramètres des rejets industriels
(Décret exécutif n° 93-160 du Juillet 1993) (in BOUZIANI, 2002)**

Paramètre	Valeur maximale (mg/l)	Paramètre	Valeur maximale (mg/l)
DBO5	40	Plomb	1
DCO	120	Cuivre	3
Phosphate	02	Zinc	5
Cyanures	0,1	Huiles et graisses	20
Aluminium	5	Hydrocarbures	20
Cadmium	0,2	Phénols	0,5
Chrome 6	0,1	Solvants organiques	20
Manganèse	1	Chlore actif	1,0
Mercure	0,01	PCB	0,001
Nickel	5	Détergents	2

1- Pollution marine dans le Grand Maghreb :

5.1- La Tunisie :

Le rapport publié par la société **COMETE INGENEERING** en **2003** regroupe les résultats des analyses effectuées sur différents rejets des eaux usées déversées directement dans le milieu aquatique naturel sans aucun traitement. Ces résultats confirment le degré élevé de la pollution présente dans les rejets urbains non traités. Le tableau ci-dessous représente les résultats des analyses des paramètres indicateurs de pollution effectuées sur un rejet déversé dans le golfe de Bizerte.

**Tableau 9 : Concentrations des paramètres indicateurs de pollution.
(COMETE INGENEERING, 2003)**

Paramètre	MES (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DCO (mg/l)
Analyse du rejet	156	98	192

5.2- Le Maroc :

Plusieurs travaux sont réalisés afin d'évaluer l'impact des rejets des eaux usées urbaines et industrielles sur le littoral marocain soit du côté méditerranéen ou du côté atlantique (BOUTHIR *et al.*, 2006 ; BENYAKHLEF *et al.*, 2007 ; BOUTAYEB *et al.*, 2012 ; ELKHOKH *et al.*, 2012).

Selon les résultats obtenus par ELKHOKH *et al.* (2012) concernant l'analyse des rejets urbains déversés dans la rive atlantique marocain, les teneurs des paramètres indicateurs de pollution sont très élevés et loin d'être négligeables.

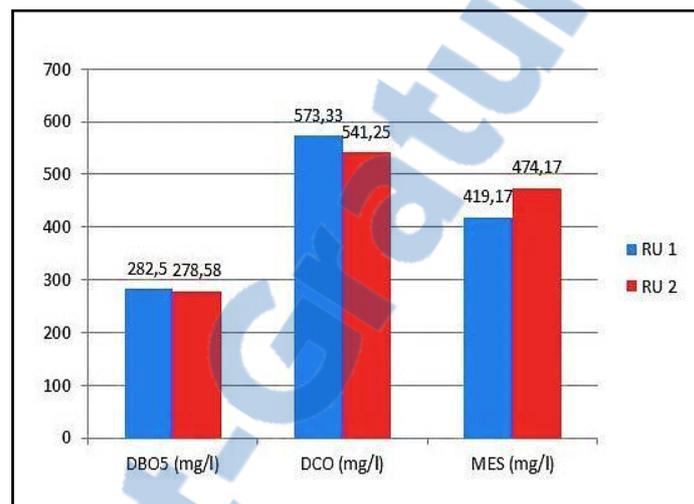


Figure 6 : Concentrations des polluants en Maroc
(ELKHOKH *et al.*, 2012)

5.3- L'Algérie :

L'Algérie dispose un littoral d'environ 1550 km de la frontière algéro-tunisienne à l'Est à la frontière algéro-marocaine à l'Ouest. Ce littoral est soumis à des pressions anthropiques qui ont conduit à la dégradation des écosystèmes littoraux.

Dans ce contexte, plusieurs travaux ont été réalisés afin d'évaluer l'état de la pollution marine le long du littoral algérien (Figure 07).

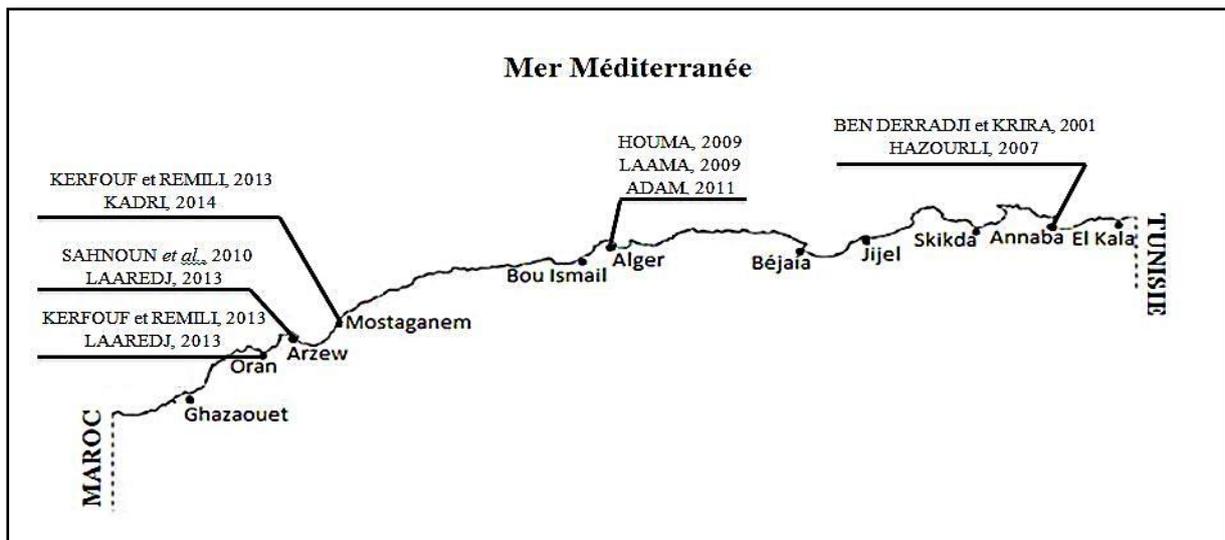


Figure 7 : Synthèse des travaux relatifs aux rejets d'eaux usées sur la côte algérienne entre 2001 et 2014.

5.3.1 : Annaba :

Annaba et sa région sont considérées comme l'espace le plus industrialisé dans l'Est algérien. Les problèmes liés à la pollution s'aggravent de plus en plus. Les eaux de surface sont polluées par les déversements industriels non traités. (**BEN DERRADJI et KRIRA, 2001**)

Les travaux de **BEN DERRADJI et KRIRA (2001)** signifient des valeurs non négligeables des indicateurs de pollution au niveau des rejets des eaux usées déversés directement dans le milieu marin.

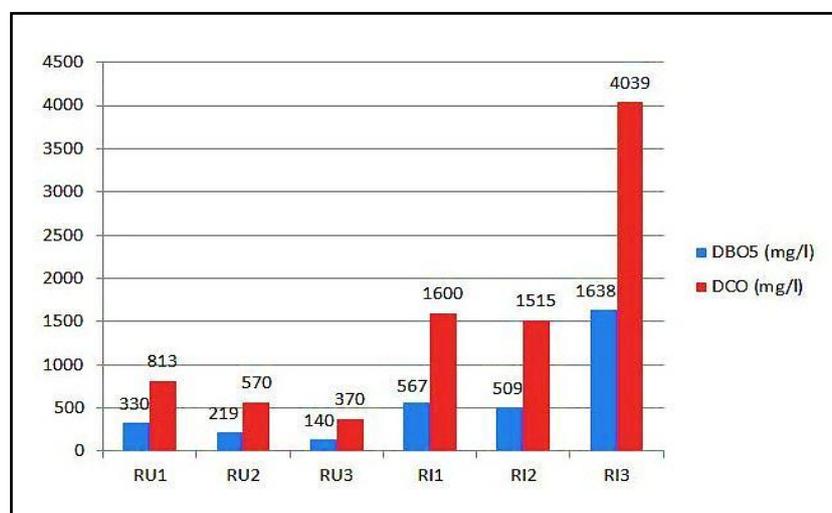


Figure 8 : Concentrations des polluants au niveau d'Annaba (BEN DERRADJI et KRIRA, 2001)

5.3.2- Alger :

La ville d'Alger est très urbanisée et la majorité des unités sont concentrées dans les zones industrielles, le port d'Alger, Rouiba et Réghaia. Cette zone est principalement contaminée par différentes sources de pollution et soumise à plusieurs types de rejets urbains, industriels et pétroliers. (BACHARI HOUMA, 2009)

Selon les résultats obtenus par LAAMA (2009), concernant l'analyse des échantillons d'eau de mer prélevés au niveau du port d'Alger, signifient des valeurs élevées en matières en suspension, par contre les concentrations de la DBO₅ ne dépassent pas les normes.

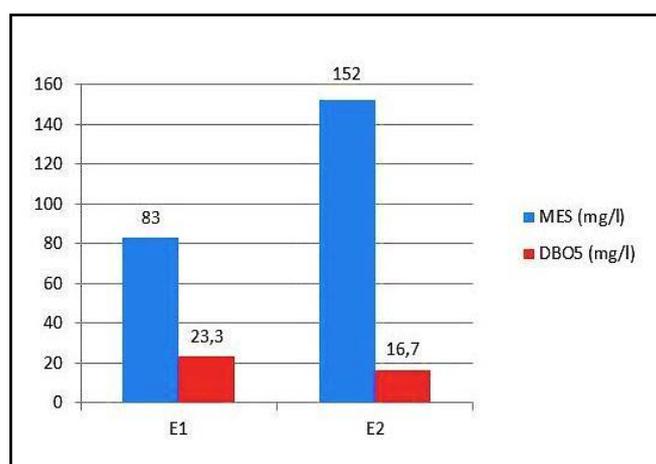


Figure 9 : Pollution marine au niveau du Port d'Alger (LAAMA, 2009)

5.3.3- Oran et Mostaganem :

Plusieurs travaux sont réalisés dans le but d'évaluer du degré de la pollution marine par les eaux usées sur le long du littoral oranais et mostaganémois (SAHNOUN *et al.*, 2010 ; KERFOUF et REMILI, 2013 ; LAREDJ, 2013 ; KADRI, 2014). Ces travaux ont confirmé que le littoral oranais et mostaganémois est pollué par les eaux usées rejetées en milieu marin sans aucun traitement ce qui influe sur la qualité des eaux de baignade et sur la biodiversité marine et par conséquent, sur la santé humaine.

D'après SAHNOUN *et al.* (2010), les analyses effectuées sur des échantillons des eaux usées industrielles rejetés par la zone industrielle d'Arzew ont révélé des concentrations élevées des paramètres indicateurs de pollution notamment la DBO₅ et la DCO qui sont très loin des normes algériennes.

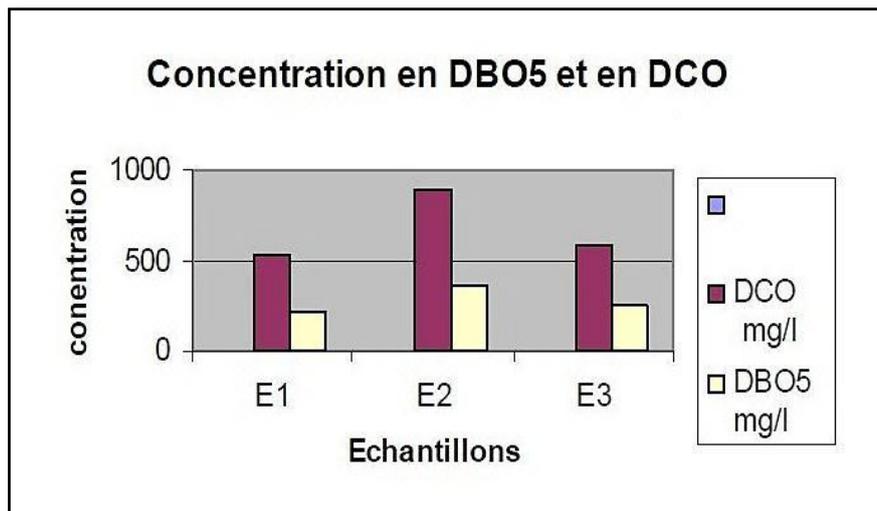
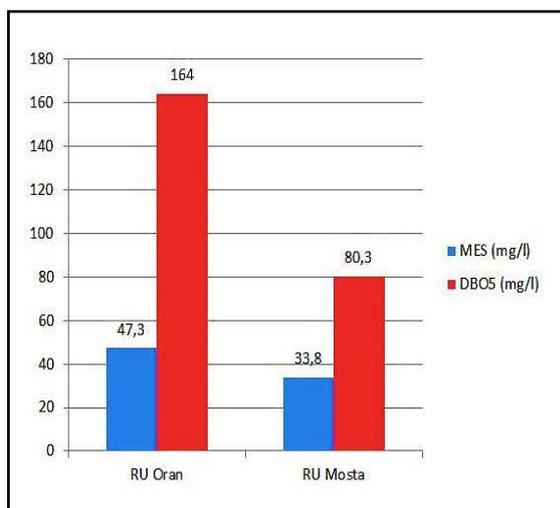


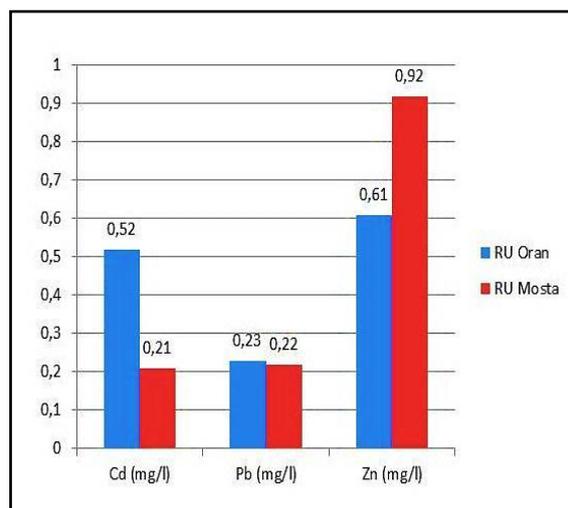
Figure 10 : Concentrations de la DBO₅ et la DCO (SAHNOUN *et al.*, 2010)

KERFOUF et REMILI (2013) ont analysé les paramètres indicateurs de pollution ainsi que le dosage des métaux lourds dans des échantillons des eaux usées urbaines rejetées en mer sans traitement au niveau de la wilaya d'Oran et la wilaya de Mostaganem.

Leurs résultats révèlent des teneurs élevées des paramètres indicateurs de pollution par contre les teneurs des métaux sont dans l'intervalle des normes algériennes.



(a)



(b)

Figure 11 : Pollution marine au niveau d'Oran et Mostaganem (KERFOUF et REMILI, 2013)

(a) : Concentrations des paramètres indicateurs de pollution ; (b) : Teneur en métaux lourds

Plusieurs travaux ont été réalisés au niveau du Laboratoire Réseau de Surveillance Environnementale (LRSE) citant parmi eux :

LAREDJ (2013) a analysé les effluents des eaux usées non traités déversés le long du littoral oranais. Selon les résultats obtenus, les rejets déversés contiennent des teneurs très élevées des paramètres indicateurs de pollution ce qui influe négativement sur la biodiversité marine et la qualité des eaux de baignade affectant ainsi la santé humaine.

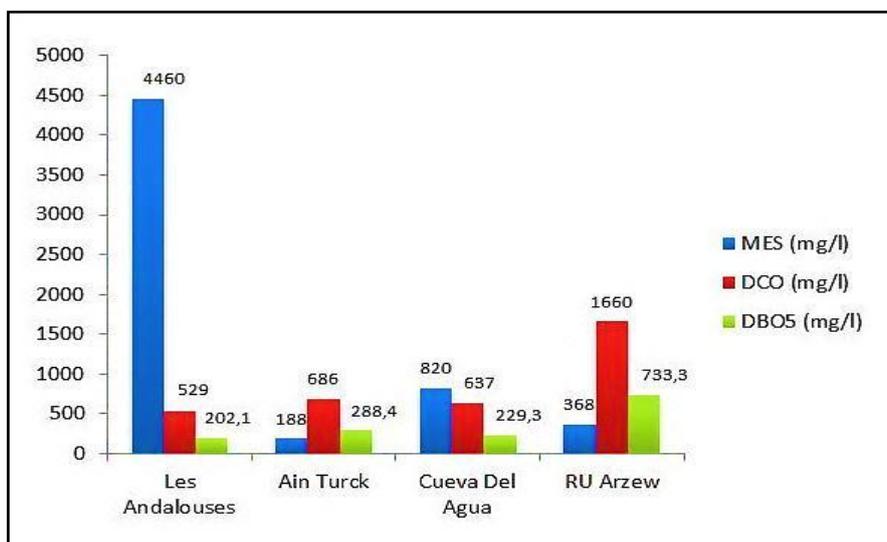


Figure 12 : Polluants présents au niveau du littoral oranais (LAREDJ, 2013)

KADRI (2014) a analysé des échantillons d'eaux usées déversés le long du littoral mostaganémois. Les résultats obtenus révèlent des concentrations élevées des polluants au niveau des rejets étudiés.

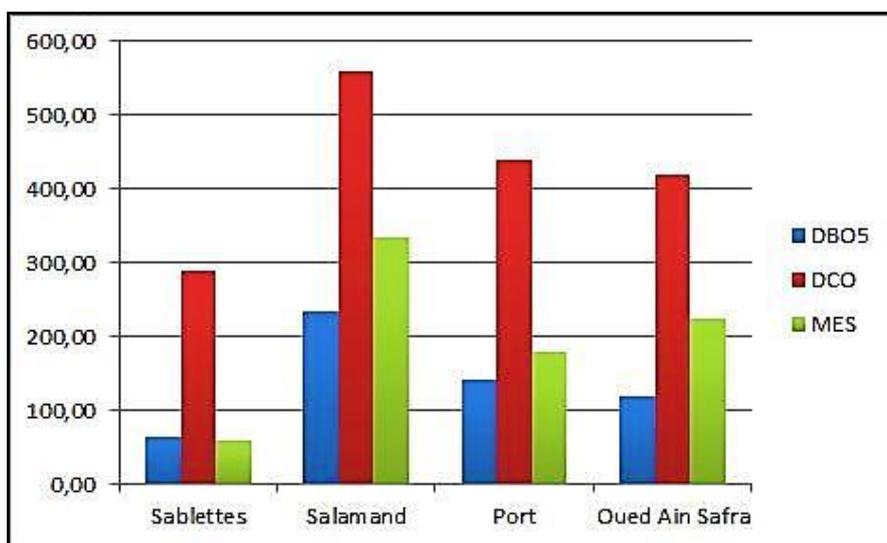


Figure 13 : Polluants présents au niveau du littoral mostaganémois (KADRI, 2014)

Partie III :

*Présentation de la Zone
d'Etude*

Introduction :

Les zones côtières sont le lieu d'activités nécessitant des eaux de bonne qualité physico-chimique : usages récréatifs, aquaculture et pêche. Ces zones sont sous l'influence directe des eaux d'oueds et des eaux usées, par où transitent les apports des bassins versants, rejets urbains et industriels. Ces rejets entraînent, lorsque le renouvellement des masses d'eau est faible par rapport aux quantités rejetées, des dégradations notables de la qualité des eaux et des écosystèmes marins. (KERFOUF et REMILI, 2013)

1- Description et localisation de la zone d'étude :



Figure 14 : Localisation géographique de la zone d'étude

Le littoral oranais est de plus en plus agressé de nos jours par diverses formes de nuisances : activités industrielles, tourisme intensif et urbanisation massive, avec comme corollaire une ampleur sans cesse croissante d'une pollution d'origine domestique. La frange côtière subit un accroissement des rejets d'eaux usées sans aucun traitement, à l'origine d'une contamination biologique (REMILI *et al.*, 2006) et physico-chimique des eaux marines (KERFOUF *et al.*, 2010-b). Cette frange côtière subit une expansion démographique galopante accompagnée d'une urbanisation anarchique, et d'intenses activités portuaires associées à diverses activités industrielles, qui ne sont pas sans conséquences sur l'environnement côtier (REMILI *et al.*, 2009).

Notre étude porte sur une évaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de la contamination métallique des eaux du littoral oranais (rejets des eaux usées et eau de mer). Dans ce contexte, un programme d'échantillonnage a été réalisé au niveau de chaque site, à raison d'un prélèvement saisonnier durant la période allant de décembre 2013 à mai 2014 (trois saisons).

1.1- Arzew :

La zone d'Arzew est une zone urbano-industrielle (Figure 15) située à l'extrême Est de la wilaya d'Oran et s'étend sur un linéaire de 22 Km. Limitée à l'Ouest par Cap Carbon

(Pointe Sotill), à l'Est par la centrale électrique et au Sud par la voie express Oran–Marsa-El-Hadjadj, ce qui lui confère une superficie totale de 8066 ha. (SAHNOUN *et al.*, 2010).



Figure 15: Zone industrielle d'Arzew (SAHNOUN *et al.*, 2010)

1.2- Le port d'Oran :

Situé à 400 km à l'ouest d'Alger, au milieu d'une baie large de 28 km entourée de falaises. Il a été construit avant 1962. Il est situé au sein d'un golfe qui occupe la partie centrale du littoral oranais et qui dessine un arc plus au moins régulier depuis le Cap Falcon, au nord-ouest d'Ain Turk, jusqu'à la Pointe de l'aiguille, à l'est. Il est localisé en longitude de $00^{\circ} 37' 266''$ Ouest et en latitude $35^{\circ} 42' 963''$ Nord. Il offre un plan d'eau de 122 hectares répartis en huit bassins (SOGREAH, 1997), c'est un port à vocation mixte, avec deux darses de pêcheurs (Figure 16 et 17).



Figure 16 : Le Port d'Oran

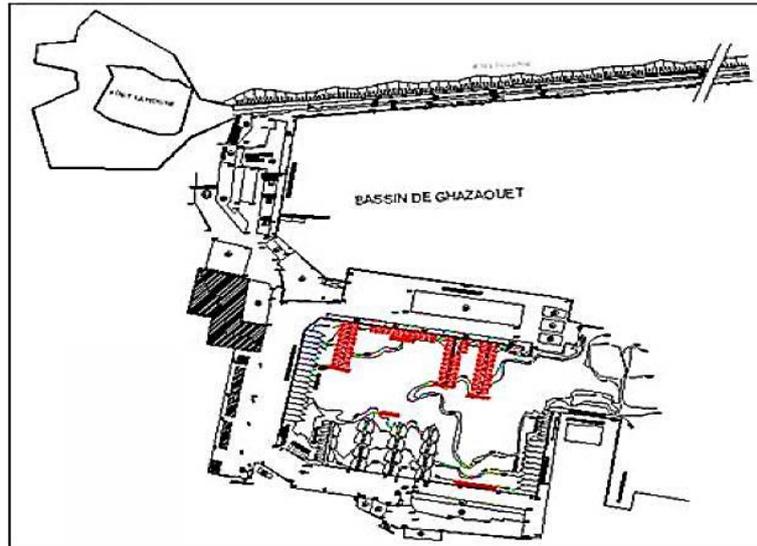


Figure 17 : Structure générale du Port d'Oran (EGPPO, 2006)

1.3- Kristel :

Kristel est située au nord-ouest de Gdyl sur les versants Ouest de Djebel Bouhaichem d'une altitude de 426m et celui de Kristel ayant une altitude de 497m. Cet enclavement lui permet, en revanche d'entretenir des relations très étroites avec Oran, son chef-lieu de wilaya. (CNTS, 2002)

Topographiquement, notre zone est dotée d'une façade maritime exposée vers le sud-est (Figure 18). Donnant à ce site une belle situation géographique d'où vient son nom Kristel du mot Cristal. Géographiquement, elle est localisée en longitude $00^{\circ} 29' 066''$ ouest et en latitude $35^{\circ} 50' 478''$ nord (SEDDIK, 2008).



Figure 18 : Site de Kristel (ROUANE-HACENE, 2013)

1.4- Bou Sfer :

La zone de Bou Sfer est localisée à 6 km de la ville d'Ain Türk, entre cette dernière et les Andalouses. Selon Google Earth elle est localisée ente 35° 42' 39" Nord et 0° 48' 38" Ouest.



Figure 19 : Site de Bou Sfer

1.5- Les Andalouses :

Première zone d'expansion touristique (Z.E.T) de l'ouest algérien, située à 25 km d'Oran, son rang correspond à sa situation, son niveau du potentiel touristique ainsi que sa capacité d'accueil. La totalité de sa façade vers la mer est constituée par une vaste plage de sable fin et doré (Figure 20). La baie semi circulaire, ouverte vers le nord protégée des houles par le Cap-Lindles, assure ainsi une mer calme et peu profonde (*in BENAÏSSA et BENAÏSSA, 1999*)



Figure 20 : Site des Andalouses

2- L'intérêt du choix de la zone d'étude :

Le déversement des déchets a entraîné le long du littoral oranais de sérieux problèmes soit pour l'utilisation de ce milieu marin (la baignade ou la plaisance...) soit pour l'activité de pêche. Des différentes observations effectuées, confirmées par de nombreuses études (**AOUDJIT, 2001 ; BOUTIBA *et al.*, 2003 ; BOUTIBA, 2004**) sur des sites côtiers de rejets urbains montre l'existence d'effet très néfastes sur l'ensemble de l'écosystème marin et côtiers :

- Contamination des sédiments et par conséquent du substrat ;
- Dégradation des eaux de baignade et de produits de la mer ;
- Déséquilibre des peuplements naturels tel que la Posidonie.

Les eaux véhiculées par les égouts de la ville d'Oran sont intégralement rejetées à la mer, les émissaires urbains sont au nombre de 11, trois principaux étant :

- A l'est, l'émissaire de la cheminée du petit lac et le collecteur de ceinture du centre-ville et Oran est ;
- A l'ouest, l'émissaire de Fort Lamoune, se situe à l'extérieur du port d'Oran, de hauteur 2,70m et largeur 2,50m, il reçoit une quantité d'eau déversée de 7966m³/jour constituée de mélange d'eau domestique et industrielle de la région ouest et prend son départ au niveau de l'EPEOR du Ravin Raz El-Ain et se dirige au Fort Lamoune.

La problématique d'aménagement et d'urbanisation de l'agglomération de Kristel est similaire à celle des zones urbaines du littoral de la wilaya d'Oran. Ces zones se définissent par une problématique liée à la valorisation d'un site fragilisé par le phénomène d'érosion d'une largeur de 1,13km, concerné par une vocation touristique et un cadre environnemental adéquat à savoir : le rejet des eaux usées qui s'effectue à ciel ouvert, directement vers la mer, compromettant les possibilités de tourisme, le stock halieutique limité et la biodiversité. (**APC, 2000**)

La zone de Bou Sfer est reconnue par son agglomération urbaine et la présence des hôtels, et avec l'absence des stations d'épuration des eaux usées au niveau de ce village, les effluents urbains sont rejetés directement dans la mer, ce qui influence la qualité sanitaire des eaux de baignade.

La zone des Andalouses est reconnue par ses plages touristiques ouvertes, ses complexes et ses hôtels. Ces derniers déversent leurs rejets des eaux usées directement dans la mer sans aucun traitement préalable. En amont de ce site côtier, il est à signaler l'expansion des exploitations agricoles relatives au Plan National du Développement Agricole (PNDA) qui risque de porter atteinte à l'écosystème marin côtier à travers l'utilisation des pesticides, des engrais et des produits phytosanitaires qui sont drainés par les ruissellements des eaux pluviales en saison hivernale, en plus un important effluents qui charrie les eaux usées du village d'El-Ançor. (**MATTALAH-BOUTIBA, 2009**)

Pour la zone d'Arzew, les problèmes d'industrialisation et d'urbanisme expansif exercent leur impact sur la qualité des eaux marines. Le déversement direct des eaux usées urbaines et industrielles dans la mer cause de sérieux problèmes pour la santé publique et pour les organismes marins.

Les wilayas littorales sont exposées à un danger très élevé de la pollution marine à cause de la forte urbanisation et la présence des différentes industries à ce niveau, qui provoque l'augmentation du nombre des rejets déversés dans le milieu marin. Les principaux rejets domestiques et industriels au niveau des wilayas littorales, y compris notre zone d'étude, sont regroupés dans la figure 21.

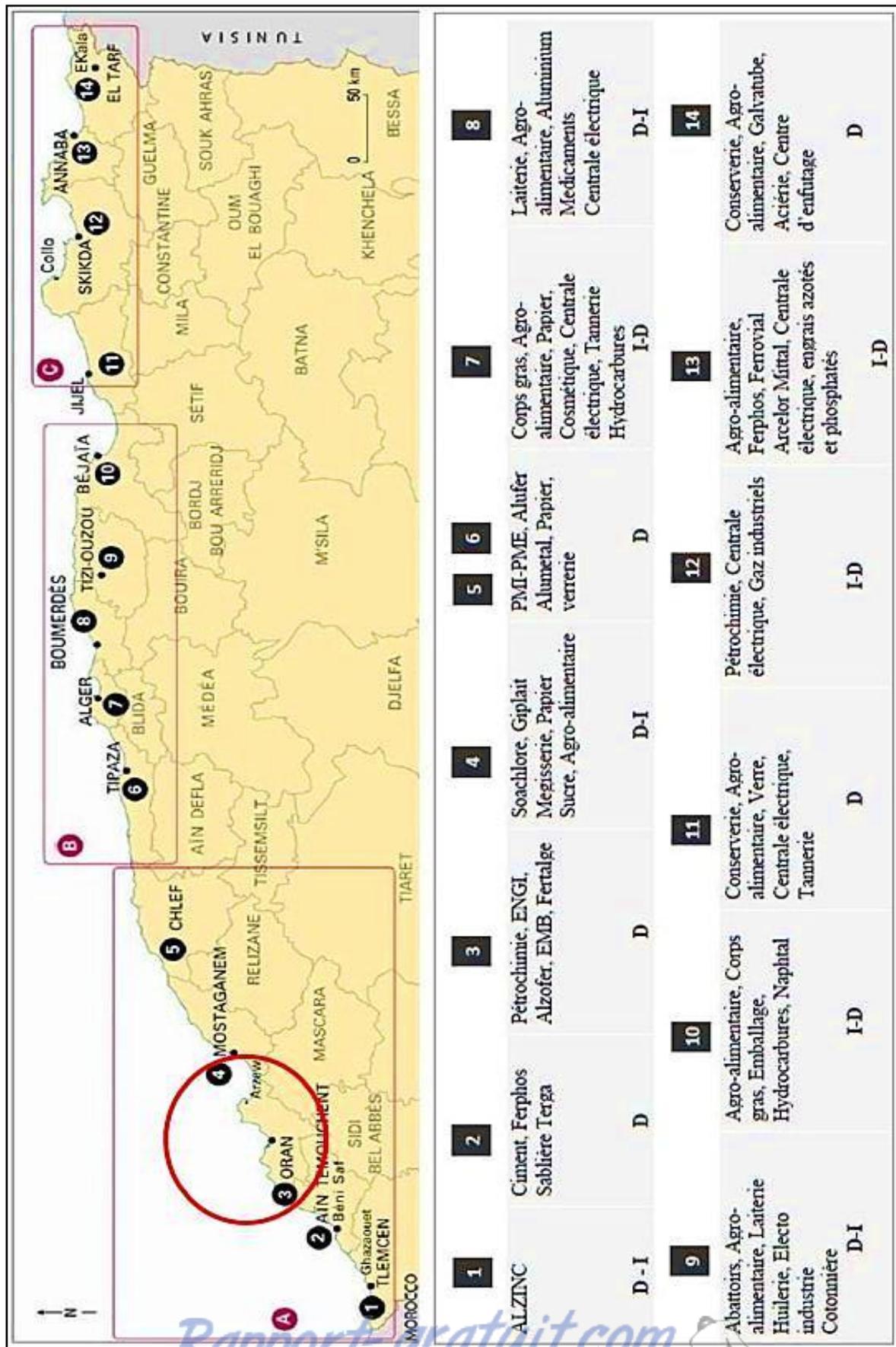


Figure 21 : Principales sources de la pollution industrielle des wilayas littorales (D : Domestique – I : Industrielle). (GRIMES, 2010)

3- Les facteurs météorologiques :

3.1- Température :

Les régions côtières sont caractérisées par un climat modéré. Généralement, sur le littoral algérien, la température minimale de l'air ne s'abaisse pas au-dessous de 0 °C et la maximale ne dépasse pas 40 °C (Figure 22).

La moyenne annuelle de température est de 20°C, avec des moyennes mensuelles extrêmes de 28,5 °C en mois d'Août et 23 en Avril (**BOUTIBA, 2004**).

3.2- Pluviométrie :

En Algérie, les pluies sont surtout d'origine orographique. La zone littorale oranaise est caractérisée par deux saisons de pluie : une grande centrée sur l'hiver, et une petite et courte centrée sur l'automne (Figure 22) (**BOUTIBA, 2004**).

La pluviométrie moyenne annuelle sur l'ensemble du littoral algérien s'élève à 6776mm. Une diminution très nette des précipitations s'observe d'Ouest en Est : Oranie = 405mm ; Algérois = 702mm ; Constantinois = 1151mm (**BOUTIBA, 1992**).

L'orientation de la côte algérienne montre que la région Est est plus avancée vers le Nord que la région Ouest, ce qui l'avantage au point de vue pluviosité (900 à 1200 mm/an). A l'Ouest le décalage de la côte vers le Sud et la situation climatique à l'abri de l'Atlas marocain (phénomène de Foène) rend cette zone ouest aride (600 mm/an) avec des périodes de sécheresse plus longues (**SAADA, 1997**).

Selon **TOUARSI et BEGOUG (2000)**, la pluviométrie est variable d'une année à l'autre, la pluviométrie de la région d'Oran reste une des faibles de l'Algérie de Nord, ce phénomène étant dû à l'assèchement des masses d'air à la traversée des montagnes ibériques et marocaines (rif marocain).

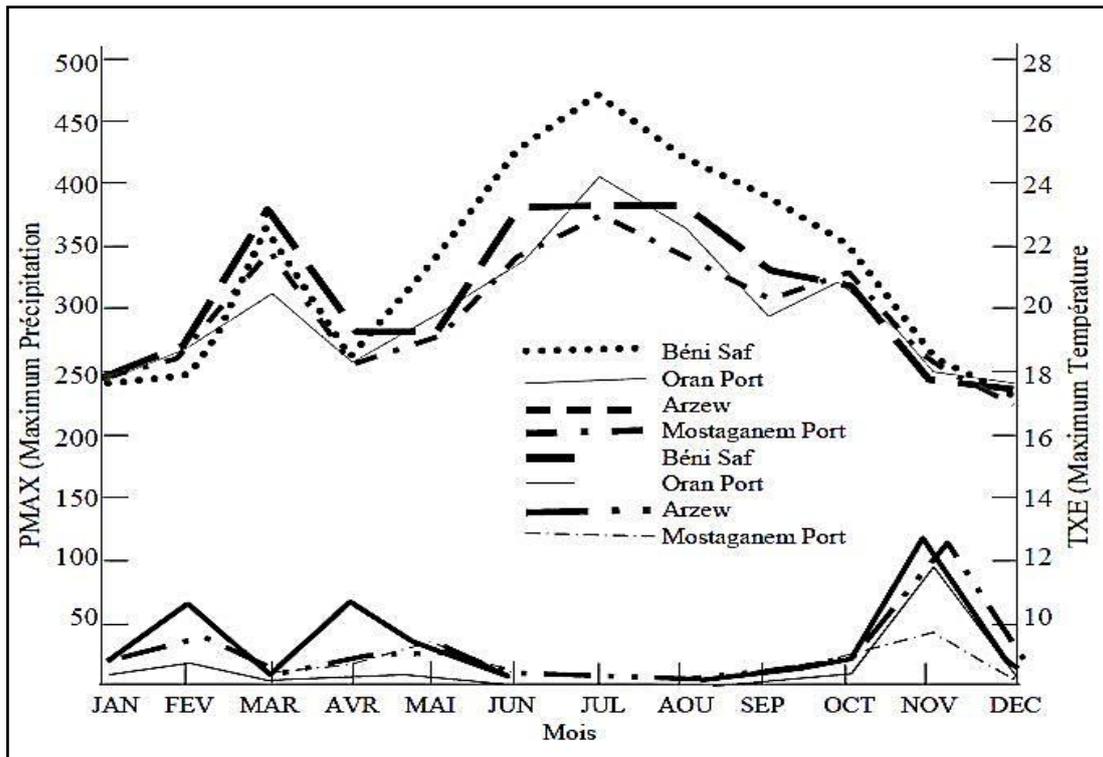


Figure 22 : Interface des changements des maximums des températures et des précipitations. (BOURAS *et al.*, 2007)

P-MAX : Précipitation maximum ; TXE : Température maximum

3.3- Régime des vents :

Les caractéristiques des vents de l'Oranie sont : des vents qui soufflent d'Ouest au Sud-Ouest.

Au mois de décembre prévalent les vents Sud-Ouest de 7h à 18h : les vents Ouest et Sud à 13h. Les mêmes remarques peuvent être notées pour les mois de janvier, novembre, mars, avril et mai. Néanmoins pour les trois derniers mois, on enregistre des vents Nord-Est (GHODBANI, 2001).

Selon GHODBANI (2001), les mois de sécheresse sont les mois à prédominance des vents Nord-Est. Il existe, par ailleurs, des vents chauds (Sirocco) provenant du Sud et Sud-Ouest. Ce sont des vents chauds et secs de 09 à 16 jours par an (Figure 23).

En plus, le vent est une des forces régissant les courants et les houles (ZEGHDOUDI, 2006). Ces dernières constituent un facteur écologique très important le long du littoral algérien en absence des courants permanents et des marées puisqu'ils sont les seuls à agir activement au niveau des baies et des golfes de la côte au large (BOUTIBA, 1992).

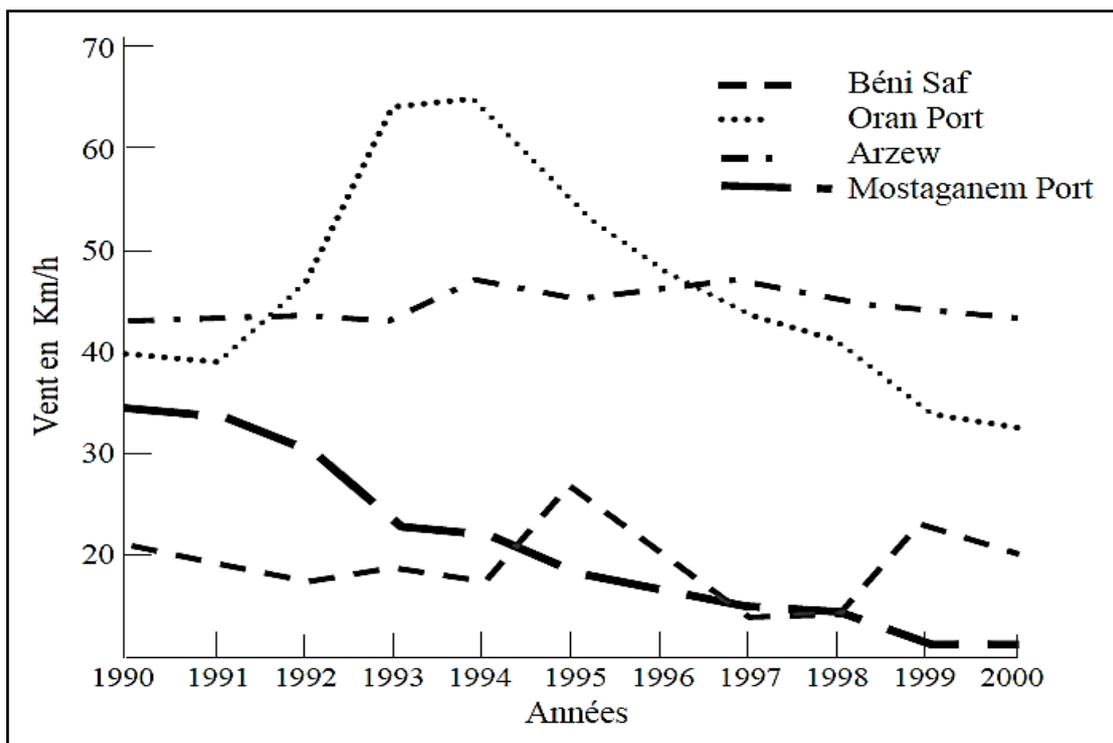


Figure 23 : Variations interannuelles du régime du vent (BOURAS *et al.*, 2007)

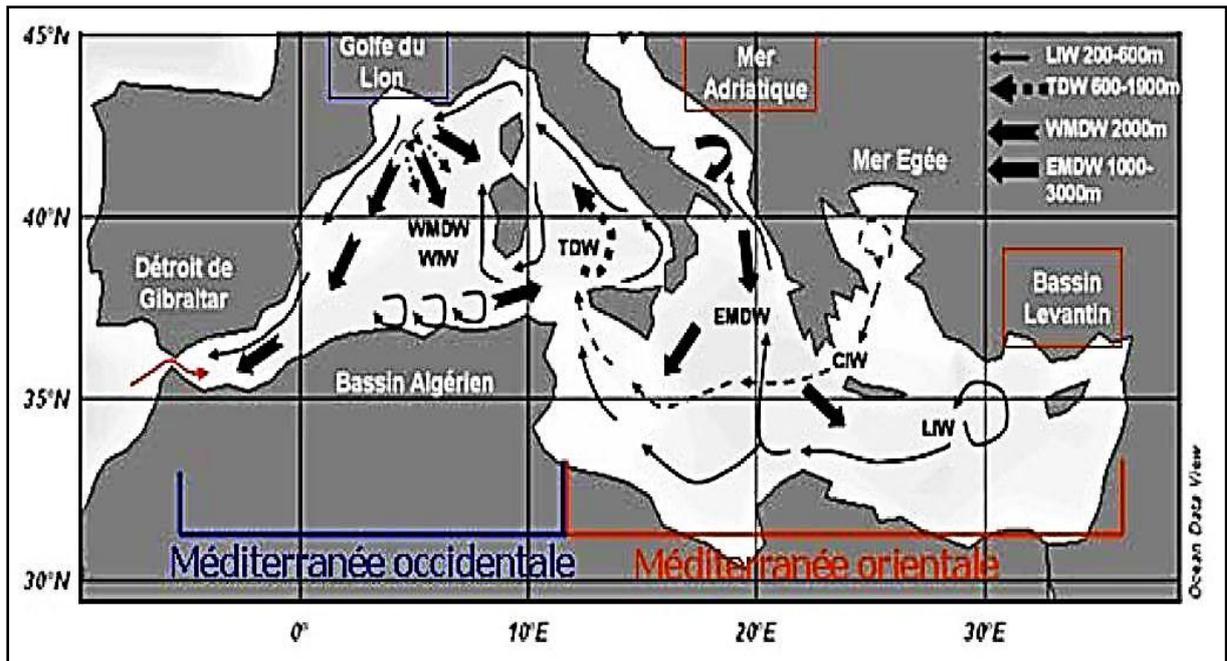
4- les facteurs hydrodynamiques :

4.1- Les courants :

La géographie de l'Algérie fait du littoral algérien une zone fortement influencée par les facteurs hydrologiques du bassin méditerranéen (BOUTIBA, 1992). Le bassin algérien constitue une zone clé pour la circulation générale dans la Méditerranée occidentale (PULLAT *et al.*, 2002), un réservoir où l'eau d'origine atlantique s'accumule avant de s'écouler vers le Nord et vers l'Est (MILLOT, 1985).

Les eaux atlantiques constituent l'essentiel du courant algérien, pénètrent en surface par le Déroit de Gibraltar quittant les côtes espagnoles pour rejoindre les côtes algériennes. Il est défini comme une veine de 30 à 40Km de largeur et de 150 à 200m d'épaisseur, c'est de l'eau océanique qui est modifiée par l'interaction avec l'atmosphère et le mélange avec les eaux méditerranéennes. Elles sont caractérisées par des températures variables en surface (15 à 23°C) (PERKINS et PISTEK, 1990 ; MILLOT et TAUPIER-LETAGE, 2005). Ce courant génère des upwellings côtiers plus ou moins intenses près des côtes (MILLOT, 1989).

Les eaux levantines intermédiaires (LIW- Levantine Intermediate Water), caractérisées par un maximum de température (13,2-14 °C) et de salinité (38,5) entre 200 et 1000m, circulent alors vers l'Ouest le long des côtes algériennes mais sans aucune orientation d'Est en Ouest et constituent une part importante du flux d'eaux méditerranéennes sortant en profondeur à Gibraltar (Figure 24 et 25) (BOUTIBA, 1992).



Eau Atlantique modifiée de surface (MAW)

Figure 24 : Circulation globale en Méditerranée.
(MILLOT, 1999 *in* AIT AMEUR, 2007).

LIW : eau levantine intermédiaire ; TDW : eau dense tyrrhénienne ; WMDW : eau profonde du bassin Ouest Méditerranéen ; EMDW : eau profonde du bassin Est Méditerranéen

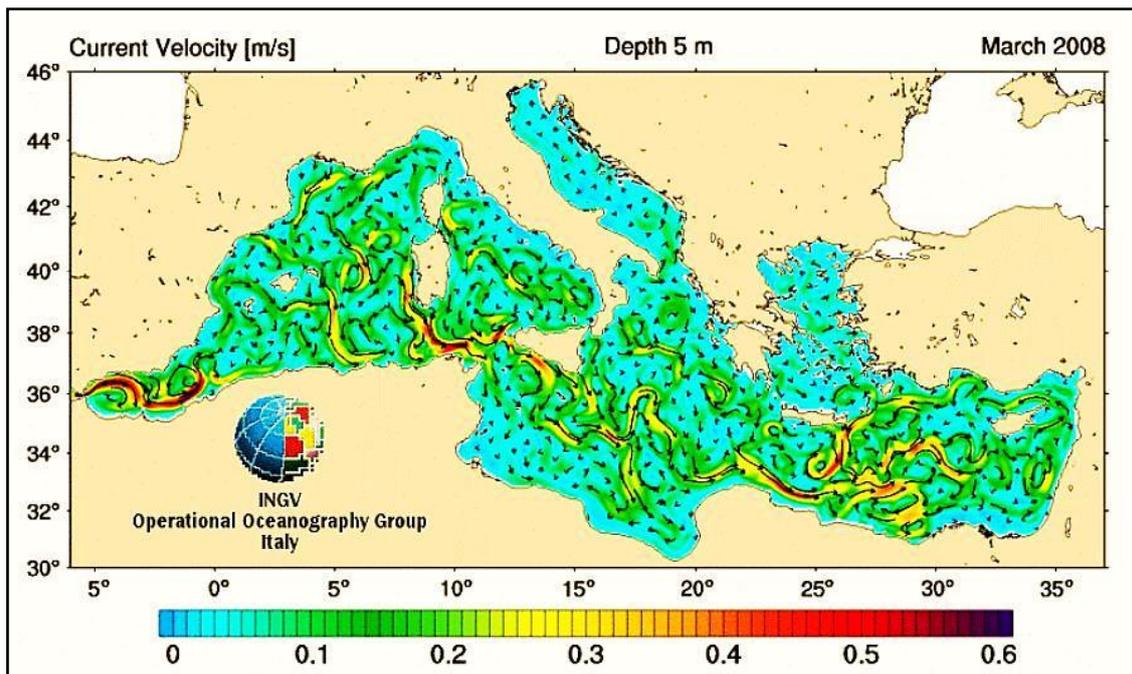


Figure 25 : Circulation de surface et vitesse des courants (*in* GRIMES, 2010)

4.2- Les houles :

Etant 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, tant que la profondeur est plus grande que la longueur d'onde de la houle. Ainsi la houle de la baie d'Oran suit le régime des vents, qui est un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (**LECLAIRE, 1972**).

En hiver, les houles sont de direction W-NW (300°) et, en été, elles sont de direction N-NE (20° - 40°) (**BENZOHRA, 1993 ; BELKESSA *et al.*, 2008**). 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 (**MILLOT, 1989**).

Dans le cas général de la houle de petites et de 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'à des fonds de "-40 m à - 60 m".

Partie IV :

Matériels et Méthode

Introduction :

Oran, grande métropole méditerranéenne, est citée parmi 120 principales villes côtières du bassin méditerranéen, qui sont dépourvues de systèmes d'épuration efficaces. Ces égouts, où aboutit la majeure partie des déchets ménagers et industriels, qui sont rejetés à la mer (BOUTIBA *et al*, 2003).

1- Localisation géographique des sites de prélèvement :

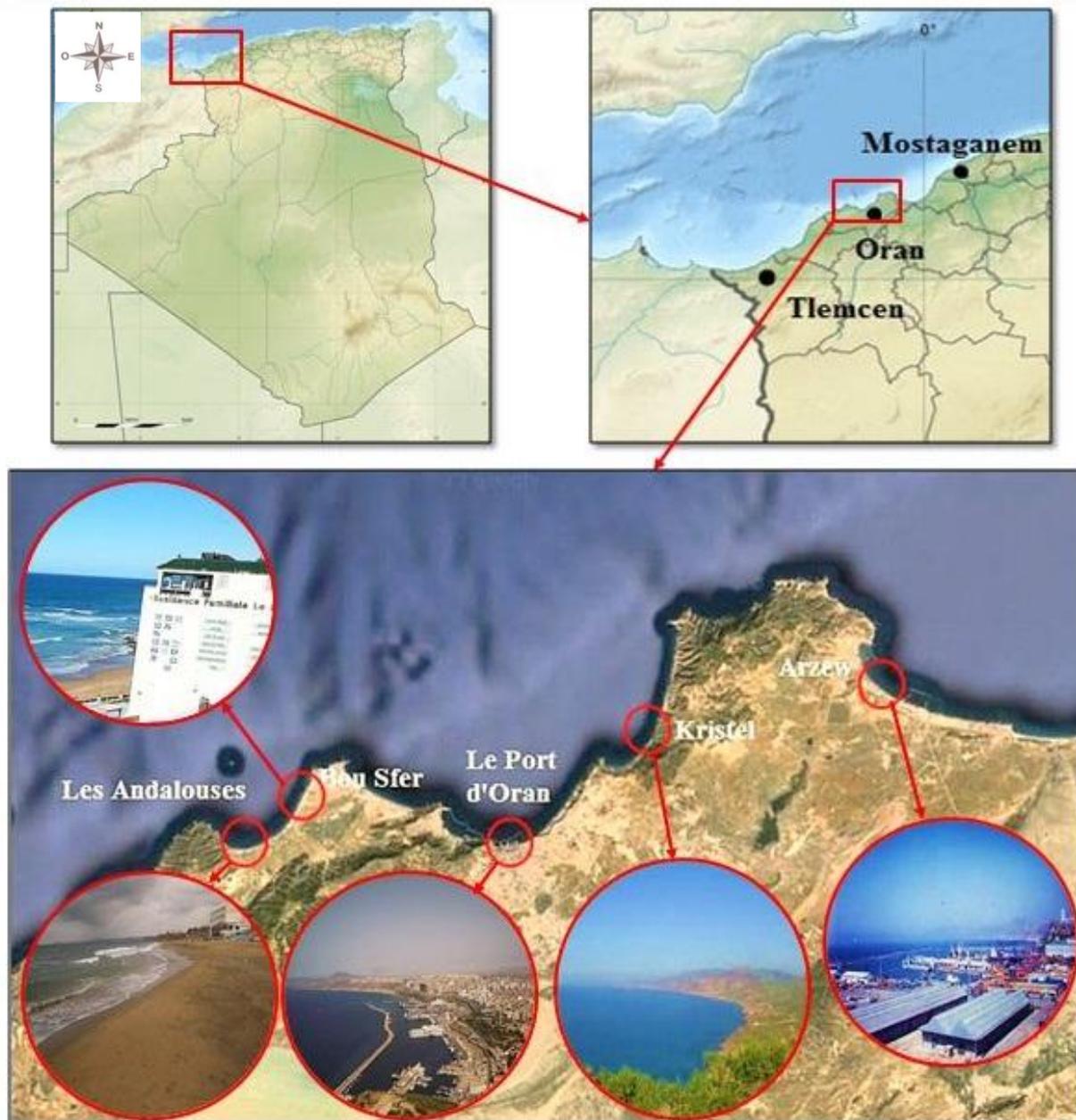


Figure 26 : Localisation géographique des sites de prélèvement

Notre zone d'étude est localisée au niveau du littoral occidental algérien, elle s'étale sur une frange du littoral oranais allant des Andalouses jusqu'à le Golf d'Arzew soit une longueur de 58,73 Km.

Cette zone est caractérisée par son agglomération urbaine et la présence d'activités industrielles ce qui a généré une augmentation considérable des rejets d'eaux usées déversés en mer sans traitement préalable. Ce type de pollution influence la qualité des eaux marines en provoquant la dégradation des écosystèmes littoraux.

Dans ce contexte, nous avons réalisé un programme d'échantillonnage dans le but d'évaluer la pollution marine causée par les eaux usées au niveau du littoral oranais durant la période allant de décembre 2013 à mai 2014 à raison d'un échantillonnage saisonnier.

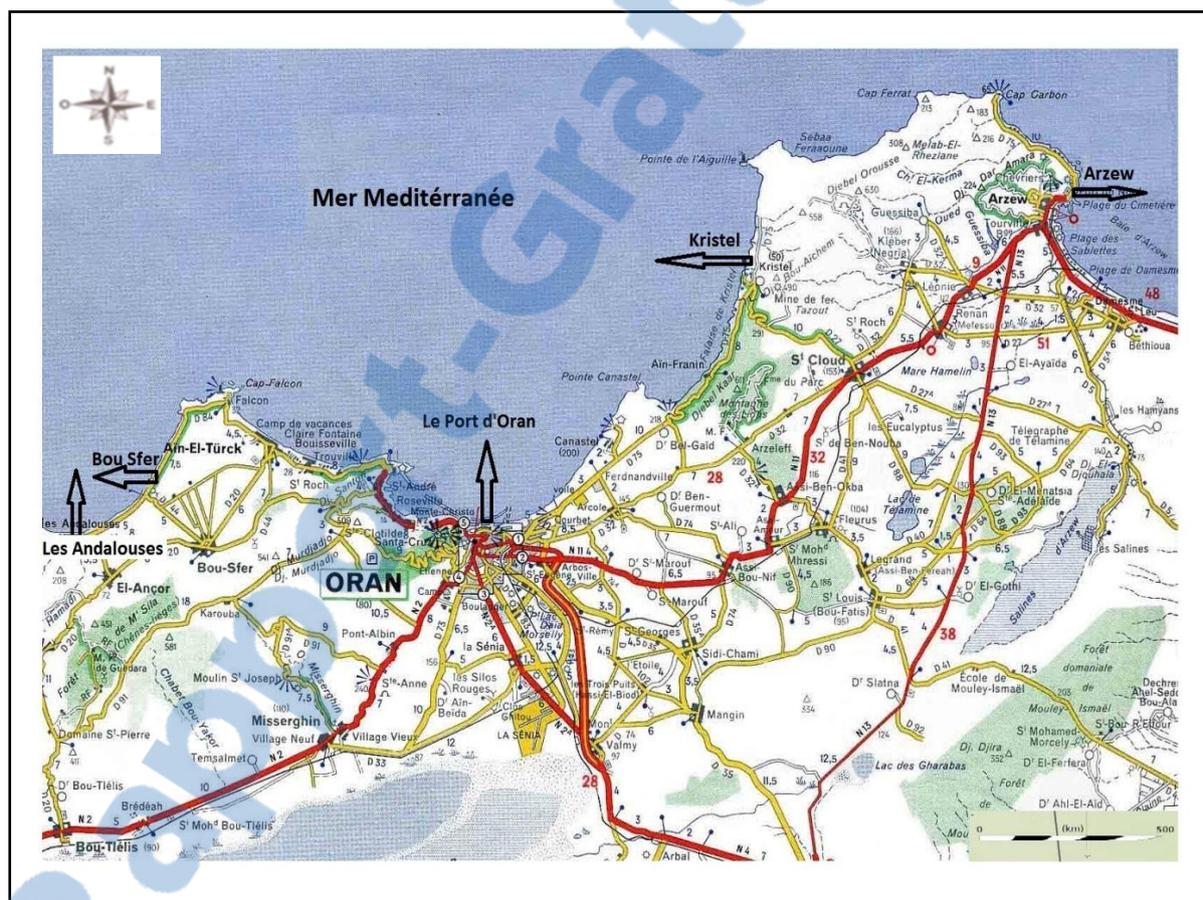


Figure 27 : Localisation des rejets étudiés

2- L'occupation du sol au niveau de la zone d'étude :

Les photos satellitaires suivantes montrent l'évolution de l'occupation du sol des différents sites le long du littoral oranais, cette augmentation urbaine se traduit par une augmentation des rejets des eaux usées.

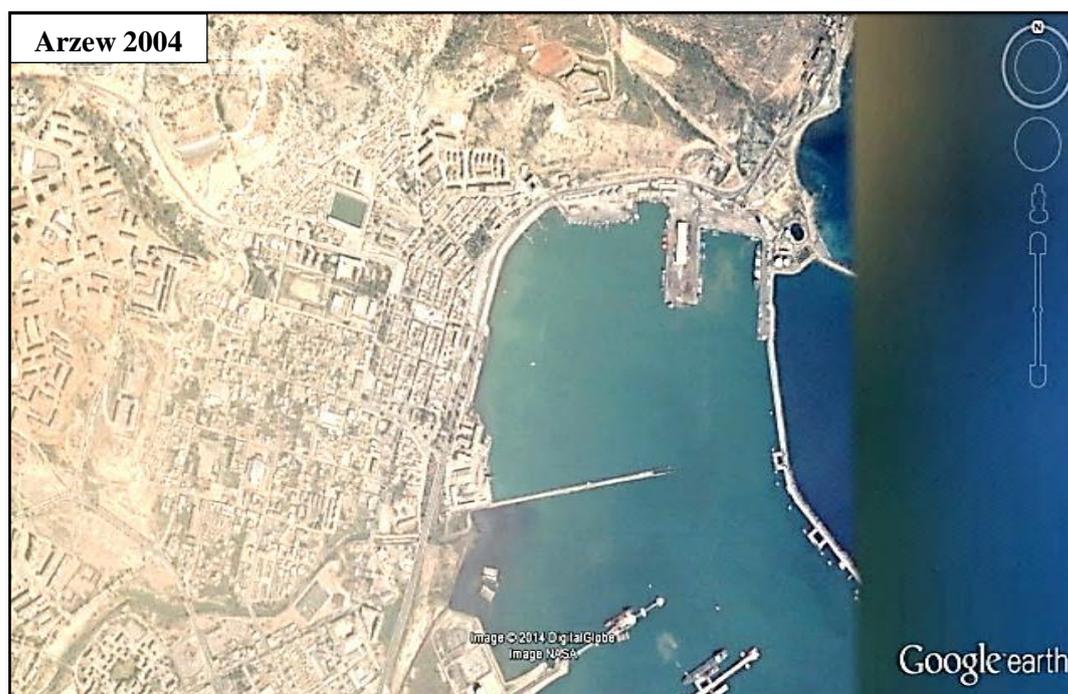
2.1- Arzew :

Le rejet d'Arzew est un rejet urbain, nous avons remarqué qu'il est caractérisé par un débit moyen au cours des campagnes d'échantillonnages réalisés.



Figure 28 : Rejet d'Arzew

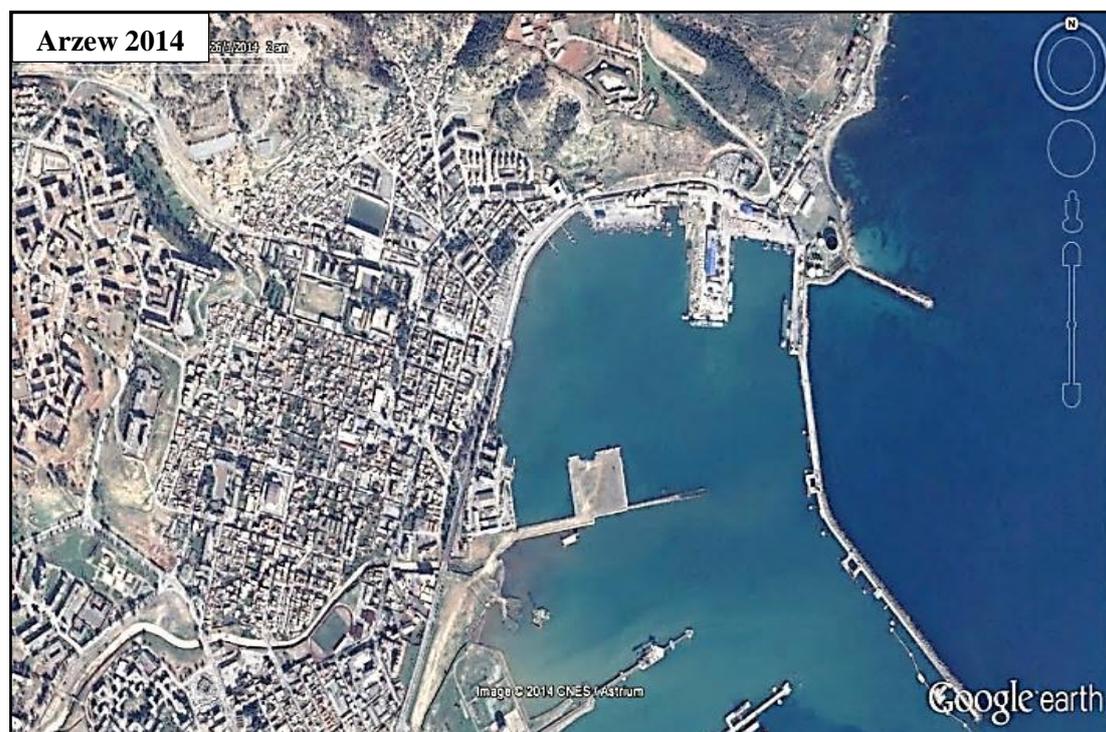
Les images satellitaires de 2004, 2011 et 2014 de la zone d'Arzew nous permettent de constater l'évolution non significative de l'urbanisation (Figure 29).



(a)



(b)



(c)

Figure 29 : Evolution de l'occupation du sol au niveau d'Arzew (Google Earth 2014)
(a) Arzew 2004; (b) Arzew 2011; (c) Arzew 2014.

2.2- Le Port d'Oran :

L'émissaire étudié au niveau du Port d'Oran est d'origine urbaine caractérisé par un faible débit durant toute la période d'étude.



Figure 30 : Rejet du Port d'Oran

Vu sa vocation portuaire qui date depuis 1831, les photos satellitaires du Port d'Oran de 2003, 2011 et 2014 ne montrent aucune différence dans l'évolution de son urbanisation (Figure 31).



(a)



(b)



(c)

Figure 31 : Evolution de l'occupation du sol au niveau du Port d'Oran (Google Earth 2014)
(a) Le Port d'Oran 2003; (b) Le Port d'Oran 2011; (c) Le Port d'Oran 2014.

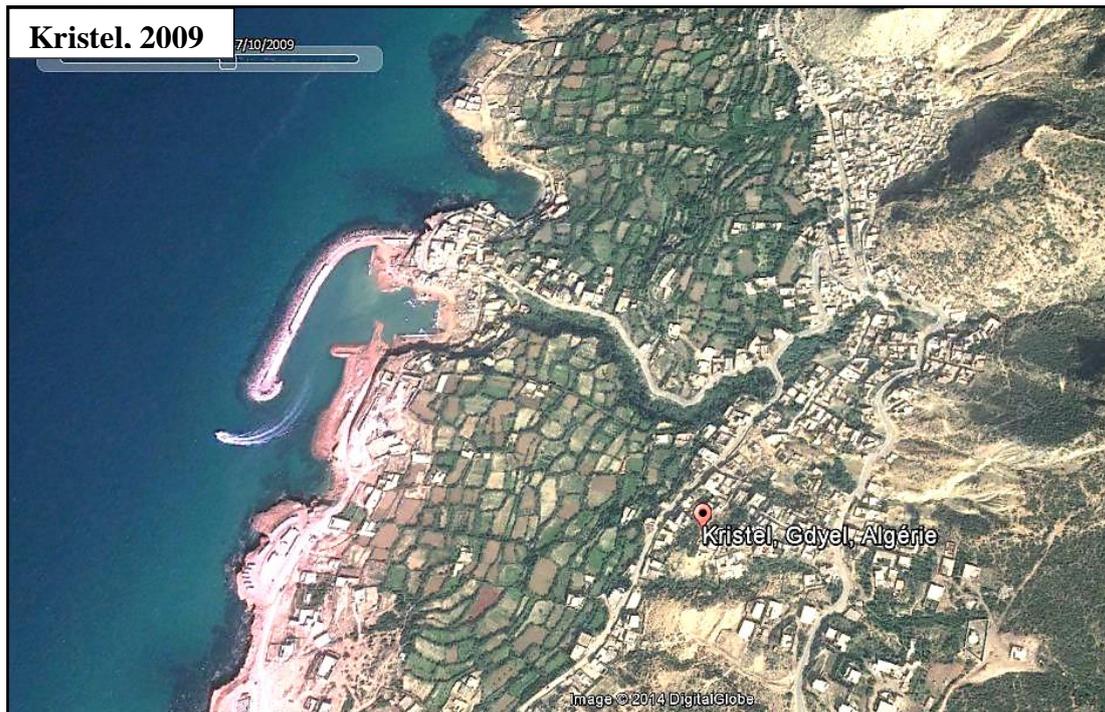
2.3- Kristel :

Au cours de notre investigation, nous avons remarqué que l'émissaire de Kristel est un rejet urbain à débit moyen.



Figure 32 : Rejet de Kristel

Les photos satellitaires de 2009, 2011 et 2014 montrent que la zone d'étude est principalement agricole. L'urbanisation au niveau de Kristel n'a pas évolué au cours de ces dernières années (Figure 33).



(a)



(b)



(c)

Figure 33 : Evolution de l'occupation du sol au niveau de Kristel (Google Earth 2014)
(a) Kristel 2009; (b) Kristel 2011; (c) Kristel 2014.

2.4- Bou Sfer :

Le rejet d'eaux usées étudié au niveau de Bou Sfer est caractérisé par son fort débit en automne et au printemps avec une diminution de ce débit en hiver.



Figure 34 : Rejet de Bou Sfer

Les photos satellitaires de 2003, 2011 et 2014 montrent une augmentation remarquable de l'agglomération urbaine au niveau de ce site (Figure 35), ce qui conduit à l'augmentation des rejets.



(a)



(b)



(c)

**Figure 35 : Evolution de l'occupation du sol au niveau de Bou Sfer
(Google Earth 2014)**

(a) Bou Sfer 2003; (b) Bou Sfer 2011; (c) Bou Sfer 2014.

2.5- Les Andalouses :

L'Oued des Andalouses est caractérisé par un fort débit en automne et en hiver à cause des précipitations et un moyen débit au printemps. L'Oued des Andalouses traverse les terrains agricoles d'El Ançor.



Figure 36 : L'Oued des Andalouses

La zone des Andalouses est la 1^{ère} zone d'expansion touristique, pour cela elle est connue par son agglomération urbaine. Selon les photos satellitaires de 2003, 2011 et 2014 nous remarquons qu'il n'existe pas une grande évolution urbaine à travers les années (Figure 37).



(a)



(b)



(c)

**Figure 37 : Evolution de l'occupation du sol au niveau des Andalouses
(Google Earth 2014)**

(a) Les Andalouses 2003; (b) Les Andalouses 2011; (c) Les Andalouses 2014.

3- Mode et méthode de prélèvement :

Dans le cadre de notre étude, nous avons réalisé trois campagnes d'échantillonnage, la 1^{ère} le 17 décembre 2013 durant la saison d'automne, la 2^{ème} le 3 mars 2014 durant la saison hivernale, et la dernière le 26 mai 2014 durant la saison printanière.

Nous avons prélevé des échantillons d'eaux usées au niveau des émissaires des différents sites étudiés, ainsi que des échantillons d'eau de mer.

Pour prélever un échantillon, il est recommandé d'utiliser un flacon en verre, de le maintenir stérilisé, de l'introduire sous la surface de l'eau à 15 – 30 cm en dessous du niveau de l'eau puis retirer le bouchon pour remplir le flacon afin d'éviter toute sorte de contamination de l'échantillon.



(a)



(b)

**Figure 38 : Mode de prélèvement des échantillons des eaux usées
(a) : Rejet d'Arzew ; (b) : L'Oued des Andalouses.**

4- Conservation des échantillons :

Après le prélèvement des échantillons, il est recommandé d'utiliser des agents conservateurs afin de stabiliser la quantité des polluants présente au niveau des échantillons. Dans notre cas, nous avons utilisé l'acide nitrique pour conserver les échantillons destinés au dosage des métaux lourds et le sulfate de manganèse et l'iodure de potassium pour stabiliser la quantité d'oxygène dissous dans nos échantillons.

Il est nécessaire de garder les échantillons dans une mallette isotherme de température comprise entre 0° et 4°C jusqu'à leur arrivée au laboratoire dans un délai qui ne dépasse pas les 24 heures.

5- Analyses et modes opératoires :

Les analyses des paramètres physico-chimiques et des paramètres indicateurs de pollution sont effectuées au niveau du laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (ANRH), et le dosage des métaux lourds est effectué au niveau du laboratoire technique du complexe gazier GNLZ1 du SONATRACH.

5.1- Mesure des paramètres physico-chimiques

5.1.1- Le pH :

Il est utilisé pour exprimer le degré d'ionisation de l'eau. Il indique le caractère alcalin ($\text{pH} > 7$), acide ($\text{pH} < 7$) ou neutre ($\text{pH} = 7$) de l'eau. C'est la mesure de la concentration en ions Hydronium (H_3O^+) provenant de la dissociation des molécules d'eau en protons H^+ . Il contrôle

les vies aquatiques et régule le processus d'épuration dans les plans d'eau. Le pH dans l'eau naturelle varie entre 6,6 et 7,8 (*in FONKOU, 1991*).

Nous avons mesuré le pH à l'aide d'un pH mètre de marque HEITO.

- Mode opératoire :
- Allumer et laisser chauffer l'appareil
- Appuyer sur la touche "M" marcher
- Appuyer sur la touche "pH"
- Régler la température à la température ambiante
- Régler l'étalonnage de l'électrode à 0,96 de la touche (dU/d pH)/UN
- Entrer l'électrode dans la solution d'étalon à pH = 7
- Rincer avec l'eau distillée
- Le même travail avec les deux solutions d'étalons à pH = 4 et pH = 9
- Rincer toujours avec l'eau distillée
- Passer l'échantillon et écrire le résultat



Figure 39 : pH mètre

5.1.2- La température :

La température de l'eau est fonction de la température ambiante, des processus chimiques et biochimiques qui ont lieu dans le milieu aquatique, de la température des affluents au cours d'eau. Elle influence beaucoup de phénomènes physico-chimiques tels que le pouvoir auto-épuration d'une eau polluée, la solubilité des gaz, la conductivité et le pH (**LEYNAUD, 1968**).

La prise de la température des échantillons est effectuée *in situ* par l'utilisation d'un thermomètre. Nous avons plongé le thermomètre dans les flacons, après la lecture de la

température, nous avons enregistré les valeurs de la température dans la fiche d'échantillonnage.

5.1.3- L'oxygène dissous :

C'est la concentration d'oxygène gazeux qui se trouve à l'état dissous dans une eau. L'oxygène dissous disponible est limité par la solubilité de l'oxygène (max 9 mg/l à 20°C) qui décroît avec la température et la présence de polluants dans les cours d'eau. Une faible teneur en oxygène dissous est synonyme d'une forte charge polluante ou d'une température élevée de l'eau. Paramètre important de l'écologie des milieux aquatiques, il est essentiel pour la respiration des organismes hétérotrophes. Il est exprimé en mg/l et se mesure par la méthode de WINKLER basée sur la fixation chimique de l'oxygène et son dosage colorimétrique (RODIER, 1996).

- Mode opératoire :

- Lors de l'échantillonnage, remplir complètement avec de l'eau à analyser un flacon en verre de 125 ml à col rodé. Ajouter rapidement à l'aide d'une pipette plongeant sous la surface du liquide :
 - 1 ml de sulfate de manganèse
 - 1 ml d'iodure de potassium
- Reboucher sans emprisonner de bulles d'air et agiter quand le précipité est formé,
- Au laboratoire, introduire de la même manière 2 ml d'acide sulfurique dilué à ½ et agiter, quand tout le précipité s'est dissout, prélever 100 ml de la solution et le mettre dans un erlenmeyer,
- Verser le thiosulfate jusqu'à l'obtention d'une couleur jaune claire, puis ajouter 5 ml d'indicateur à l'emploi d'amidon ce qui conduit à l'obtention d'une couleur violet foncée,
- Continuer le titrage par le thiosulfate jusqu'à la décoloration complète. Le volume de thiosulfate nécessaire à la décoloration indique la quantité d'oxygène dissous présente dans l'échantillon.

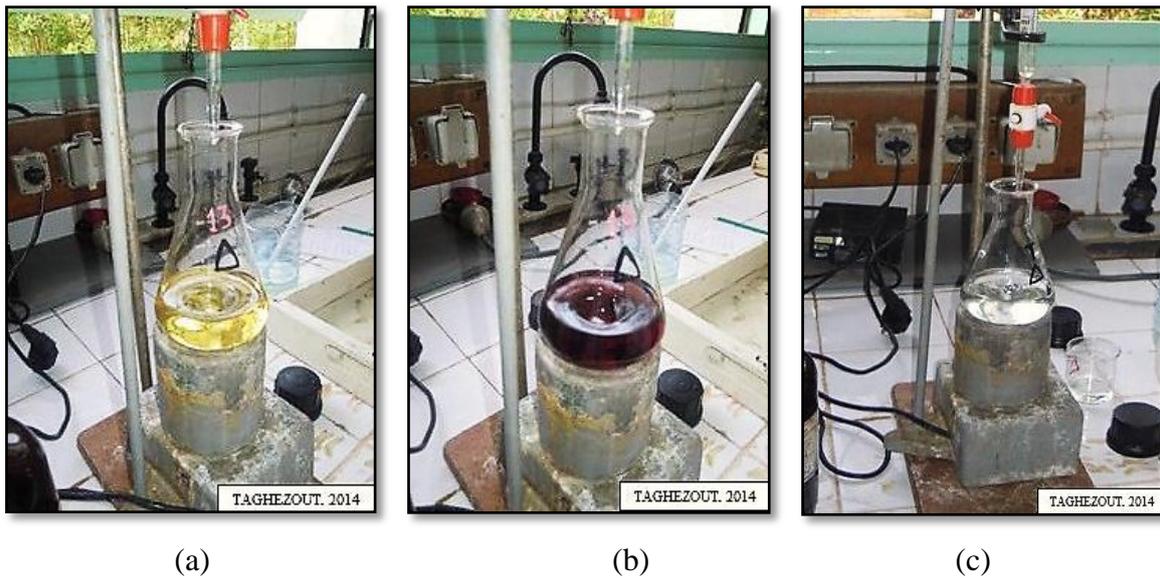


Figure 40 : Etapes d'analyse de l'oxygène dissous

(a) : la couleur obtenue après le titrage par le thiosulfate; (b) : La couleur obtenue après l'ajout de l'amidon; (c): La décoloration complète par le thiosulfate.

5.1.4- La conductivité électrique

C'est la quantité d'électricité transportée d'une électrode à l'autre à travers un secteur de 1 cm^2 , d'un conducteur ayant une différence de potentiel de 1 V/cm . Elle permet d'estimer le degré de minéralisation d'une eau et est liée à la force ionique. Elle est proportionnelle à la teneur en sels dissous (TDS). Elle s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S/cm}$) (PAYNE, 1986).

La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductimètre. Nous plongeons l'électrode successivement dans l'échantillon à mesurer et nous attendons la stabilité de la valeur sur l'écran pour lire le résultat.



Figure 41 : Conductimètre

5.2- Les paramètres indicateurs de pollution :

5.2.1- Les matières en suspension :

Ce sont des substances minérales ou organiques insolubles d'origines diverses. Suivant leur densité et les caractéristiques du milieu récepteur, elles évaluent la répartition de la charge polluante entre la pollution dissoute et la pollution sédimentée (BONTOUX, 1993). Elles sont exprimées en mg/l.

- Mode opératoire :

- Peser le filtre en fibre de verre de pore 1,5 μm à l'aide d'une balance de précision ;
- Faire passer l'échantillon de volume connu
- Incuber le filtre dans l'étuve à 150° C pendant 24h
- Peser à nouveau le filtre



(a)



(b)

Figure 42 : Matériel utilisé pour l'analyse des MES

(a) : Etuve ; (b) : Balance de précision utilisée pour la pesée du filtre.

- La quantité des matières en suspension est obtenue par l'expression suivante :

$$\text{MES (mg/l)} = (P2 - P1) / V$$

P1 = le poids du filtre avant la filtration de l'échantillon (exprimé en mg)

P2 = le poids du filtre après la filtration de l'échantillon (exprimé en mg)

V = le volume de l'échantillon filtré (exprimé en Litre)

5.2.2- La demande chimique en oxygène :

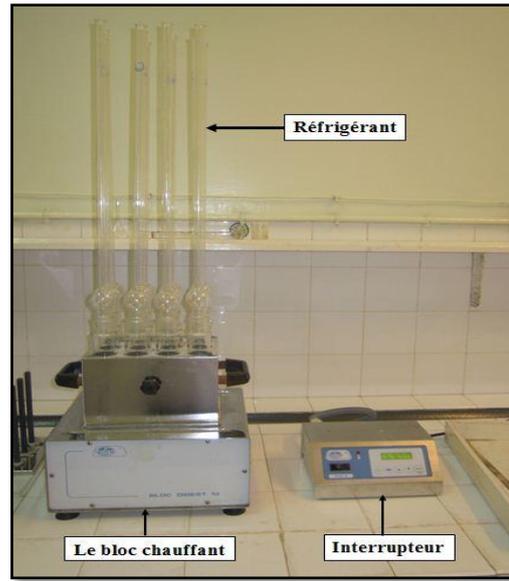
C'est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables par voie chimique dans les conditions opératoires définies (**BONTOUX, 1993**). En fait, la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, qu'elles soient d'origine organique ou minérale (chlorure, sulfure, fer ferreux, nitrite et ammoniac). La DCO est fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives et des possibilités de l'oxydation.

- Mode opératoire :

- Introduire 10 ml d'échantillon dans le tube à réaction,
- Ajouter 5 ml de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) et quelques billes de verre afin de régulariser l'ébullition,
- Ajouter lentement 15 ml de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) en milieu sulfurique,
- Installer le tube à réaction dans le porte-tubes et mettre l'ensemble dans le bloc chauffant,
- Connecter correctement le réfrigérant à air au tube à réaction,
- Enclencher l'interrupteur en position 1,
- Vérifier sur l'afficheur que le chiffre inscrit sous « PR » est 1 (c'est-à-dire le programme n°1 composé de : palier n°1 à 150° pendant 30 mn et palier n°2 à 170° pendant 60 mn,
- Démarrer l'analyse en appuyant sur « R/S »
- A la fin de l'analyse, l'appareil émettra une alarme, appuyer alors sur « R/S »
- Sortir le porte-tubes et le poser sur le support de refroidissement,
- Attendre 15 mn et rincer le réfrigérant toujours connecter au tube à réaction avec 75ml d'eau distillée,
- Laisser refroidir jusqu'à une température ambiante,
- Transvaser ensuite le contenu du tube à réaction dans un erlenmeyer de 500 ml et doser par le sel de Mohr $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2,6H_2O]$ à 0,12 moles/l] en présence de 2 gouttes de ferroïne,
- Un essai à blanc est réalisé dans les mêmes conditions de travail que l'échantillon en remplaçant l'échantillon par l'eau distillée



(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 43 : Analyse de la DCO

(a) Porte- tube contenant les tubes à réaction préparés ; (b) : Porte-tube placé dans le bloc chauffant ; (c) : Transvasement du contenu des tubes à réaction dans les erlenmeyers ; (e) : Dosage des échantillons par le sel de Mohr.

- La quantité de la DCO est obtenue par l'expression suivante :

$$DCO \text{ (mg d'oxygène /l)} = [8000 \times T \times (V2 - V1)]/PE$$

T : Titre de sel de Mohr

V1 : Volume de burette de l'échantillon

V2 : Volume de burette de l'essai d'échantillon

PE : Prise d'essai échantillon

8000 : La masse molaire de $\frac{1}{2} O_2$

5.2.3- La demande biochimique en oxygène :

C'est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes vivants pour assurer l'oxydation et la stabilisation des matières organiques présentes dans l'eau usée. Par convention, la DBO est la valeur obtenue après 5 jours d'incubation : DBO_5 . L'essai normalisé prévoit un ensemencement microbien à l'aide d'eau usée domestique, d'une eau de rivière ou d'un effluent de station et une incubation à 20°C. Dans le cas des eaux usées industrielles, l'ensemencement microbien, la durée d'incubation, la toxicité et la nitrification sont des facteurs pouvant influencer la DBO et doivent par conséquent être particulièrement pris en considération (**ECKENFELDER, 1982**). La DBO est le meilleur indicateur de pollution organique et peut beaucoup varier au cours de la journée.

- Mode opératoire :
- ❖ Préparation des réactifs :
 - Solution de phosphates :
 - 2,8 g de dihydrogénophosphate de potassium (KH_2PO_4)
 - 8,5 g de monohydrogénophosphate de sodium ($Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$)
 - 1 L d'eau distillée
 - Solution de chlorure de fer III :
 - 5 g du Chlorure de fer III ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$)
 - 10 ml d'acide chlorhydrique environ 1N (HCl)
 - 1 L d'eau distillée
 - Solution saline :
 - 2 g de sulfate de magnésium ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)
 - 2,5 g de chlorure de calcium ($CaCl_2$)
 - 0,2 g de chlorure d'ammonium (NH_4Cl)
 - 50 ml de solution de chlorure de fer III
 - 1 L d'eau distillée
- ❖ Les étapes de l'analyse :
 - Préparer l'eau de dilution par le mélange de 5 ml de la solution phosphates + 10 ml de la solution saline (les deux solutions sont préparées précédemment) + 1 L d'eau distillée,
 - Aérer la solution obtenue pendant 3 heures jusqu'à ce qu'elle contienne environ 8 mg/l d'oxygène en prenant toutes précautions utiles pour ne pas la contaminer par l'addition de matières organiques ou de métaux. Le jour de l'utilisation, ajouter 5 ml d'eau d'ensemencement à cette solution,
 - Diluer l'échantillon avec de l'eau de dilution. Le rapport de dilution est celui indiqué par la mesure de l'oxydation au permanganate,
 - Vérifier que le pH obtenu est compris entre 6 et 8 avant d'ajuster le volume, amener le pH à une valeur voisine de 7 (la neutralité) par l'addition d'acide sulfurique ou de soude (NaOH),
 - Doser l'oxygène dissous dans le mélange,

- Remplir complètement un flacon en verre à colle rodé avec ce mélange en veillant à ce qu'il ne reste aucune bulle d'air à l'intérieur,
- Pratiquer un essai témoin en dosant l'oxygène dissous dans l'eau de dilution, conserver les flacons à $20^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$ dans l'obscurité, mesurer l'oxygène dissout subsistant au bout de 5 jours.
- La DBO_5 égale à :

$$\text{DBO}_5 \text{ (mg d'oxygène/l)} = F (T_0 - T_5) - (F - 1) (D_0 - D_5)$$

T_0 : La teneur en oxygène (mg/l) de l'échantillon dilué au début de l'essai

T_5 : La teneur en oxygène (mg/l) de l'échantillon dilué au bout de 5 jours d'incubation

D_0 : La teneur en oxygène (mg/l) de l'eau de dilution au début de l'essai

D_5 : La teneur en oxygène (mg/l) de l'eau de dilution au bout de 5 jours d'incubation

F : Facteur de dilution choisi tel que : $0,4 T_0 \leq T_0 - T_5 \leq 0,6 T_0$

5.2.4- La matière organique :

Les matières organiques sont des substances composées essentiellement de chaînes de carbone. La plupart des milliers de composés organiques que l'on trouve dans l'eau sont des produits chimiques produits par l'homme ; ces produits chimiques de synthèse comprennent les pesticides, les solvants et d'autres produits chimiques industriels. Certains matières organiques provenant des décharges ruissellent avec les eaux de surface ou gagnent les eaux souterraines. D'autres, comme les pesticides, s'infiltrent dans le sol jusqu'à la nappa phréatique, ou contaminent les eaux de surface par les écoulements des fermes ou des résidences. Certaines usines rejettent des matières organiques directement dans les voies d'eau. (BERG *et al.*, 2009)

- Mode opératoire :

❖ Milieu acide :

- Mettre dans un erlen : 100 ml de l'échantillon + 10 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) au $\frac{1}{2}$, faire ébouillir sur plaque chauffante 10 mn exactement,



Figure 44 : Erlen portés à l'ébullition

- Refroidir rapidement et ajouter 20 ml de sulfate ferreux ammoniacal N/80,
- Doser l'excès de sulfate ferreux par du permanganate de potassium (KMnO_4) N/80,
- Pratiquer un essai témoin dans les mêmes conditions que l'échantillon,
- La formule utilisée pour obtenir la quantité de la matière organique est la suivante :

$$\text{MO (mg/l)} = V_t - V_0$$

V_t : Le volume de permanganate de potassium nécessaire au dosage de l'excès de sulfate ferreux

V_0 : Le volume du permanganate utilisé pour le dosage du témoin

Si la quantité de la matière organique trouvée $>3,5$ mg/l, accéder à la dilution de l'échantillon

- ❖ Milieu alcalin :
 - Mettre dans un erlen : 100 ml de l'échantillon + 5 ml de solution à 10% de bicarbonate de sodium puis porter à l'ébullition,
 - Ajouter 5 ml de permanganate de potassium N/20
 - Maintenir l'ébullition 10 mn exactement
 - Refroidir et ajouter 5 ml d'acide sulfurique au $\frac{1}{2}$ puis 20 ml de sulfate ferreux ammoniacal N/80,
 - La formule utilisée pour le calcul :

$$\text{MO (mg/l)} = 0,6 (V_t - V_0)$$

5.2.5- Analyse du phosphore total :

Le phosphore est une substance nutritive essentielle pour les organismes aquatiques. Comme il ne parvient naturellement qu'en petites quantités dans les eaux, les apports liés aux activités humaines conditionnent la croissance des plantes aquatiques (OFEFP, 2004).

- Mode opératoire :

- Ajouter 50 ml de l'échantillon dans un erlen de 125 ml + 1 ml d'acide sulfurique 31% + 0,4 g de persulfate d'ammonium
- Porter à l'ébullition pendant 45 mn jusqu'à la réduction du volume total à 10 ml,
- Ajouter une goutte de phénolphtaléine, alcaliniser par la soude (NaOH) jusqu'à l'obtention d'une couleur rose,
- Ajouter l'acide sulfurique jusqu'à la décoloration complète,
- Laisser refroidir et compléter le volume jusqu'à 50 ml par l'eau distillée,
- Préparer le mélange suivant : 3 volumes de molybdate d'ammonium + 1 volume d'acide ascorbique,
- Mettre dans un tube à essai 20 ml de l'échantillon + 5 ml du réactif mélangé, porter à l'étuve à 80° C pendant 20 mn,
- Laisser refroidir et mesurer l'absorption à 825 nm



(a)



(b)

Figure 45 : Analyse du phosphore total

(a) : La couleur rose obtenue après l'acidification par la soude ; (b) : Les échantillons après l'incubation à l'étuve.

5.2.6- Les sels nutritifs :

a) Le dosage de nitrate :

Les nitrates NH_3^- sont des ions minéraux nutritifs solubles dans l'eau, qui sont directement assimilable par les plantes. (BLIEFERT et PERRAUD, 2011)

Le nitrate représente la plus stable des deux formes de l'azote, mais sous l'action microbienne, il peut être réduit en nitrite (NO_2^-), qui est la forme la plus toxique. Il est présent à l'état naturel partout dans l'environnement. Il est le produit de l'oxydation de l'azote de l'atmosphère (représente 78%) par les microorganismes des plantes, du sol ou de l'eau et, dans une moindre mesure, par les décharges électriques comme la foudre.

Toutes les sources d'azote sont des sources potentielles de nitrate. Dans l'eau, ces substances peuvent provenir de la décomposition de matières végétales ou animales, d'engrais utilisés en agriculture, du fumier, d'eaux usées domestiques et industrielles, des précipitations ou de formations géologiques renfermant des composés azotés solubles. Normalement, la concentration de nitrates dans les eaux souterraines et les eaux de surface est faible, mais elle peut atteindre des niveaux élevés à cause du lessivage des terres cultivées ou de la contamination par des déchets d'origine humaine ou animale.

- Mode opératoire :

❖ Les mélanges à préparer au moment de l'emploi :

○ Solution réductrice :

- 25 ml de sulfate de cuivre
- 25 ml d'hydrazine
- 1 L d'eau distillée

○ Solution de soude 0,05 M :

- Diluer 20 fois la solution de réserve 1 M, soit 50 ml par litre d'eau distillée

○ Mélange colorant (conservé dans un flacon brun) :

- 10 ml d'acétone
- 20 ml d'acide sulfanilique
- 20 ml d'E.D.T.A.
- 20 ml d'acétate de sodium
- 20 ml d'alpha-Naphtylamine
- 1 L d'eau distillée
- Ajouter l'Alpha-Naphtylamine en dernier et après dilution pour éviter la formation d'un précipité blanc laiteux.

❖ Les étapes de l'analyse :

- Introduire dans un erlen de 100 ml : 1 ml d'échantillon + 5 ml de la solution de soude 0,05 M + 5 ml du mélange réducteur

- Agiter après chaque addition puis attendre 1 heure avant d'ajouter 40 ml du mélange colorant,
- Laisser la coloration se développer dans l'obscurité pendant 15 mn, mesurer sa densité à 520 nm à l'aide d'un colorimètre.



Figure 46 : Mesure colorimétrique par un colorimètre

- La réaction des nitrates est partielle et varie avec le temps et la température. Donc il est nécessaire d'accompagner toujours la mesure de l'échantillon d'une mesure de l'étalon, traité dans les mêmes conditions.

b) Le dosage de nitrite :

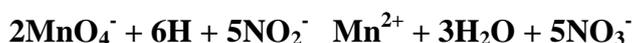
Substances chimiques naturelles qui entrent dans le cycle de l'azote. C'est un composé minéral d'azote et d'oxygène de formule NO_2^- . Il est le premier résultat de la dégradation des organismes végétaux et animaux en milieu aqueux. Très toxique, il est rapidement et naturellement oxydé en ion nitrate.

Des concentrations élevées d'azote dans l'eau, combinées à la présence de phosphore peuvent occasionner une prolifération de plantes et d'algues, qui réduisent la teneur en oxygène, parfois jusqu'à une teneur létale. Dans certains cas, la prolifération d'algues entraîne la production de toxines, qui peuvent nuire à la santé des organismes aquatiques ou des humains qui les consomment.

- Mode opératoire :

❖ Titration de solution de nitrite :

- Le nitrite est oxydé au moyen d'un excès de permanganate de potassium. L'excès d'oxydant est ensuite dosé par iodométrie :



- Ajouter 10 ml permanganate de potassium à 0,01N + 2 ml d'acide sulfurique au ½ + 20 ml de solution de nitrite et agiter,
- Ajouter 5 ml d'iodure de potassium à 10%
- Soit V le volume de thiosulfates de sodium nécessaire pour l'échantillon et V₀ le volume trouvé pour un témoin effectué avec de l'eau distillée, la concentration de nitrite en mg/l égale :

Titre de thiosulfate de sodium x [(V₀ – V) x 23000]/PE

- A partir de cette solution de nitrite, préparer une solution à 1 mg/l de NO₂⁻.
- ❖ Les étapes de l'analyse :
 - Si l'échantillon est coloré par des acides humiques, l'acidifier par l'acide sulfurique (1 ml/l d'acide sulfurique) et filtrer.
 - Prélever 50 ml de l'échantillon, ajouter 1 ml de solution E.D.T.A. + 1 ml d'acide sulfanilique,
 - Agiter et attendre 10 mn avant d'ajouter 1 ml d'alpha-naphtylamine + 1 ml de la solution de tampon acétate puis agiter et attendre 30 mn,
 - Effectuer la mesure colorimétrique à 520 nm.
 - La droite étalon est obtenue avec des étalons préparés à partir de la solution à 1 ml/l.
 - Solutions étalons : prendre successivement 1, 2, 4, 6, 8, 10 ml de la solution à 1 mg/l de NO₂ et compléter par de l'eau distillée à 50 ml pour obtenir des solutions étalons respectivement 0,02 ; 0,04 ; 0,08 ; 0,12 ; 0,16 et 0,20 mg/l de NO₂.

c) Le dosage d'ammonium :

L'ion ammonium, NH₄⁺, est la forme réduite de l'azote. Il provient principalement de la décomposition des protéines naturelles contenues dans le phytoplancton et les micro-organismes. Il peut être aussi issu de l'apport d'effluents urbains épurés, de rejets industriels ou agricoles. Il se trouve dans les eaux naturelles à des concentrations qui peuvent varier de 0,1 à plus de 10 mg/l.

L'ion ammonium ne présente pas un caractère nocif pour la santé, mais sa présence, en particulier dans les eaux de surface, peut être considéré comme un indicateur de pollution. Cependant, il constitue un élément gênant, car il interfère avec la chloration pour former des chloramines modifiant l'odeur et le goût de l'eau (goût de chlore), et il est aussi un aliment pour certaines bactéries qui peuvent ainsi proliférer dans les réseaux de distribution. Il convient donc de l'éliminer de l'eau destinée à la consommation humaine.

- Mode opératoire :

- Si l'échantillon est coloré par des acides humiques, il faut l'acidifier par de l'acide sulfurique (1ml d'acide sulfurique concentré) et filtrer.
- Mélanger 20 ml de l'échantillon + 2 ml réactif mélangé + hypochlorite à 2° Cl : 0,5ml, à ce moment la coloration bleue se développe,
- Laisser les flacons à l'obscurité pendant 1 heure 30 mn.

- Effectuer la mesure colorimétrique à 625 nm.

5.3- Les métaux lourds :

5.3.1- Le plomb :

Le plomb est un métal non essentiel et est moins biodisponible que les autres métaux (**VAN DER PERK, 2006**). Sa concentration dans la croûte terrestre est de l'ordre de 8 à 20 µg/g (0,002%). La plupart des eaux naturelles ne contiennent le plomb qu'à l'état de traces ; ou bien à des concentrations maximales de 40 µg/l. L'analyse de cet élément dans les eaux souterraines montre des teneurs allant de 1 à 60 µg/l (**LEVESQUE, 1976**). Les eaux salées révèlent une valeur de 0,3 µg/g de plomb (**McNEELY *et al.*, 1980**). L'atmosphère est son principal vecteur vers les océans.

- Le plomb en milieu marin :

En milieu marin, le plomb se concentre en fort pourcentage dans les eaux de surfaces ce qui confirme que cet apport essentiel en plomb provient de l'atmosphère. La teneur en plomb diminue avec la profondeur (**IDA DE GREGORI, 1988**). La forme inorganique reste négligeable devant la forme organique. L'eau de mer en contient en moyenne 0,03 µg/l (**AUBERT, 1987**). On estime à 25000 tonnes l'apport annuel en plomb à l'océan, résultant de l'usage des alkyl-plomb comme anti-détonnant (**RAMADE, 1982**). La vie aquatique peut être perturbée à partir 0,1 mg/l (*in* **BENGUEDDA-RAHAL, 1993**).

5.3.2- Le zinc :

Le zinc est un métal ductile, bleu-gris. Il réagit avec les bases et les acides. Il ternit au contact de l'air. Sa densité 7,14 et sa température de fusion est de l'ordre de 419° C, alors que sa température d'ébullition est de 907° C. En solution aqueuse, le zinc a tendance à former des complexes covalents avec les molécules d'eau pour donner des ions tétraédriques. En solution fortement basique, on assiste à une dissolution de ce composé tout en donnant l'ion zincate (**LEBLANC *et al.*, 2004**).

- Le zinc en milieu marin :

Le zinc est un micronutriment essentiel à la vie d'un grand nombre d'organismes, mais toxique à plus forte dose (**NEFF, 2002**). Leur accumulation est régulée par de nombreuses espèces aquatiques telles que les Annélides, les Mollusques, les Crustacés, les Poissons et les Mammifères (**CHONG et WANG, 2001**). Dans l'eau, le zinc est présent sous forme hydratée (M²⁺), complexée par des ligands (**GILBIN, 2001**). Selon **ASSO (1982)**, le zinc à une concentration comprise entre 10 et 40 µg/l s'avère néfaste sur la vie des organismes marins.

5.3.3- Le cadmium :

C'est un métal blanc présentant des reflets bleu pale, mou et malléable. Il fond à 320,9°C et bout à 767° C. sa masse spécifique (densité) est de 8,65 g/cm³. Il ternit au contact

de l'air. Il réagit avec les acides et les bases. Lors de l'ébullition du cadmium, il se dégage des vapeurs toxiques de couleur jaune. C'est l'un des rares éléments qui n'a aucune fonction constructive dans le corps humain. Le cadmium est très toxique, il peut être dangereux pour la santé. (AYLETT, 1979)

- Le cadmium en milieu marin :

Le cadmium est un élément rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimiques (minérale ou organique). Un ensemble de variables physicochimiques du milieu (pH, salinité, potentiel redox, caractéristiques sédimentologiques, nature géochimique des particules, concentration en chlorures) gouvernent les transformations du cadmium dans l'environnement (GONZALEZ *et al.*, 1999 ; CHIFFOLEAU *et al.*, 2001). L'ion libre du cadmium se trouve majoritairement dans le milieu. Ainsi, à pH = 8, la quasi-totalité du cadmium est présent sous forme Cd^{2+} . Plus la salinité augmente, plus la concentration en Cd^{2+} diminue (CAMPBELL, 1995).

Les concentrations en cadmium dans les eaux de surface de la méditerranée sont inférieures à 0,5-12 mg/l (KREMLING, 1985 ; COSSA, 1987)

- Le mode opératoire :

Le dosage des métaux lourds est effectué à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme muni d'un four à graphite de type PERKIN ELMER ANALYST-100-VERSION 1.10.

- Allumer l'appareil, choisir la méthode d'analyse (SAA ou four à graphite) dans notre cas, nous choisissons le spectrophotomètre d'Absorption atomique,
- Choisir les lampes à utiliser, dans notre cas, nous choisissons la lampe du Plomb, du Zinc et celle du Cadmium,
- Définir le temps pour calculer la concentration des métaux à 0,3 sec,
- Définir le nombre de lecture à 3 lectures,
- Choisir le nombre des chiffres après la virgule. Nous avons choisi 3 chiffres,
- Ouvrir le bouchon d'acétylène et celui de l'air,
- Allumer la flamme,
- Standardiser par l'eau bi-distillée (standard = 0),
- Standardiser par les standards des métaux lourds à analyser. Dans notre cas, nous avons utilisé deux standards pour chaque métal (Pb = 2 et 4 ; Zn = 2 et 4 ; Cd = 2 et 4)
- Rincer par l'eau bi-distillée,
- A ce moment, la calibration est rétablie et la courbe d'étalonnage est tracée,
- Faire passer l'échantillon et enregistrer les résultats après la lecture,
- Si les résultats obtenus sont situés hors la courbe d'étalonnage ($[C] \geq 5$), nous accédons à la dilution des échantillons.



(a)



(b)



(c)

**Figure 47 : Dosage des métaux lourds
(a) : SAA ; (b) : La flamme ; (c) : Manipulation des analyses.**

Partie V :

Résultats et Discussion

Introduction :

Cette partie représente les différents résultats obtenus à partir des échantillons prélevés des différents sites d'étude.

Cette analyse va nous permettre de préciser l'état actuel de la pollution marine de la côte oranaise, grâce à leur interprétations et leurs comparaisons pour qu'ils soient exploitables.

1- Etude qualitative :

Les résultats des valeurs moyennes sont regroupés dans le tableau suivant (Tableau 10) :

Rapport-Gratuit.com

Tableau 10 : Résultats moyennes des paramètres

Le site Paramètre	Kristel		Arzew		Le Port d'Oran		Bou Sfer		Les Andalouses	
	Eau de mer	Eaux usées	Eau de mer	Eaux usées	Eau de mer	Eaux usées	Eau de mer	Eaux usées	Eau de mer	Eaux usées
Température C°	16 (±4,58)	16,33 (±1,52)	15 (±2)	19,33 (±2,51)	16,66 (±2,51)	17,66 (±1,52)	16,66 (±3,51)	18 (±1)	18 (±2,64)	19 (±2)
pH	8,07 (±0,32)	7,28 (±0,35)	8,21 (±0,04)	7,39 (±0,18)	7,56 (±0,06)	7,2 (±0,27)	8,07 (±0,33)	7,2 (±0,51)	8,14 (±0,01)	7,93 (±0,37)
Conductivité (µS/cm)	36733,33 (±208,16)	2376,66 (±84,85)	37233,33 (±70,71)	6366 (±595,82)	34933,33 (±424,26)	22320 (±1909,18)	36633,33 (±378,59)	1724,66 (±21,21)	35766,66 (±1709,77)	2380 (±42,42)
MES (mg/l)	345,33 (±7,07)	554,33 (±57,27)	322 (±41,01)	496,66 (±80,61)	810 (±176,77)	2049,33 (±289,91)	314 (±41,01)	294 (±82,02)	342 (±127,81)	421,33 (±77,78)
Nitrate (mg/l)	1,66 (±0,57)	2,33 (±0,57)	1,66 (±0,57)	2,33 (±0,57)	2,66 (±0,70)	2 (±1)	1,66 (±0,57)	2,33 (±0,57)	2,66 (±0,70)	32,66 (±8,73)
Nitrite (mg/l)	0,036 (±0,025)	0,136 (±0,03)	0,03 (±0,01)	0,166 (±0,02)	0,066 (±0,025)	0,123 (±0,02)	0,046 (±0,02)	0,226 (±0,04)	0,103 (±0,007)	0,993 (±0,01)
Ammonium (mg/l)	4,546 (±0,01)	109,93 (±9,19)	0,626 (±0,29)	89,5 (±2,82)	1,576 (±0,37)	11,166 (±4,94)	4,046 (±0,02)	92,5 (±5,3)	0,216 (±0,03)	1,583 (±0,82)
DCO (mg/l)	1449,66 (±67,88)	646,33 (±64,34)	1620,66 (±53,11)	636,8 (±108,61)	1396,2 (±68,16)	642,53 (±102,74)	1607,26 (±68,66)	485,2 (±43,84)	1536,66 (±135,85)	98 (±26,87)
DBO5 (mg/l)	555,33 (±75,83)	262,8 (±7,77)	570,76 (±36,06)	208,53 (±79,98)	498,63 (±58,40)	251,1 (±3,95)	612,63 (±24,18)	180,03 (±29,34)	610,46 (±51,47)	25 (±6,36)
Oxygène Dissous (mg/L)	4,83 (±0,84)	0 (±0)	7,26 (±0,91)	0,66 (±0,57)	4,3 (±0,98)	0,93 (±0,56)	5,53 (±1,95)	2,5 (±2,78)	6,3 (±1,15)	6,3 (±1,99)
Phosphore Total (mg/l)	1,43 (±0,32)	34 (±0,77)	0,82 (±0,45)	22,03 (±1,13)	0,82 (±0,28)	5,84 (±1,65)	1,09 (±0,55)	20,80 (±2,22)	0,56 (±0,13)	2,08 (±0,57)
MO (mg/l)	71 (±9,19)	69,66 (±2,12)	54,5 (±1,06)	61,66 (±3,51)	71 (±12,72)	63,66 (±3,53)	63 (±4,24)	62 (±12,72)	53,5 (±1,76)	15,83 (±4,8)
Pb (µg/l)	0,069 (±0,04)	0,003 (±0,002)	0,055 (±0,016)	0,051 (±0,03)	0,073 (±0,07)	0,170 (±0,029)	0,192 (±0,05)	0,120 (±0,007)	0,001 (±0)	0,071 (±0,049)
Zn (µg/l)	0,247 (±0,04)	0,148 (±0,06)	0,12 (±0,019)	0,176 (±0,06)	0,218 (±0,049)	0,536 (±0,09)	0,20 (±0,07)	0,243 (±0,06)	0,273 (±0,22)	0,319 (±0,02)
Cd (µg/l)	1,853 (±1,27)	1,230 (±0,86)	0,215 (±0,10)	0,413 (±0,28)	2,237 (±1,56)	8,585 (±6,07)	0,586 (±0,54)	0,248 (±0,14)	4,450 (±3,14)	3,065 (±2,16)

 Valeurs moyennes maximales.

 Valeurs moyennes minimales.

2- Résultats des paramètres physicochimiques :

2.1- Le pH :

Le pH est un paramètre important qui représente le degré d'ionisation du milieu étudié, il nous donne une indication sur le niveau de la pollution de l'eau. Il doit être étroitement surveillé au cours de la période de prélèvement (**BRISOU et DENIS, 1980**).

Les valeurs moyennes saisonnières du pH enregistrées dans les eaux usées varient entre 7,93 ($\pm 0,37$) et 7,2 ($\pm 0,5$) avec une valeur maximale (8,27) enregistrée au niveau des Andalouses en automne et une valeur minimale (6,8) enregistrée au niveau de Bou Sfer en hiver.

Les valeurs moyennes du pH enregistrées dans les eaux de mer varient entre 8,21 ($\pm 0,04$) et 7,56 ($\pm 0,06$) avec un maximum enregistré en automne au niveau du Kristel (8,29) et un minimum enregistré au printemps au niveau du Port d'Oran (7,49).

Les résultats obtenus restent dans les normes mondiales qui recommandent un pH des rejets compris entre 6,5 et 8,5.

Les valeurs observées révèlent que le pH est légèrement neutre à alcalin au niveau de tous les sites. En effet, les résultats enregistrés indiquent un milieu récepteur possédant un équilibre en système de gaz carbonique (CO_2) analogue à celui de l'océan mondial et dont le potentiel d'hydrogène fluctue autour de 6.88 et 8.89.

En comparant entre les résultats obtenus au niveau des rejets et d'eau de mer de tous les sites, nous trouvons que le pH au niveau d'eau de mer est supérieur à celui des eaux usées (Figure 48).

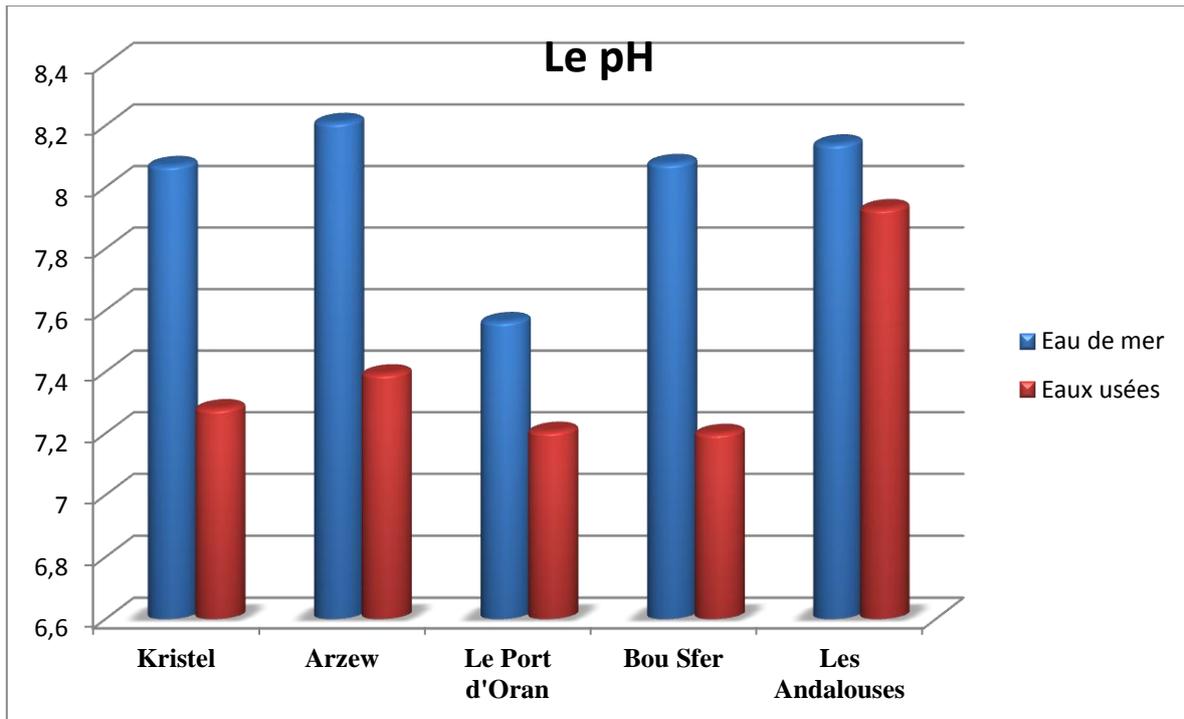


Figure 48 : Valeurs moyennes du pH.

2.2- La température :

La température des eaux usées mesurée au niveau des sites d'étude durant la période d'échantillonnage révèle des moyennes saisonnières comprises entre 19,33°C ($\pm 2,51$) et 16,33°C ($\pm 1,52$). La valeur la plus élevée est enregistrée au printemps au niveau d'Arzew (22°C) et la plus basse est enregistrée en hiver au niveau de Kristel (15°C).

Les valeurs moyennes de température enregistrées dans l'eau de mer des sites étudiés varient entre 18°C ($\pm 2,64$) et 15°C (± 2) avec un maximum enregistré au printemps à Kristel (21°C) et un minimum enregistré en hiver à Arzew (12°C).

Selon les résultats enregistrés, nous remarquons que la température des eaux usées est légèrement supérieure à celle d'eau de mer au niveau de tous les sites (Figure 49).

Malgré cette différence remarquée entre l'eau de mer et l'eau usée, nos résultats obtenus sont dans les normes (inférieur à 30°C) qui est considérés comme la valeur limite de rejet direct dans le milieu récepteur (JO, 2006).

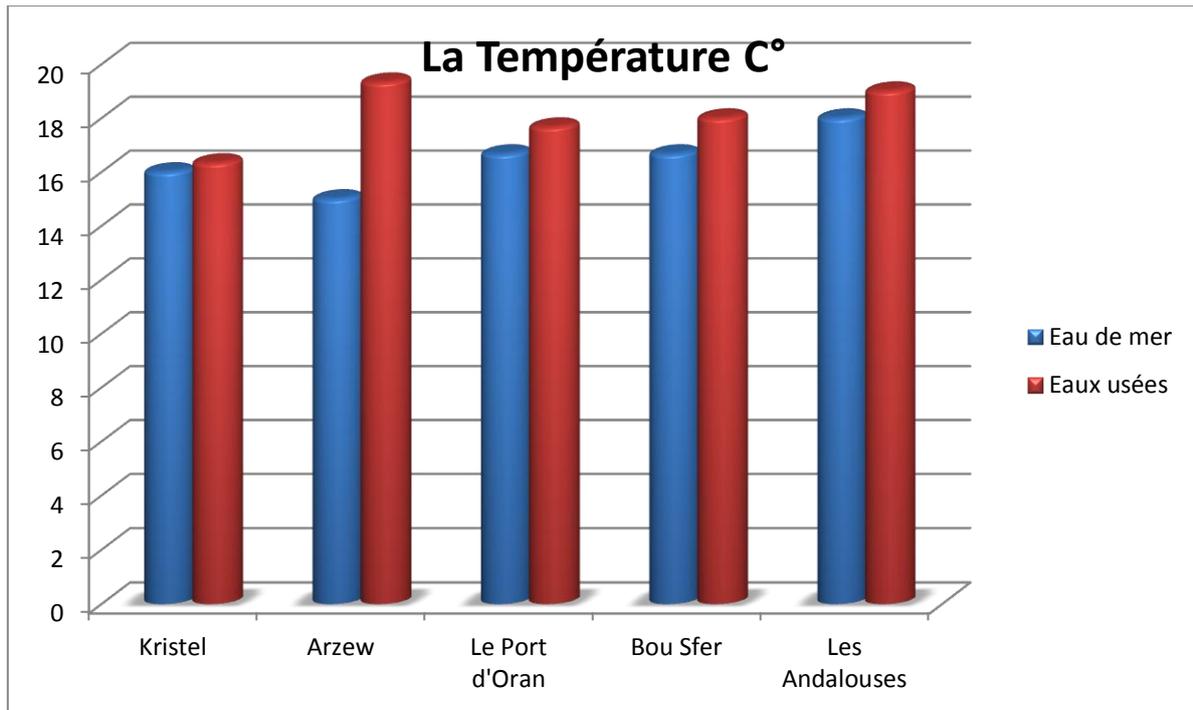


Figure 49 : Valeurs moyennes de la température.

2.3- L'oxygène dissous :

L'oxygène dissous est un paramètre très utile pour indiquer la qualité de l'eau, il est considéré comme un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur donne des renseignements sur l'état de la pollution et par conséquent le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau.

Les analyses de l'oxygène dissous effectuées sur les échantillons des eaux usées révèlent des moyennes saisonnières comprises entre 0 mg/l (± 0) et 6,3 mg/l ($\pm 1,99$). La valeur la plus basse est enregistré au niveau de Kristel durant les 3 saisons d'échantillonnage (0 mg/l) et la valeur la plus élevée est enregistrée au niveau des Andalouses durant la saison automnale (8,5 mg/l).

Par contre, celles enregistrées au niveau des échantillons d'eau de mer varient entre 7,2 mg/l ($\pm 0,91$) et 4,3 mg/l ($\pm 0,98$) avec une valeur maximale enregistrée au niveau d'Arzew (10,5 mg/l) en automne et une valeur minimale enregistrée au niveau de Kristel (1,3 mg/l) au printemps.

L'absence des teneurs d'oxygène dissous dans les eaux usées enregistrée au niveau de Kristel peut être due à la forte pollution dans ce rejet et au métabolisme bactérien, qui utilise cet élément pour dégrader la matière organique abondante au niveau de ce site (**FEKHAOUI et PATEE, 1993**).

Les concentrations de l'oxygène dissous au niveau d'eau de mer sont nettement supérieures à celles des eaux usées, à l'exception de l'Oued des Andalouses dont la

concentration de l'oxygène dissous est très proche à celle de l'eau de mer au niveau de ce site (Figure 50).

La concentration de l'oxygène de l'eau est sous influence des processus biologiques. Ces derniers permettent, soit sa saturation dans les zones eutrophie (accroissement important du phytoplancton), une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène, ou la sous-saturation dans les zones riches en matières carbonées dégradables par des microorganismes (oxydation de la manière organique, nitrification de l'azote ammoniacal) (AMINOT et CHAUSSE-PIED, 1983).

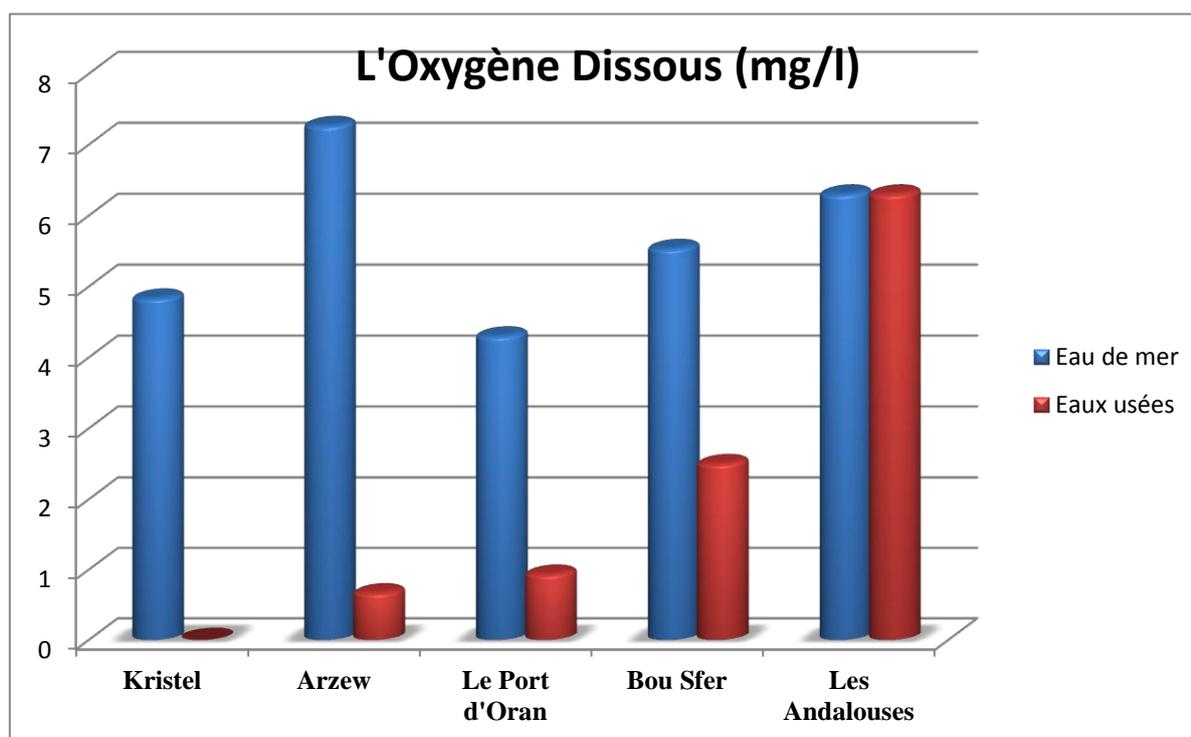


Figure 50 : Valeurs moyennes de l'oxygène dissous.

2.4- La conductivité électrique :

Durant notre investigation, les valeurs moyennes de la conductivité électrique enregistrées au niveau des eaux usées des différents sites oscillent entre 22320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($\pm 1909,18$) et 1724,66 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($\pm 21,21$). Nos résultats varient entre 34400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ comme valeur maximale enregistrée au printemps au niveau du Port d'Oran et une valeur minimale 860 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistrée en hivers au niveau du même site.

Pour les échantillons d'eau de mer analysés, les résultats obtenus révèlent des moyennes varient entre 34933,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($\pm 424,26$) et 37233,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($\pm 70,71$). Nous avons mesuré une valeur maximale au niveau d'Arzew au printemps (38400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et une valeur minimale enregistrée au niveau du Port d'Oran en hiver (33400 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Les résultats obtenus montrent que la conductivité électrique est très élevée au niveau de l'eau de mer par rapport aux rejets étudiés dans tous les sites (Figure 51). La conductivité de l'eau de mer est très élevée en raison de la forte concentration en sels dissous (AMINOT et KEROUEL, 2004) du fait elle permet d'évaluer la charge totale en électrolytes d'une eau (RAMADE, 2000).

La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et elle est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau. En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation.

La conductivité électrique dépend des charges de matière organique endogène et exogène, génératrice de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé.

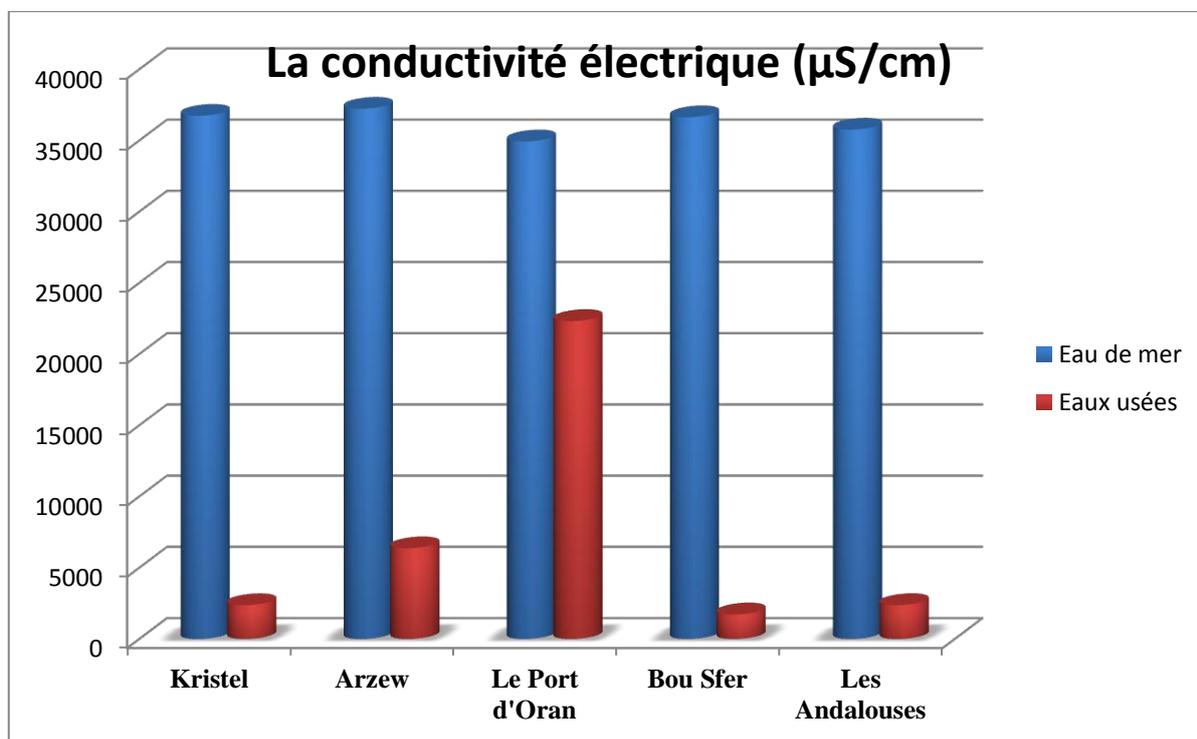


Figure 51 : Valeurs moyennes de la conductivité électrique.

3- Résultats des paramètres indicateurs de pollution :

3.1- Les matières en suspension :

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. **(RODIER, 1984)**. Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution. Une telle hausse peut aussi entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aura pour effet de réduire la qualité de l'habitat pour les organismes d'eau froide **(HEBERT et LEGARE, 2000)**.

Les résultats obtenus durant notre étude révèlent des concentrations très diversifiées entre les différents sites d'étude.

Pour les eaux usées, les valeurs moyennes enregistrées varient entre 2049,33 mg/l ($\pm 289,91$) et 294 mg/l ($\pm 82,02$). La valeur la plus élevée est enregistrée en automne au niveau du Port d'Oran (3062 mg/l) et la valeur la plus basse est enregistrée au printemps au niveau des Andalouses (28 mg/l).

Pour les échantillons d'eau de mer, les analyses effectuées montrent que la concentration des matières en suspension varie entre 810 mg/l ($\pm 176,77$) et 314 mg/l ($\pm 41,07$) avec une concentration maximale trouvée en automne au niveau du Port d'Oran (1320 mg/l) et une valeur minimale trouvée durant la même saison au niveau de Bou Sfer (200 mg/l).

La comparaison entre les valeurs obtenues au niveau des rejets et celles obtenues au niveau d'eau de mer montrent que les eaux usées contiennent des concentrations en matières en suspension supérieures à celles trouvées dans l'eau de mer (Figure 52).

Les résultats obtenus au cours de notre étude montrent que les concentrations des matières en suspension au niveau de tous les échantillons analysés dépassent largement les normes nationales définies (35 mg/l). Ces concentrations sont probablement causées par la vidange des bateaux (le Port d'Oran), déversement d'égouts et des rejets domestiques urbains qui sont riches en matière colloïdale d'origine minérale ou organique.

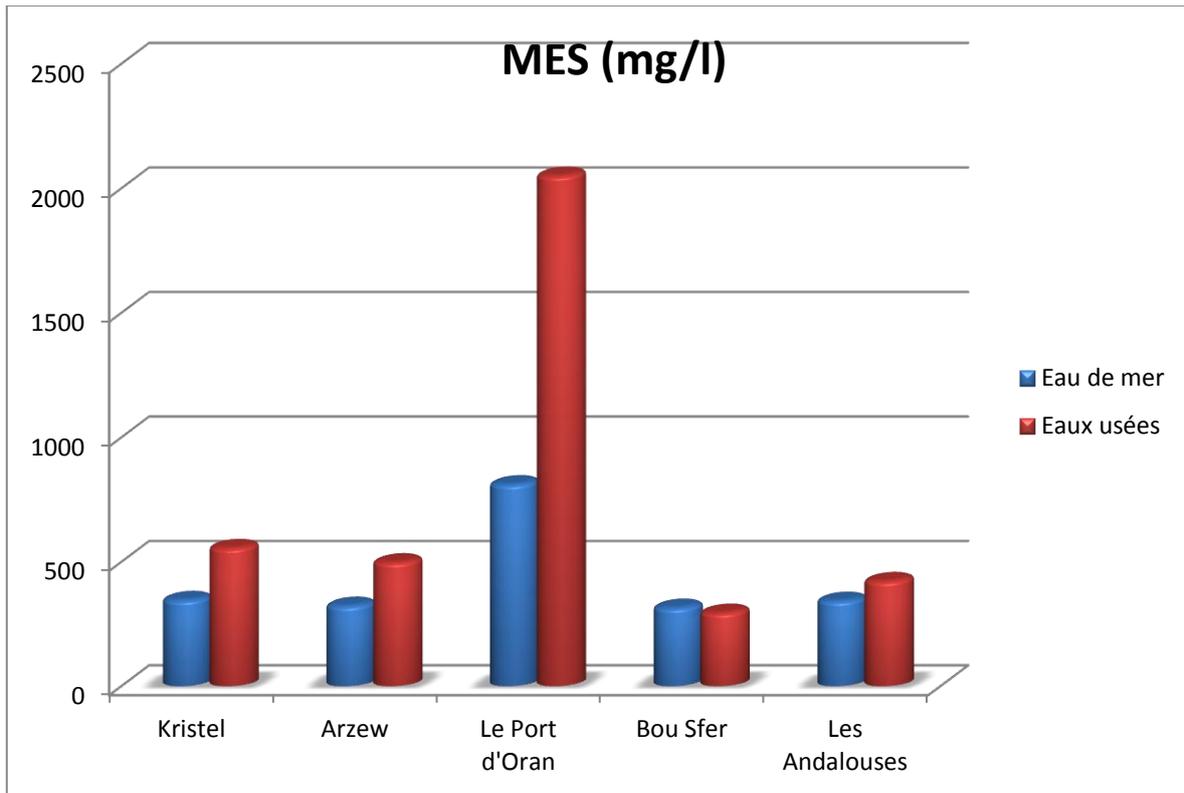


Figure 52 : Valeurs moyennes des matières en suspension

Selon les résultats obtenus, nous remarquons que le taux des MES varient suivant les saisons.

Une comparaison intersite nous permet de remarquer que le Port d'Oran, Arzew et Kristel suivent la même courbe de variation, les taux les plus élevés ont été enregistrés en automne suivi d'une baisse en hiver et au printemps. Ce taux élevé enregistré en automne peut être expliqué par le fait que le jour de notre échantillonnage dont les conditions météorologiques étaient très mauvaises avec des vents très importants.

Pour le site de Bou Sfer, nous remarquons un taux qui est en continuelle évolution de l'automne au printemps, ce qui peut être expliqué par la présence d'une activité hôtelière proche de ce site qui est à son tour en continuelle évolution plus en s'approche de la saison estivale (Figure 53).

Les mêmes constats ont été observés au niveau de l'eau de mer.

Les matières en suspension ont des effets très néfastes lorsqu'elles sont élevée sur les caractéristiques physico-chimique de l'eau : réduction aussi bien la transparence de l'eau que la production primaire photosynthétique, modification de la turbidité des eaux, réduction de la pénétration de la lumière (AASSIRI, 2001), mais elle peut être aussi considérée comme une source de nourriture non négligeable pour la faune et la flore lorsque elle est dans les normes.

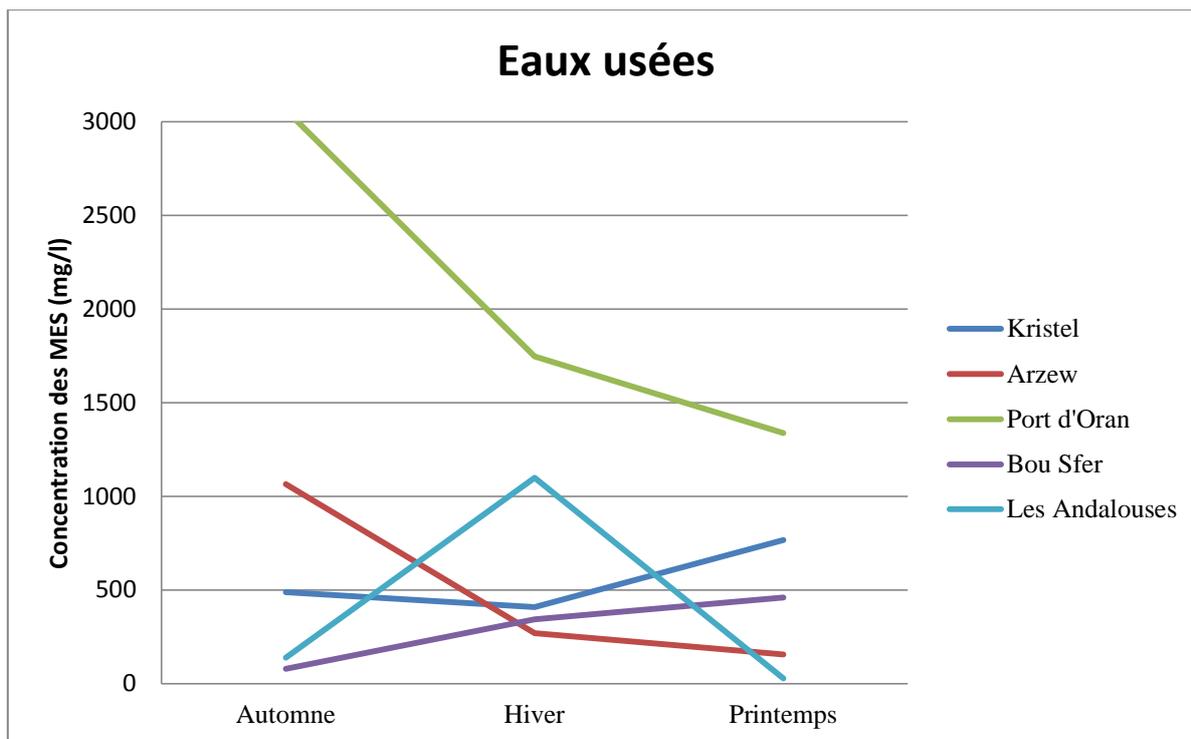


Figure 53 : Variations saisonnières des MES dans les eaux usées.

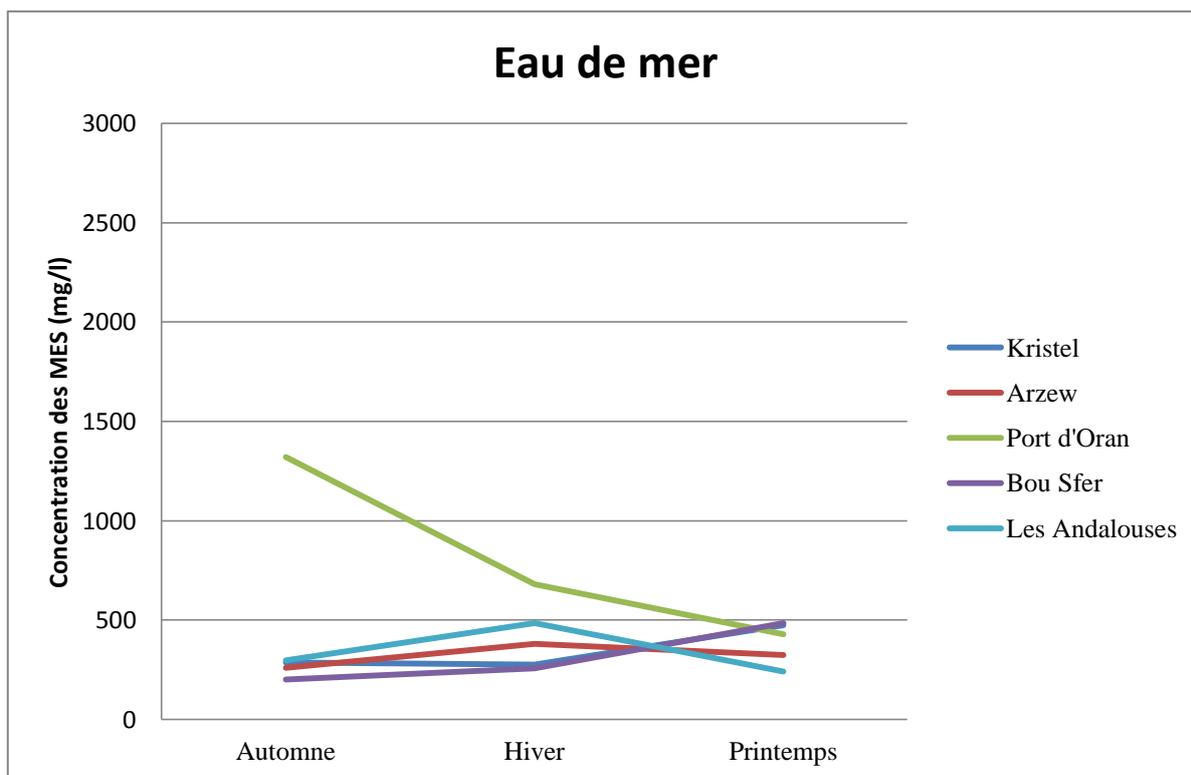


Figure 54 : Variations saisonnières des MES dans l'eau de mer.

3.2- La demande chimique en oxygène :

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la consommation en oxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées ainsi que l'état de la pollution de l'eau de mer.

L'évaluation saisonnière de la demande chimique en oxygène au niveau des eaux usées des sites étudiés révèlent des moyennes variées entre 646,33 mg/l ($\pm 64,34$) et 98 mg/l ($\pm 26,87$). La valeur la plus élevée est enregistrée en hiver (816 mg/l) à Arzew et la valeur la plus basse est trouvée en automne (48 mg/l) au niveau des Andalouses.

L'analyse de la DCO effectuée sur des échantillons d'eau de mer prélevés montre des concentrations variées d'un site à l'autre. Les moyennes enregistrées varient entre 1620 mg/l ($\pm 53,11$) et 1396,2 mg/l ($\pm 68,16$) avec un maximum enregistré au niveau d'Arzew durant la saison automnale (1728 mg/l) et un minimum trouvé en hiver au Port d'Oran (1209,6 mg/l).

Les résultats enregistrés au cours de notre étude nous permettent de constater la différence dans les concentrations de la DCO au niveau de l'eau de mer qui sont nettement supérieures dans tous les sites par rapport à celles obtenues dans les rejets des eaux usées (Figure 55). Ceci peut être expliqué par le taux élevé des substances organiques présentes dans l'eau de mer qui sont dégradées par le processus de l'autoépuration.

Les résultats obtenus sont majoritairement dépassés les normes nationales définies (120 mg/l), quelques exceptions enregistrées au niveau de l'Oued des Andalouses en automne et en hiver (48 mg/l et 86 mg/l respectivement).

Ces concentrations montrent une consommation excessive d'oxygène dissous pour oxyder chimiquement les charges organiques déversées dans les zones étudiées (**BONTE *et al.*, 2008**).

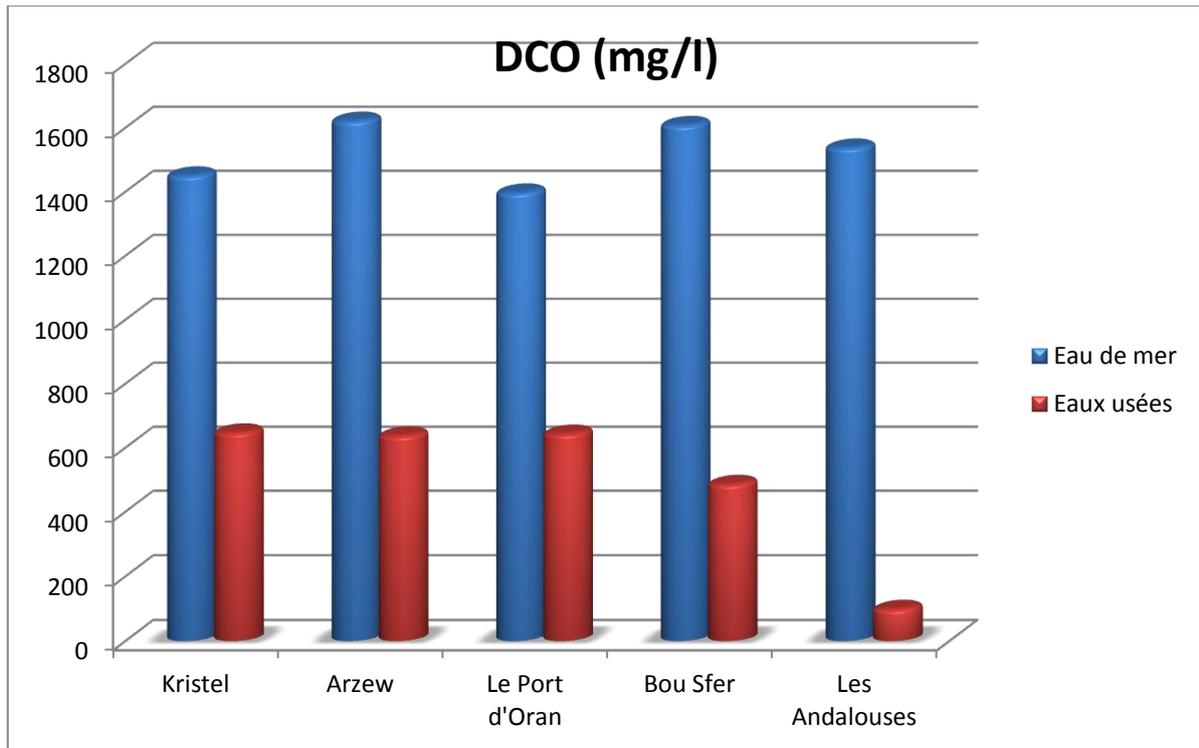


Figure 55 : Valeurs moyennes de la demande chimique en oxygène.

L'étude des variations saisonnières de la demande chimique en oxygène dans les eaux usées montre que ce paramètre a augmenté en hiver et diminué au printemps au niveau de Bou Sfer, Arzew et Kristel. La concentration de la DCO a diminué en hiver et augmenté au printemps au Port d'Oran, mais elle est en augmentation continue au niveau de l'Oued des Andalouses au cours de la période d'investigation (Figure 56).

Les analyses effectuées sur des échantillons d'eau de mer montrent une diminution considérable dans la concentration de la DCO au niveau de Kristel, mais elle a diminué en hiver et augmenté au printemps au niveau des autres sites (Figure 57).

Ce changement dans la concentration de la DCO peut être expliqué par un changement de l'activité microbienne de l'eau dont l'augmentation de cette activité engendre une consommation élevée en oxygène et la faible consommation en oxygène est due à la diminution de cette activité.

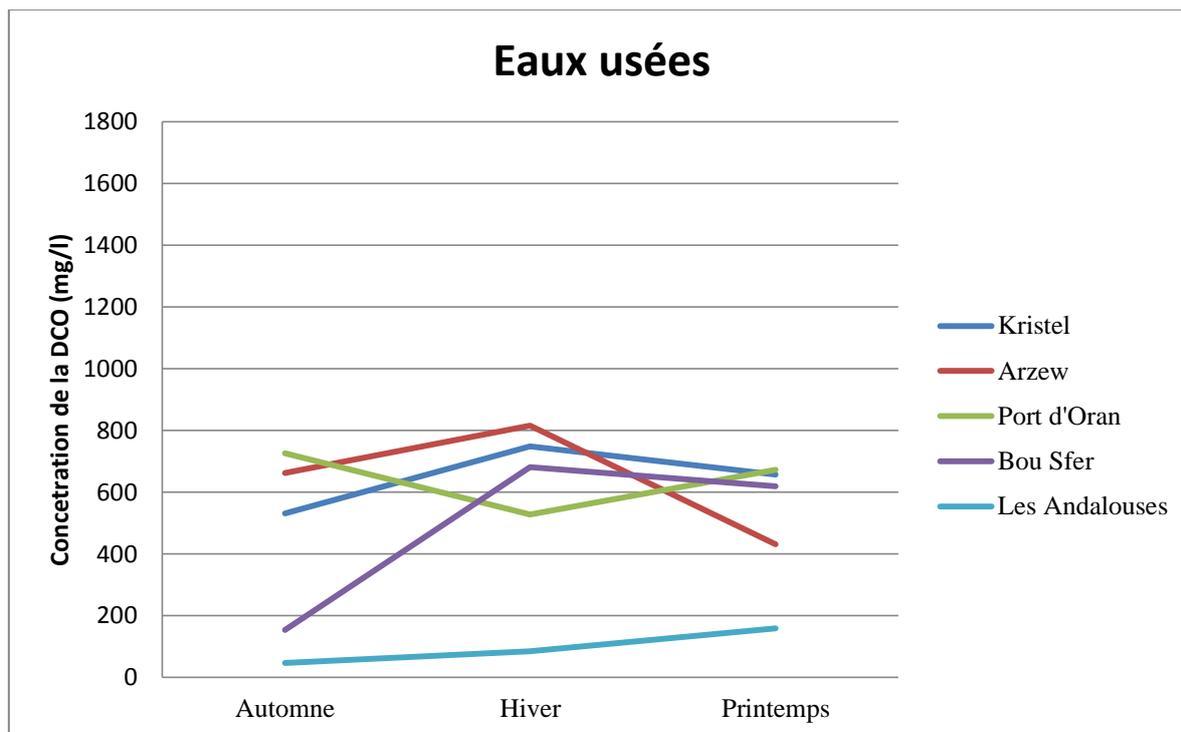


Figure 56 : Variations saisonnières de la DCO dans les eaux usées.

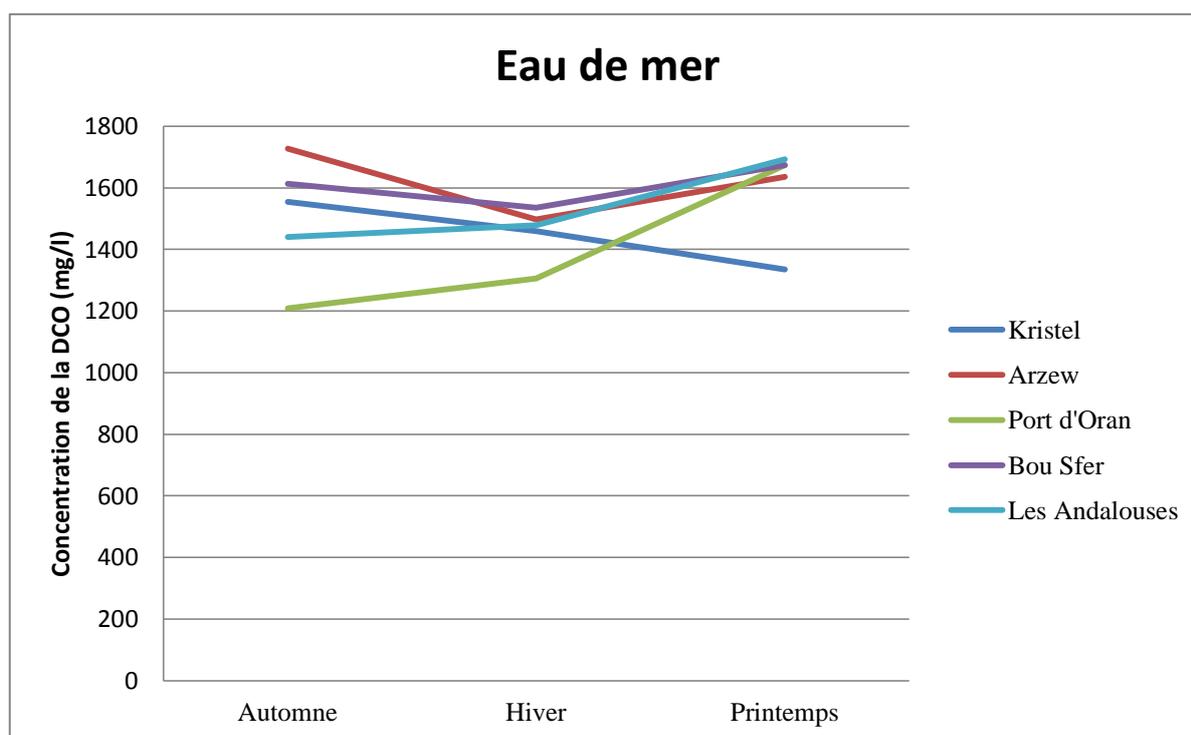


Figure 57 : Variations saisonnières de la DCO dans l'eau de mer

3.3- La demande biochimique en oxygène :

La demande biochimique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques par voie biologique (oxydation des matières organiques biodégradables par des bactéries). Elle permet d'évaluer la fraction biodégradable de la charge polluante carbonée des eaux usées.

Les valeurs moyennes enregistrées varient entre 262,8 mg/l ($\pm 7,77$) et 25 mg/l ($\pm 6,36$). La valeur maximale est trouvée au niveau du Port d'Oran (283,7 mg/l) enregistrée au printemps et la valeur minimale est enregistrée au niveau des Andalouses en automne (8,7 mg/l).

Les échantillons d'eau de mer analysés révèlent des concentrations moyennes en DBO₅ élevées, elles varient entre 612,63 mg/l ($\pm 24,18$) et 498,63 mg/l ($\pm 58,40$). Nous avons enregistré une valeur maximale (778 mg/l) au niveau des Andalouses au printemps et une valeur minimale (387,9 mg/l) enregistrée durant la saison automnale au niveau du Port d'Oran.

Les résultats obtenus montrent des valeurs largement supérieures aux normes algériennes définies (35 mg/l) sauf au niveau de l'Oued des Andalouses en automne et en hiver (8,7 mg/l en automne ; 17,7 mg/l en hiver).

En comparant entre les valeurs moyennes de la DBO₅ dans les rejets des eaux usées et l'eau de mer, nous trouvons que les concentrations obtenues au niveau de l'eau de mer sont très élevées par rapport à celles obtenues au niveau des eaux usées (Figure 58).

La différence de la concentration de la DBO₅ entre l'eau de mer et les eaux usées pourrait s'expliquer par des phénomènes physiques et biologiques liés aux mécanismes très complexes de l'autoépuration des eaux marines.

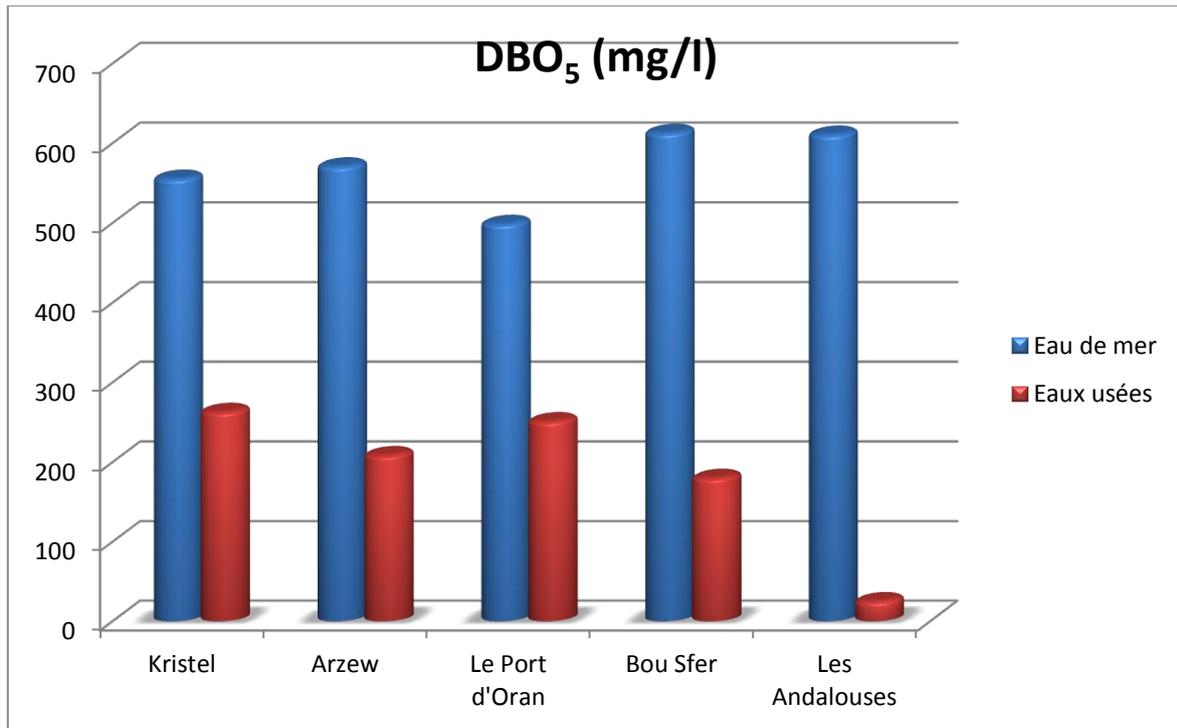


Figure 58 : Valeurs moyennes de la demande biochimique en oxygène.

Les concentrations de la DBO enregistrées dans les eaux usées pendant la période d'investigation montrent une différence entre les sites et les saisons d'étude. La quantité de la DBO dans les eaux usées a augmenté à travers les saisons au niveau des Andalouses et de Bou Sfer, le contraire est remarquée pour le site de Kristel dont la concentration a diminué. Au niveau d'Arzew, la concentration de la demande biochimique en oxygène a augmenté en hiver et diminué au printemps. Par contre, elle a diminué en hiver et augmenté au printemps au niveau du Port d'Oran (Figure 59).

Pour l'eau de mer, la concentration de la DBO₅ a été augmentée dans tous les sites (Figure 60).

Ces teneurs peuvent être expliquées par l'insaturation des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes dont l'activité s'intensifie avec le réchauffement des eaux. Cette activité, consommatrice d'oxygène, est à l'origine de l'autoépuration des eaux (**BREMOND et PERRODON, 1979**).

La diminution de la DBO₅ est expliquée par une diminution de la charge organique charriée par les eaux usées et l'augmentation de la matière organique se traduit par une augmentation de la DBO₅.

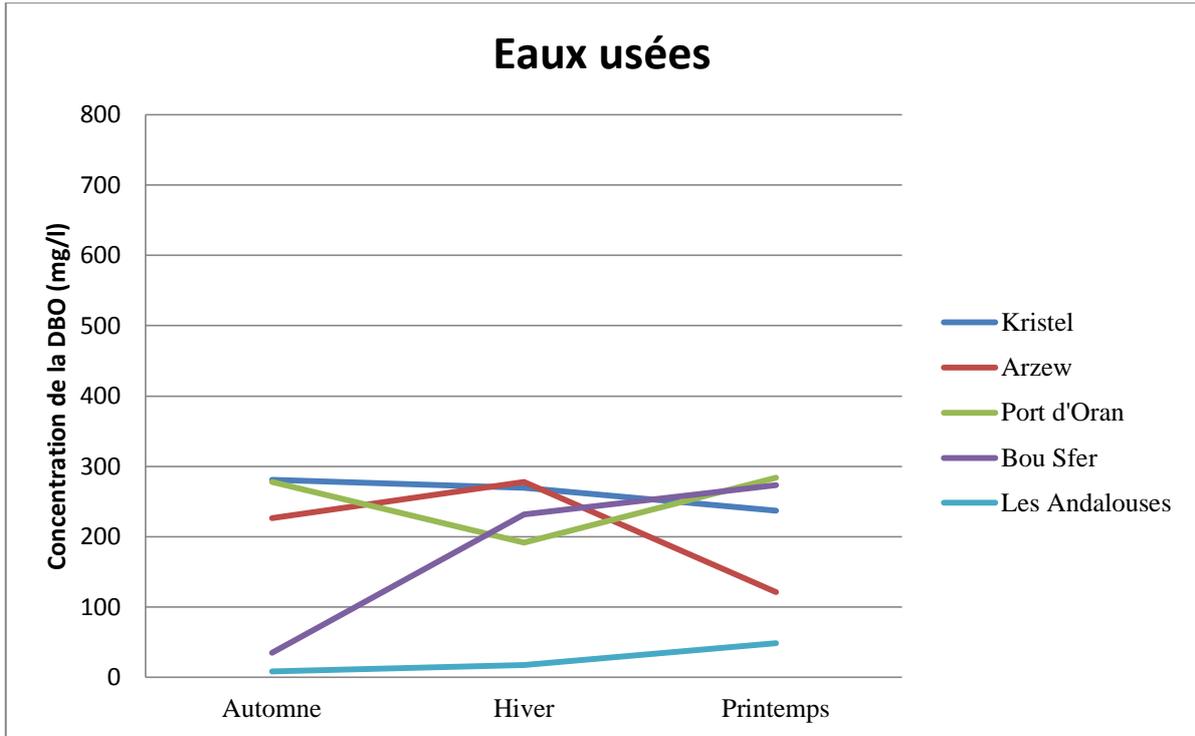


Figure 59 : Variations saisonnières de la DBO₅ dans les eaux usées.

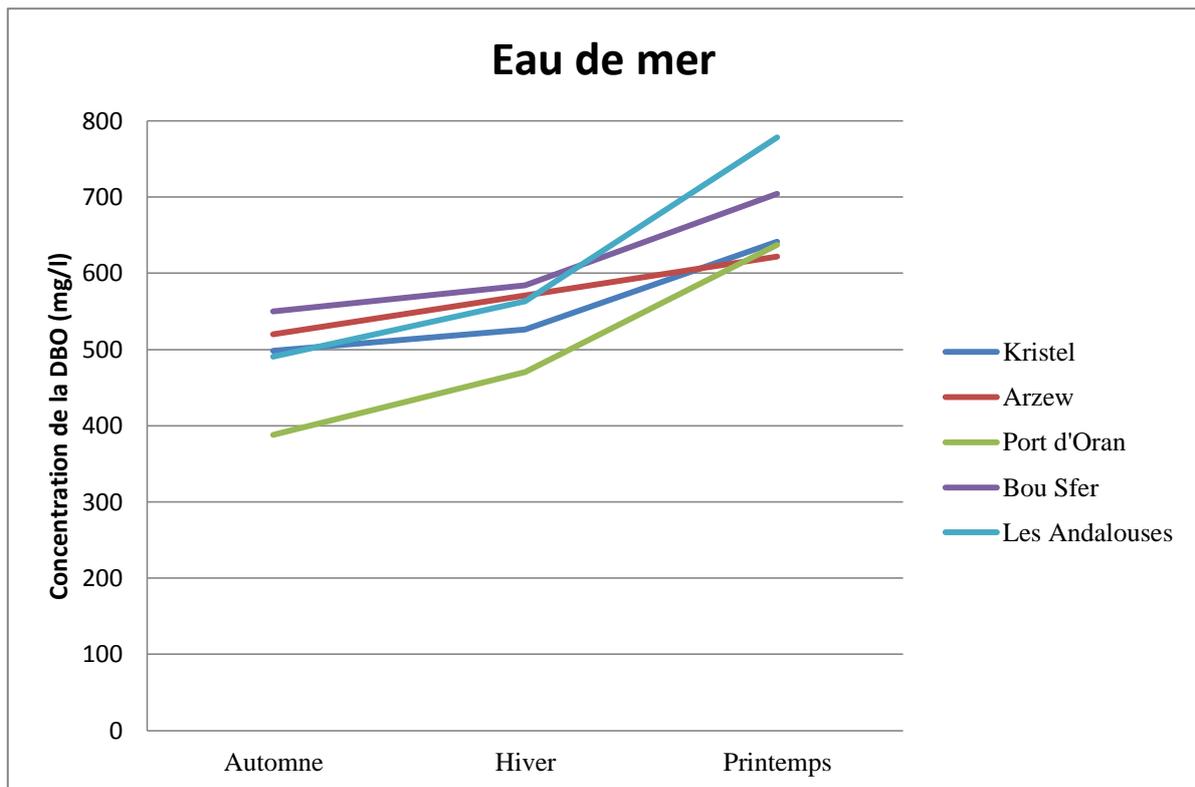


Figure 60 : Variations saisonnières de la DBO₅ dans l'eau de mer.

3.4- Rapport de biodégradabilité :

Le rapport de la biodégradabilité nous permet d'apprécier la dérivabilité de la matière organique et sa nature selon l'échelle de la biodégradabilité (Tableau 11).

Tableau 11 : Echelle de biodégradabilité

DCO/DBO ₅	Degré de biodégradabilité
= 1	Faible
1.5 à 2	Moyenne
2.5 à 4	Forte

Le rapport de biodégradabilité concerne le rapport DCO/DBO₅ qui sert à préciser le degré de la biodégradabilité de la matière organique au niveau des sites étudiés. Les résultats de ce rapport sont tous compris entre 2,5 et 4 donc les sites étudiés sont dans la 3^{ème} catégorie ce qui signifie que la matière organique est fortement biodégradable (Figure 61).

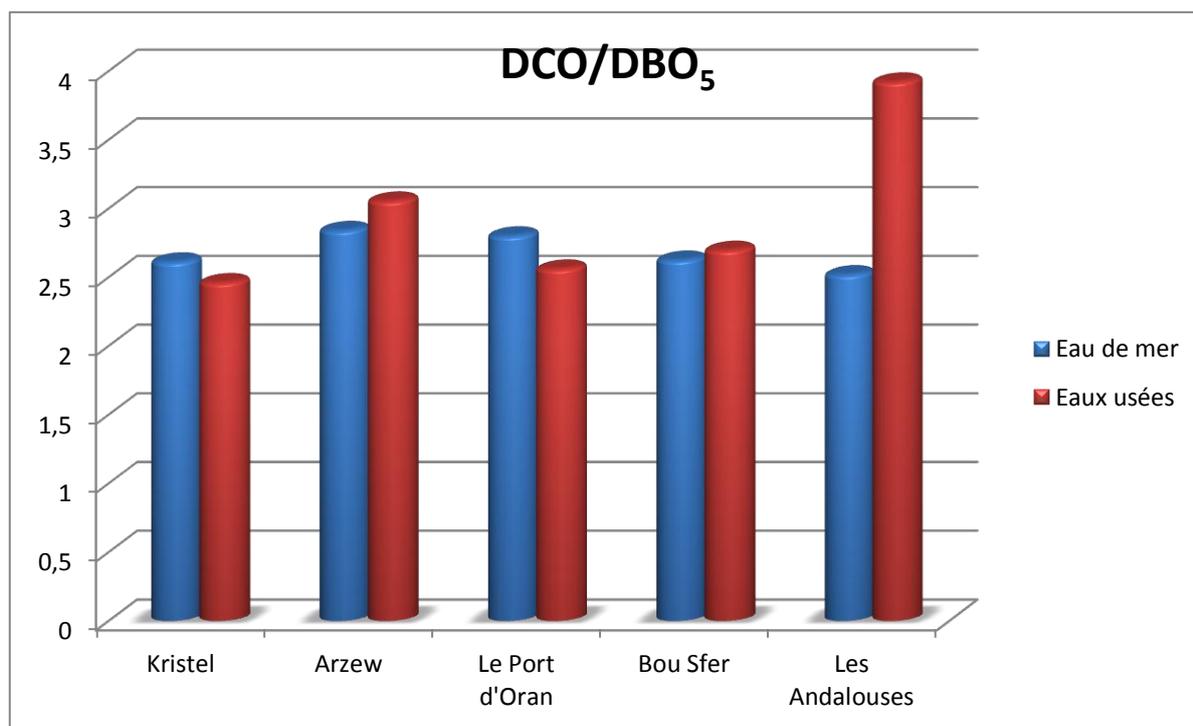


Figure 61 : Variation de degré de biodégradabilité entre les sites étudiés.

3.5- La matière organique :

Les valeurs moyennes de la matière organique au niveau des eaux usées varient entre 69,66 mg/l ($\pm 2,12$) et 15,83 mg/l ($\pm 4,8$) avec un minimum trouvé au niveau des Andalouses en automne (11,5 mg/l) et un maximum trouvé au niveau de Bou Sfer au printemps (86 mg/l).

Les valeurs moyennes trouvées au niveau des échantillons d'eau de mer varient entre 71 mg/l ($\pm 9,19$) et 53,5 mg/l ($\pm 1,76$). La valeur maximale est enregistrée au printemps au niveau du Port d'Oran (99 mg/l) et la valeur minimale (42 mg/l) est enregistrée en automne à Kristel.

Selon les résultats obtenus, la concentration de la matière organique dans l'eau de mer est légèrement supérieure à celle dans les eaux usées au niveau de tous les sites, à l'exception d'Arzew dont la concentration est élevée au niveau des eaux usées (Figure 62).

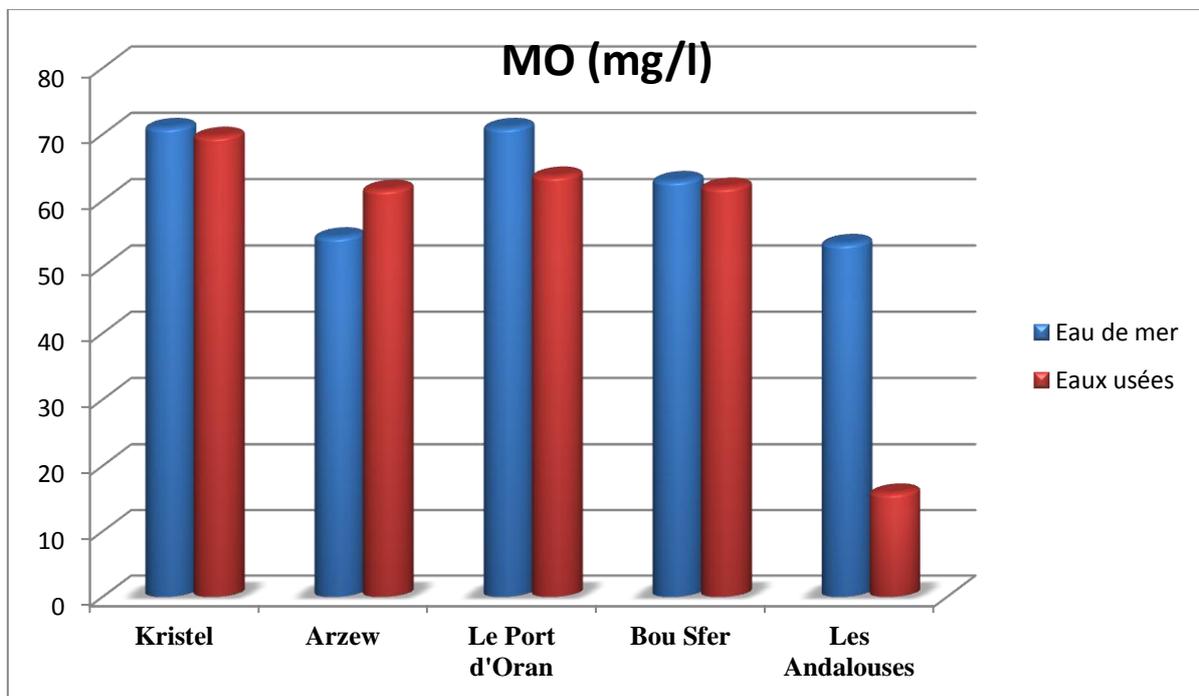


Figure 62 : Valeurs moyennes de la matière organique.

Les résultats obtenus nous permettent de constater les variations de la matière organique au cours de la période d'étude. Les concentrations de la MO dans les eaux usées ont augmenté à travers les saisons au niveau des Andalouses et Bou Sfer. Au niveau de Kristel et Arzew, la quantité de la MO a augmenté en hiver et diminuée au printemps, le contraire est remarqué au niveau du Port d'Oran, la concentration de la MO a diminuée en hiver et augmentée au printemps (Figure 63).

Les échantillons d'eau de mer analysés a montré que les valeurs de la MO enregistrées au niveau du Port d'Oran, Bou Sfer et Kristel ont été augmentées à travers les trois saisons d'étude, mais celles enregistrées au niveau des Andalouses et Arzew marquent une augmentation en hiver puis une diminution au printemps (Figure 64).

L'augmentation des teneurs en matière organique au niveau des sites d'études a pour origine les taux élevés de matière organique rejetés dans le milieu. Cette forte teneur en matière organique s'explique par la charge polluante charriée par les rejets anthropogéniques côtiers des eaux usées rejetés dans les sites étudiés.

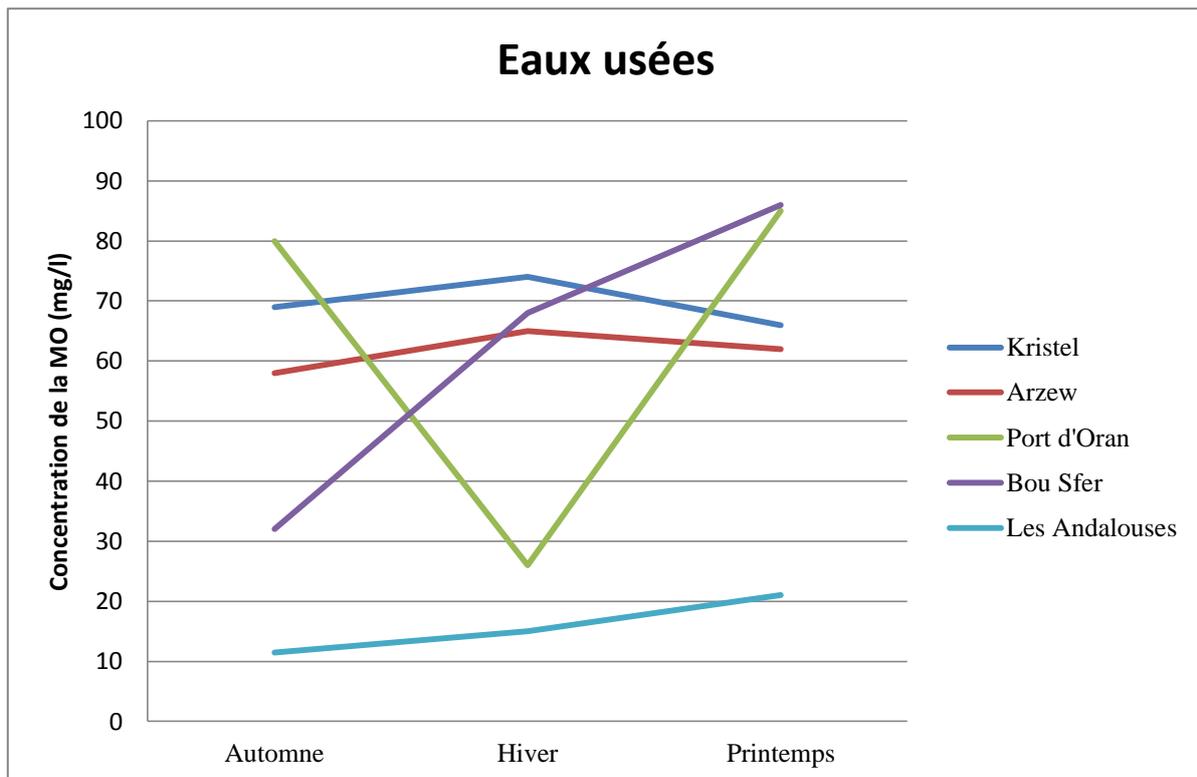


Figure 63 : Variations saisonnières de la MO dans les eaux usées.

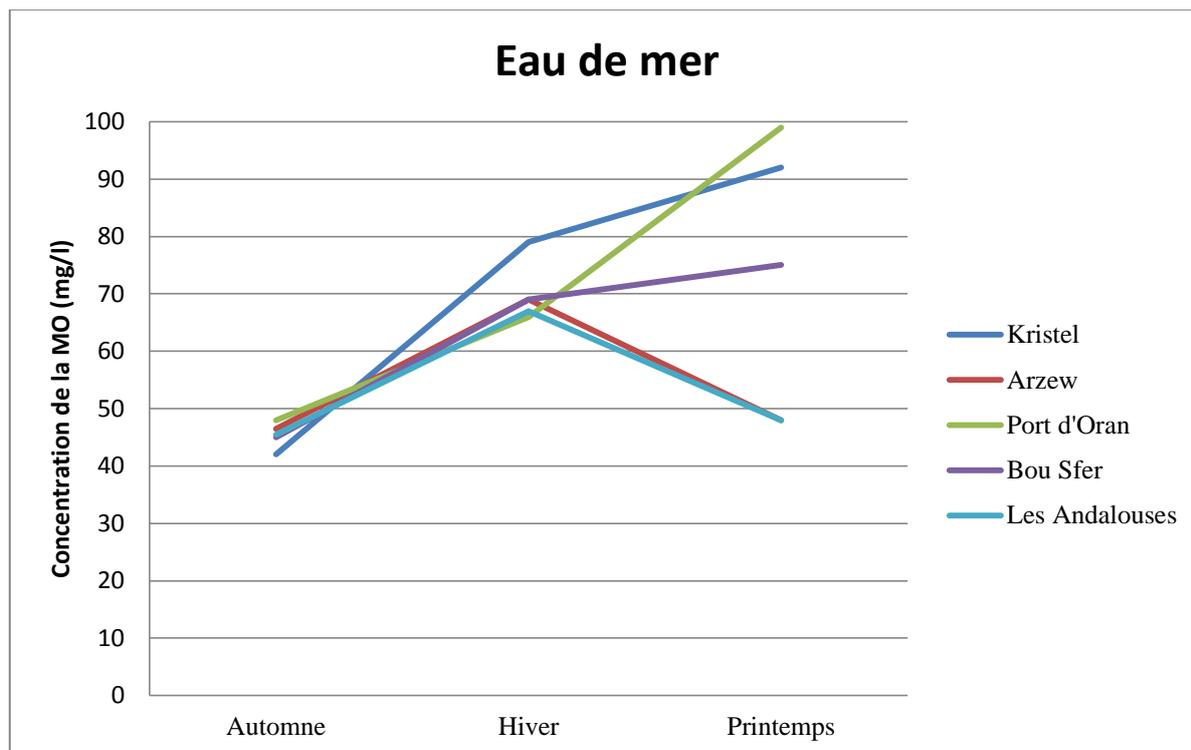


Figure 64 : Variations saisonnières de la MO dans l'eau de mer

3.6- Le phosphore total :

L'analyse du phosphore total dans les échantillons prélevés révèle des concentrations très élevées. Les valeurs moyennes obtenues sont comprises entre 34 mg/l ($\pm 0,77$) et 2,08 mg/l ($\pm 0,57$) avec un minimum enregistré au niveau Andalouses en automne (0,67 mg/l) et un maximum trouvé au niveau de Kristel en hiver (35,9 mg/l).

Pour les échantillons d'eau de mer prélevés, les valeurs moyennes varient entre 1,43 mg/l ($\pm 0,32$) et 0,56 mg/l ($\pm 0,13$) avec une valeur maximale enregistrée au niveau de Kristel au printemps (3,46 mg/l) et une valeur minimale trouvée au niveau de Bou Sfer durant la saison hivernale (0,15 mg/l).

Selon les valeurs obtenues, la concentration du phosphore dans l'eau de mer est largement inférieure à celle des eaux usées au niveau de toutes les stations étudiées (Figure 65).

Comparées aux limites algériennes fixée à 2 mg/l, les teneurs en phosphore trouvées dans les rejets de Kristel, Arzew, Bou Sfer et Port d'Oran sont largement supérieures à la norme définie. Au niveau des Andalouses, la valeur enregistrée en hiver dépasse la norme mais les valeurs enregistrées en automne et au printemps restent inférieures à celle-ci.

La grande partie du phosphore organique provient également des déchets du métabolisme des protéines et de son élimination sous forme de phosphates dans les urines par l'homme et le reste provient surtout des détergents. (DU CHAUFOR, 1997)

Le phosphore a un rôle important dans le phénomène d'eutrophisation du milieu marin car un apport trop important de phosphore peut l'accélérer. Un apport trop important en phosphore peut aussi créer des conditions propices au développement des fleurs d'eau de cyanobactéries, surtout lorsque la température de l'eau de surface est relativement élevée et qu'il y a un manque d'oxygène dissout. (DU CHAUFOR, 1997).

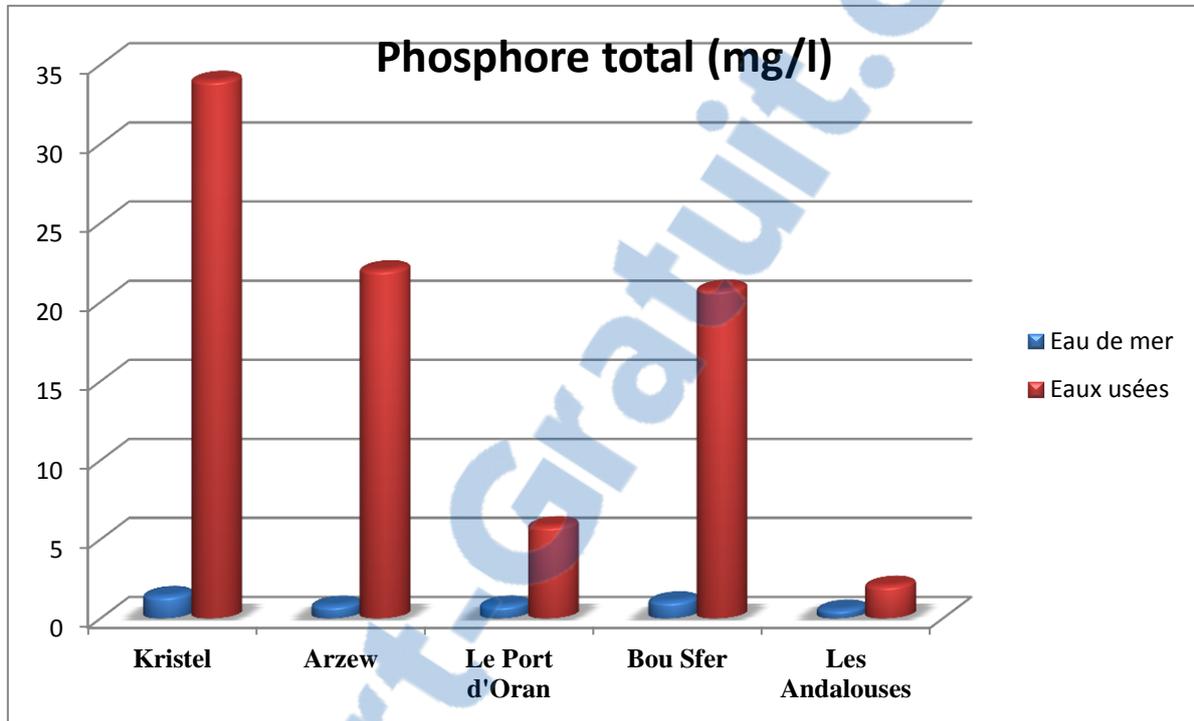


Figure 65 : Valeurs moyennes du phosphore total.

Les analyses du phosphore total effectuées sur les échantillons d'eaux usées montrent une augmentation continue de la concentration de ce paramètre à Bou Sfer, une augmentation en hiver et une diminution au printemps aux Andalouses, le Port d'Oran et Kristel et une diminution en hiver et une augmentation au printemps à Arzew (Figure 66).

Pour les échantillons d'eau de mer, les résultats des analyses montrent une diminution de la concentration du phosphore à travers les saisons d'étude au niveau des Andalouses et le Port d'Oran, ainsi qu'une diminution en hiver puis une augmentation au printemps au niveau d'Arzew, Kristel et Bou Sfer (Figure 67).

Les eaux de surface peuvent être contaminées par des rejets industriels ou par le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traitées par certains pesticides (RODIER, 1996).

Dans les eaux naturelles, la concentration en phosphore est due à l'accumulation de plusieurs types d'apport et aux sédiments qui stockent cet élément. Les sédiments jouent un

rôle de stockage (puits) et de relargage (source) en fonction du brassage de l'eau, des variations du pH et de la teneur en oxygène des eaux (UVED, 2003).

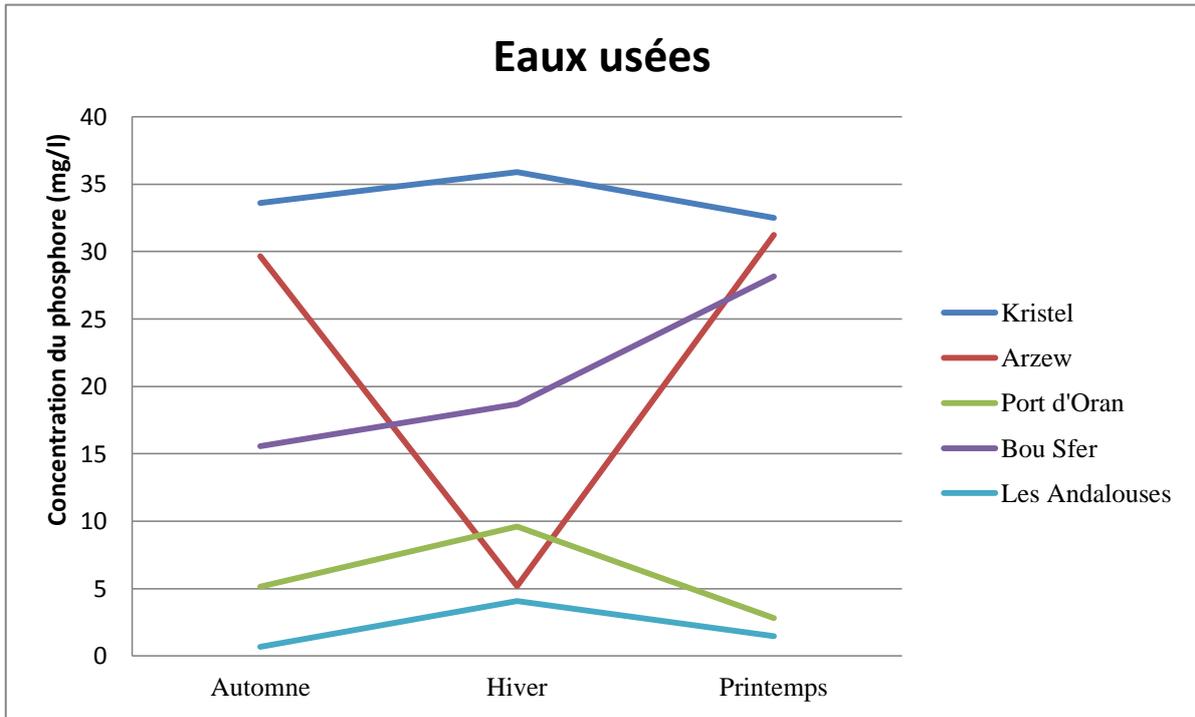


Figure 66 : Variations saisonnières du phosphore total dans les eaux usées.

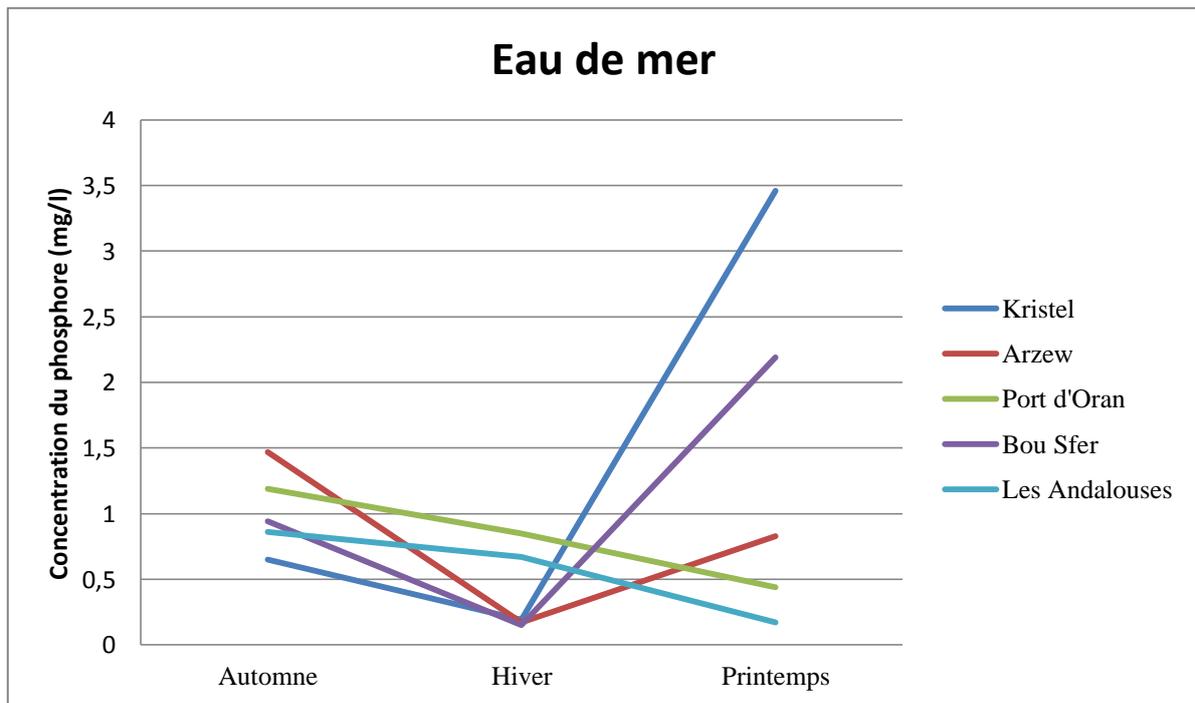


Figure 67 : Variations saisonnières du phosphore total dans l'eau de mer.

3.7- Les sels nutritifs :

3.7.1- Le nitrate :

Les analyses effectuées sur les échantillons des eaux usées prélevés montrent la présence des concentrations variées entre les sites. Les moyennes enregistrées varient entre 32,66 mg/l ($\pm 8,73$) et 2 mg/l (± 1). La valeur la plus basse est enregistrée au niveau du Port d'Oran en automne (1 mg/l) et les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des Andalouses durant toutes les saisons (35 mg/l, 23 mg/l et 40 mg/l en automne, en hiver et au printemps respectivement).

L'analyse de la teneur de nitrate au niveau d'eau de mer révèle des concentrations très proches entre eux. Les moyennes obtenues oscillent entre 2,66 mg/l ($\pm 0,77$) et 1,66 mg/l ($\pm 0,57$) avec l'enregistrement d'une valeur maximale au niveau du Port d'Oran en hiver et au niveau des Andalouses au printemps (4 mg/l) et une valeur minimale enregistrée au niveau des Andalouses, Bou Sfer et Kristel en automne et au printemps à Arzew et au port d'Oran (1 mg/l).

La comparaison entre les teneurs en nitrate au niveau des eaux usées et celles au niveau d'eau de mer montre que la concentration de nitrate dans l'eau de mer est inférieure à celle trouvée dans les eaux usées sauf au niveau du Port d'Oran où l'eau de mer contient une valeur de nitrate légèrement supérieure à celle contenue dans les eaux usées (Figure 68).

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques, des engrais de synthèse ou naturels (SAMAK, 2002).

Les nitrates ne représentent qu'une des multiples formes de l'azote présent dans l'eau, tout en constituant, en général, la forme la plus abondante de l'azote minéral. Au niveau de la zone étudiée, en comparant aux limites algériennes fixée à 50 mg/l, les teneurs en nitrates enregistrées au niveau des rejets ciblés restent très inférieures.

De ce fait, les eaux étudiées ne sont pas sujette à un risque de pollution par les nitrates.

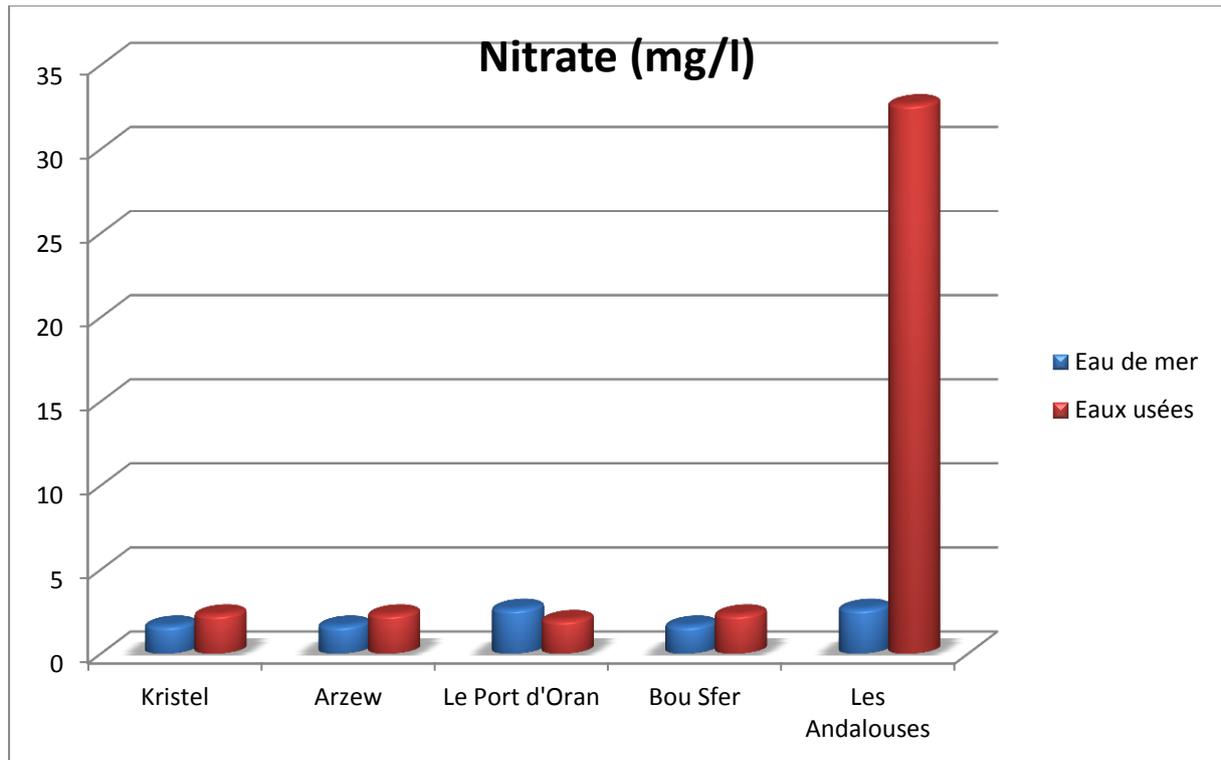


Figure 68 : Valeurs moyennes du nitrate.

Les valeurs enregistrées dans les trois saisons d'étude nous permettent de constater les variations de concentration en nitrate dans les eaux usées au niveau des différents sites étudiés.

Les variations des concentrations de nitrate se distinguent entre les sites, elles ont augmenté en hiver puis restent stables au printemps à Kristel, elles restent stables en hiver puis elles ont augmenté au printemps à Bou Sfer, elles ont augmenté en hiver et diminué au printemps à Arzew, le contraire est remarqué aux Andalouses avec la diminution de la concentration en hiver et son augmentation au printemps, l'augmentation continue est enregistrée au Port d'Oran à travers les saisons (Figure 69).

Les résultats de nitrate trouvés dans les échantillons d'eau de mer varient d'un site à l'autre, elles ont augmenté en hiver puis restent stables au printemps à Kristel et Bou Sfer, elles ont augmenté en hiver et diminué au printemps au niveau du Port d'Oran, elles restent stables en hiver puis ont augmenté au printemps et finalement elles ont augmenté continuellement aux Andalouses (Figure 70).

Les nitrates NO_3^- , représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. La présence des concentrations élevées dans l'Oued des Andalouses est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques au niveau des terrains agricoles d'El-Ançor.

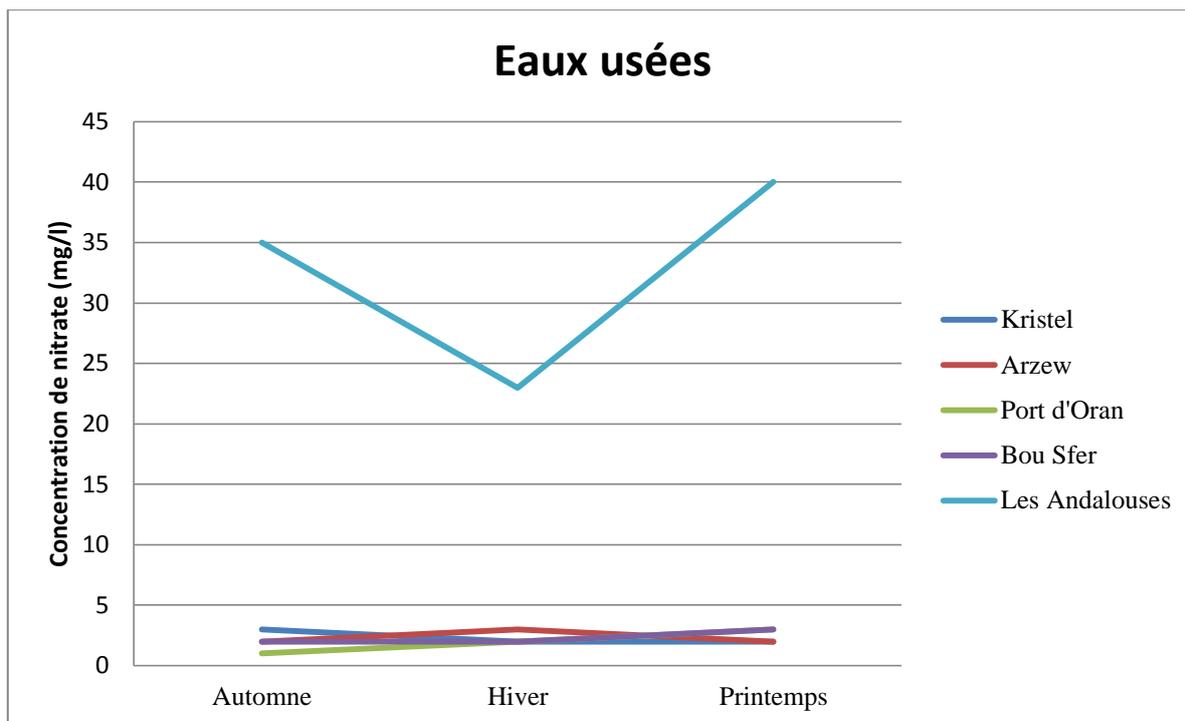


Figure 69 : Variations saisonnières de nitrate dans les eaux usées.

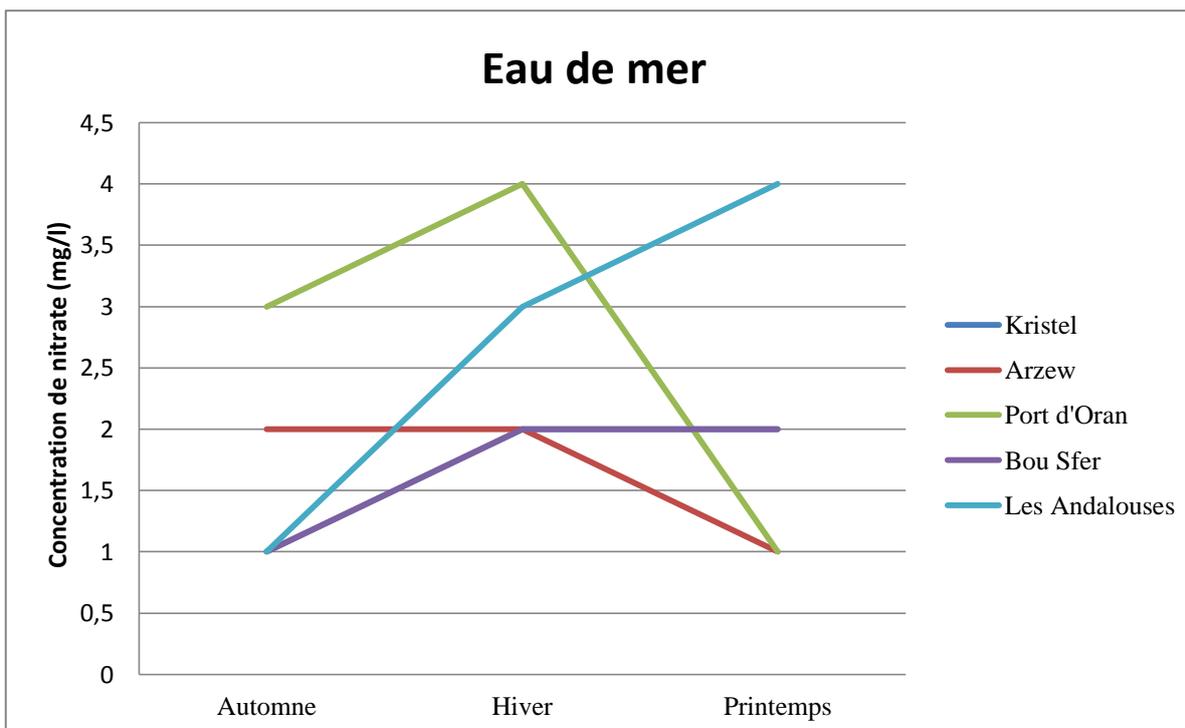


Figure 70 : Variations saisonnières de nitrate dans l'eau de mer.

3.7.2- Le nitrite :

Les concentrations moyennes du nitrite enregistrées dans les rejets étudiés varient entre 0,99 mg/l ($\pm 0,01$) et 0,12 mg/l ($\pm 0,02$). Les valeurs maximales sont enregistrées au niveau de l'Oued des Andalouses dans toutes les saisons (1,6 mg/l en automne, 0,7 mg/l en hiver et 0,68 mg/l au printemps) et la valeur minimale est enregistrée en hiver au niveau d'Arzew et Kristel.

Tandis que les concentrations moyennes varient entre 0,1 mg/l ($\pm 0,007$) et 0,03 mg/l ($\pm 0,01$) avec un maximum enregistré au niveau des Andalouses en hiver (0,18 mg/l) et un minimum enregistré à Kristel durant la même saison (0,01 mg/l).

En comparaison, les valeurs de nitrite enregistrées dans les eaux usées sont supérieures à celles enregistrées dans l'eau de mer au niveau de tous les sites (Figure 71).

Les faibles concentrations en nitrites rencontrées au niveau des eaux usées étudiées, pourraient être expliquées par le fait que l'ion nitrite (NO_2^-) est un composé intermédiaire entre l'ammonium et nitrates, et qui est instable en présence de l'oxygène, dont la concentration est généralement très inférieure à celle des deux formes qui lui sont liées, les ions nitrates et ammonium (THOMAS, 1985).

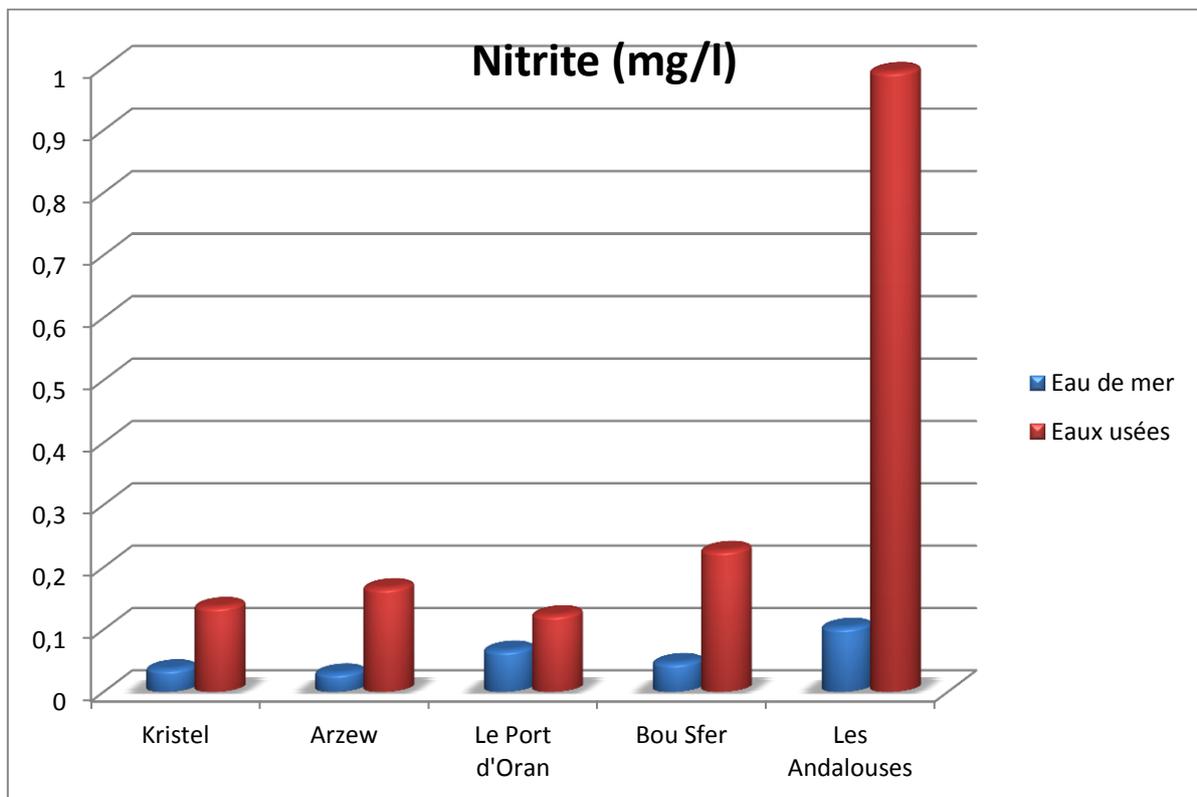


Figure 71 : Valeurs moyennes du nitrite.

Les résultats de l'analyse de nitrite enregistrés dans les eaux usées étudiées montrent que la concentration de ce paramètre a diminué en hiver au niveau de tous les sites, elle a diminué au printemps au niveau des Andalouses mais elle a augmenté au niveau des autres sites durant la même saison (Figure 72).

Pour les échantillons d'eau de mer analysés, les résultats obtenus révèlent une diminution continue de nitrite au Port d'Oran à travers les trois saisons d'étude, une diminution en hiver puis une stabilisation de la concentration au printemps à Arzew, une diminution en hiver et une augmentation au printemps à Kristel et Bou Sfer et une augmentation en hiver et une diminution au printemps au niveau des Andalouses (Figure 73).

La concentration de nitrite contenue dans l'Oued des Andalouses peut être expliquée par le passage des molécules de nitrates présentes dans le milieu en concentration élevée en nitrites puis en ammonium.

D'après AMINOT A. et CHAUSSEPIED M. (1983) que les nitrates sont réduits en nitrites, ce qui fait augmenter la concentration de ces derniers. Mais ce que nous remarquons, c'est que malgré les taux importants de nitrites ; les nitrates restent toujours en surnombre. Ceci est visiblement, le reflet d'un apport massif et continu de nitrates ou d'une éventuelle nitrification de l'azote ammoniacal.

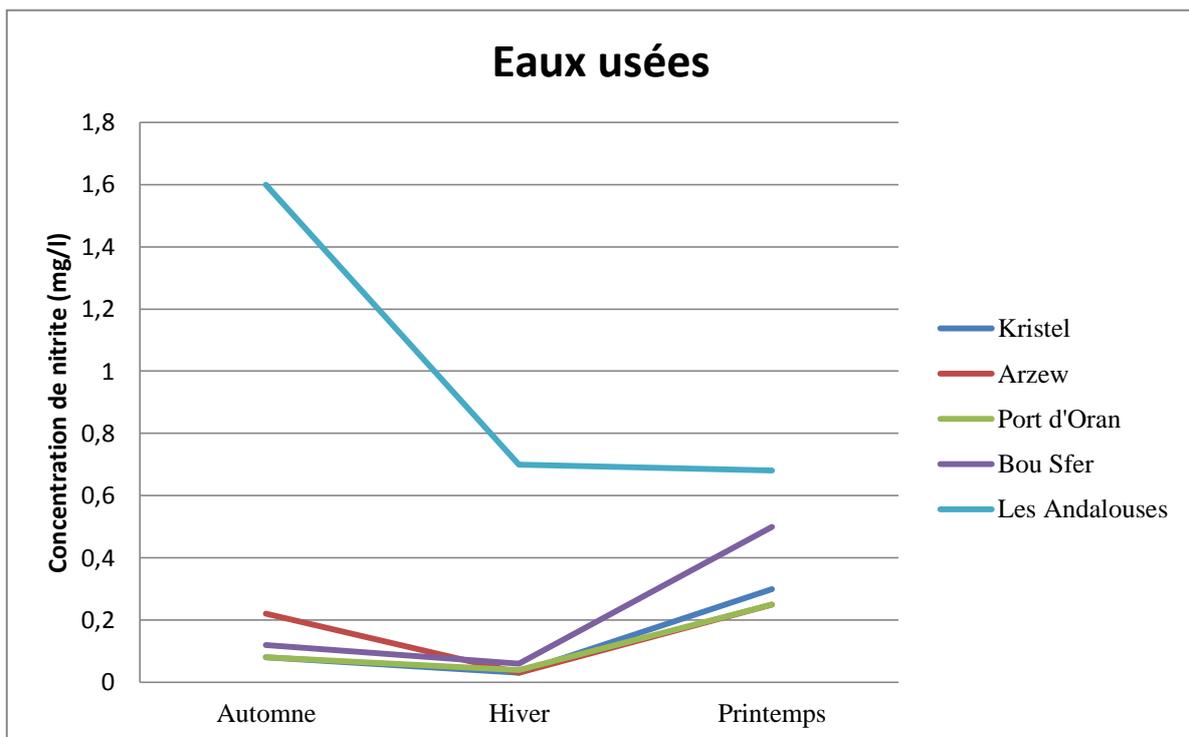


Figure 72 : Variations saisonnières de nitrite dans les eaux usées

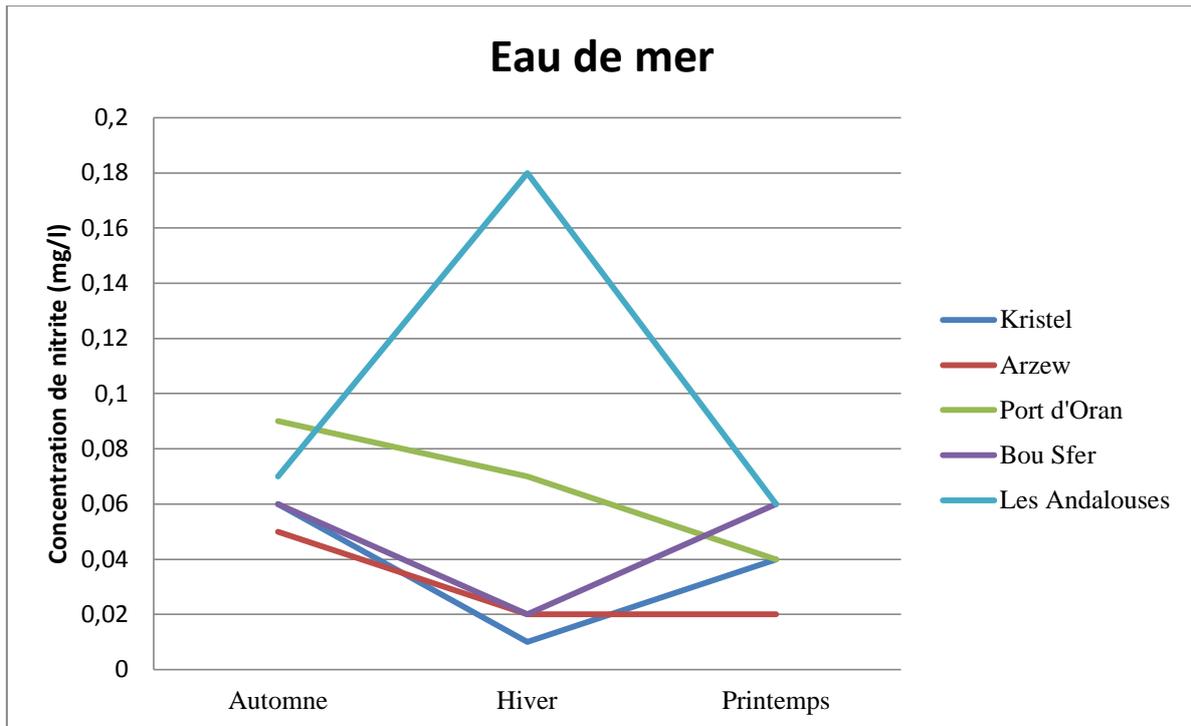


Figure 73 : Variations saisonnières de nitrite dans l'eau de mer.

3.7.3- L'ammonium :

Les résultats obtenus par l'analyse de l'ammonium dans les échantillons des eaux usées prélevés révèlent la présence des teneurs élevées en ammonium. Les valeurs moyennes enregistrées varient entre 109,33 mg/l ($\pm 9,10$) et 1,58 mg/l ($\pm 0,82$) avec un maximum enregistré au niveau de Kristel en hiver (167 mg/l) et un minimum trouvé aux Andalouses au printemps (0,75 mg/l).

Pour l'eau de mer, les analyses effectuées montrent des concentrations variées entre les sites. Les moyennes enregistrées varient entre 4,54 mg/l ($\pm 0,01$) et 0,21 mg/l ($\pm 0,03$). Dans la saison printanière, nous avons enregistré la valeur la plus basse au niveau des Andalouses (0,02 mg/l) et la valeur élevée au niveau de Kristel (13,5 mg/l).

Les teneurs d'ammonium trouvées dans l'eau de mer sont nettement inférieures par rapport aux teneurs enregistrées dans les eaux usées. Cette remarque est applicable pour tous les sites étudiés (Figure 74).

L'ion ammonium, NH_4^+ , est la forme réduite de l'azote. Il provient principalement de la décomposition des protéines naturelles contenues dans le phytoplancton et les micro-organismes. Il peut être aussi issu de l'apport d'effluents urbains épurés, de rejets industriels ou agricoles. Il se trouve dans les eaux naturelles à des concentrations qui peuvent varier de 0,1 à plus de 10 mg/l (MEMOTEC, 2006).

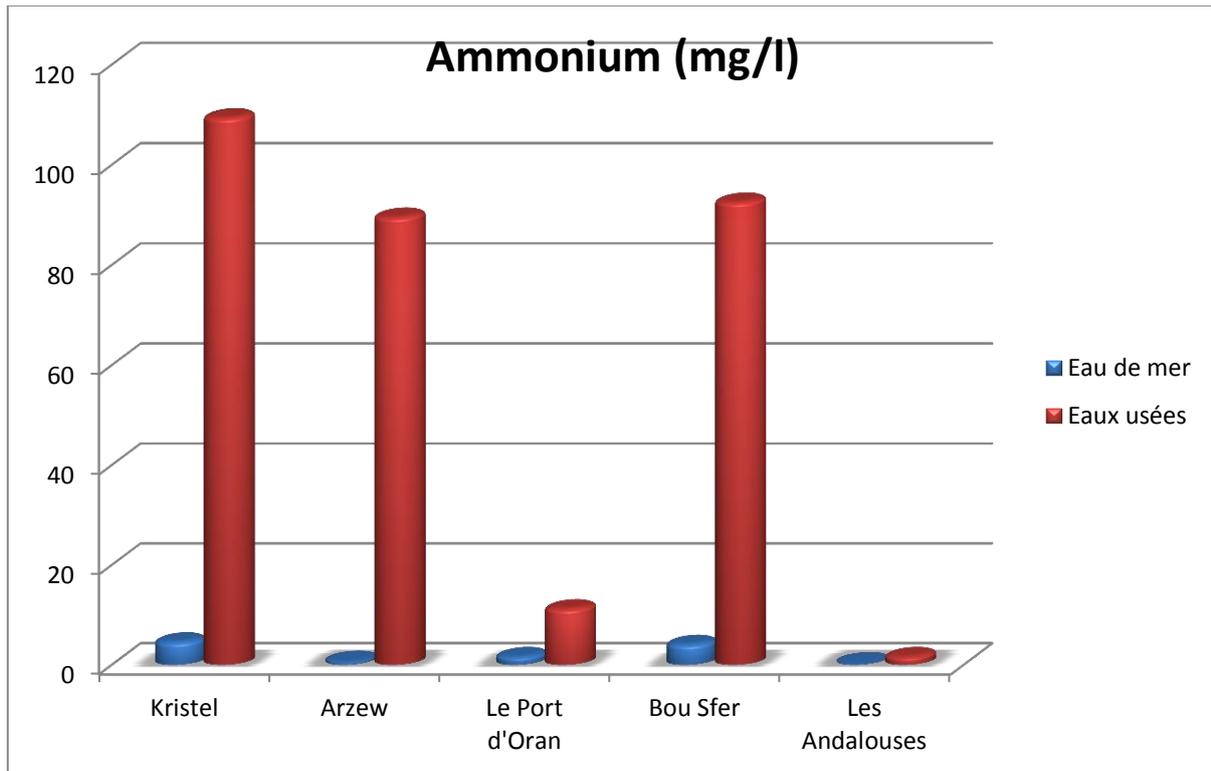


Figure 74 : Valeurs moyennes de l'ammonium.

Le suivi des variations saisonnières de l'ammonium dans les eaux usées a montré une diminution continue de la concentration de cet élément au niveau des Andalouses à travers les saisons, une augmentation en hiver et une diminution au printemps au niveau de Kristel, une diminution en hiver et une augmentation au printemps au niveau du Port d'Oran, Arzew et Bou Sfer (Figure 75).

La quantité d'ammonium dans l'eau de mer a augmenté en hiver et diminué au printemps aux Andalouses, elle a diminué en hiver et augmenté au printemps à Bou Sfer et elle a augmenté continuellement à travers les saisons d'étude (Figure 76).

Les fortes teneurs en ammonium s'expliquent par l'enrichissement de ces endroits en ce composé azoté qui provient par les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles, on outre par la décomposition bactérienne des composés organiques azotés, le mécanisme bactérien appelé Ammonification. (LISEC 2004).

Les rejets urbains d'ammonium peuvent provoquer une augmentation significative des concentrations en cet élément dans le milieu récepteur, cette forme réduite de l'azote minéral, susceptible d'entraîner une consommation d'oxygène dissous dans ce milieu lors de son oxydation, peut aussi se révéler toxique (MARTIN, 1979)

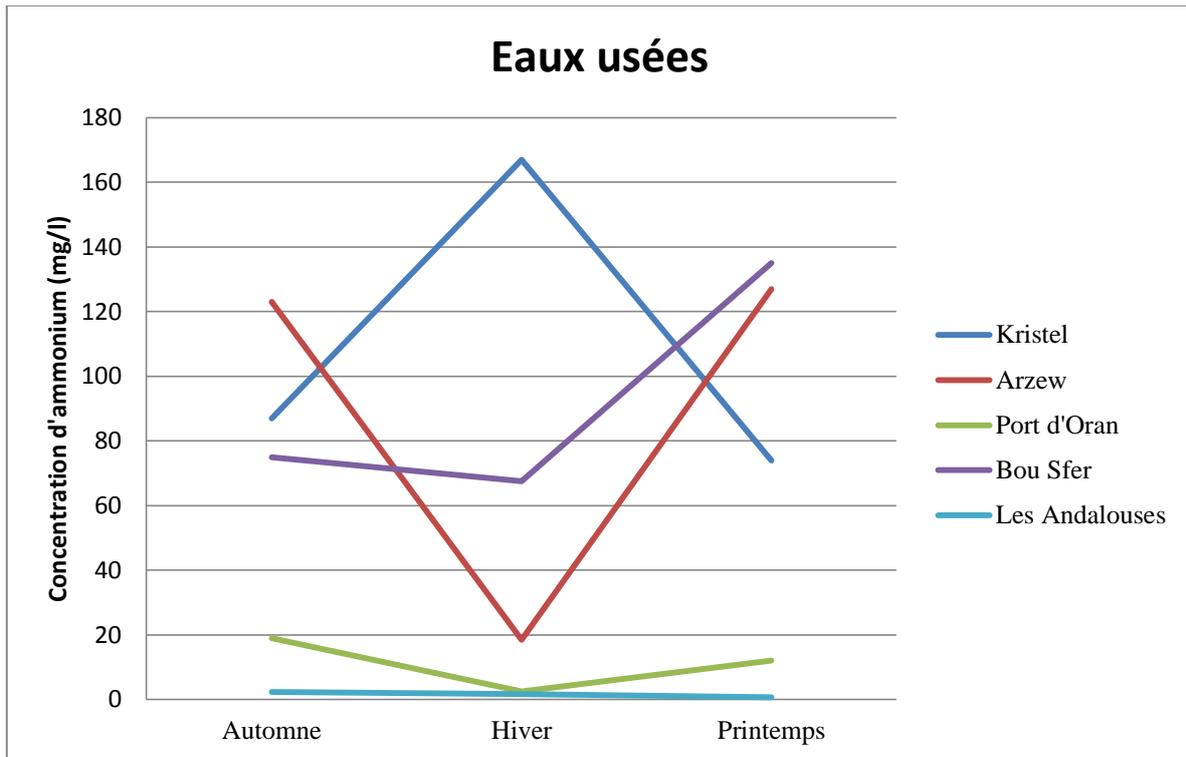


Figure 75 : Variations saisonnières de l'ammonium dans les eaux usées.

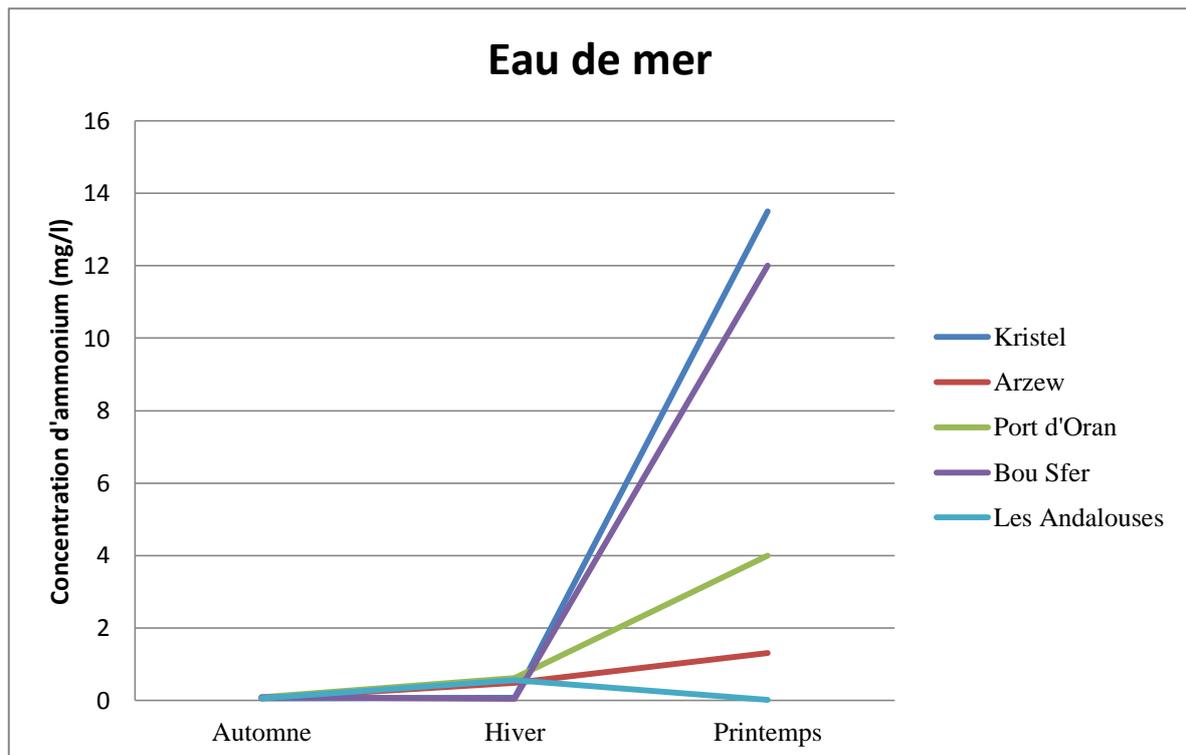


Figure 76 : Variations saisonnières de l'ammonium dans l'eau de mer.

4- Résultats du dosage des métaux lourds :

4.1- Le plomb :

Le dosage du plomb dans les échantillons d'eaux usées donne des renseignements sur la teneur en ce métal dans les effluents rejetés dans la mer. Les concentrations moyennes oscillent entre 0,17 $\mu\text{g/l}$ ($\pm 0,02$) et 0,003 $\mu\text{g/l}$ ($\pm 0,002$) avec des valeurs maximale et minimale enregistrées pendant la saison hivernale au niveau du Port d'Oran (0,21 $\mu\text{g/l}$) et au niveau de Kristel, Arzew et les Andalouses (0,001 $\mu\text{g/l}$) respectivement.

Au niveau des échantillons d'eau de mer, le dosage du plomb révèle des concentrations variant entre 0,19 $\mu\text{g/l}$ ($\pm 0,05$) et 0,001 $\mu\text{g/l}$ (± 0). La valeur maximale est enregistrée au niveau de Bou Sfer en automne (0,24 $\mu\text{g/l}$) et la valeur minimale est trouvée au niveau des Andalouses, cette valeur reste stable dans toutes les saisons (0,001 $\mu\text{g/l}$).

En comparant entre les résultats obtenus, les échantillons des eaux usées contiennent des teneurs élevées en plomb par rapport aux échantillons d'eau de mer au niveau des Andalouses et au Port d'Oran. Pour les sites de Kristel, Arzew et Bou Sfer, les teneurs de Plomb enregistrées au niveau des eaux usées sont nettement inférieures à celles enregistrées au niveau d'eau de mer (Figure 77).

En comparant nos résultats à la norme algérienne définie par le **JO (2002)** qui fixe la teneur maximale du plomb dans les effluents liquides à 1 mg/l, nous trouvons que les sites étudiés sont loin d'être pollués par le plomb.

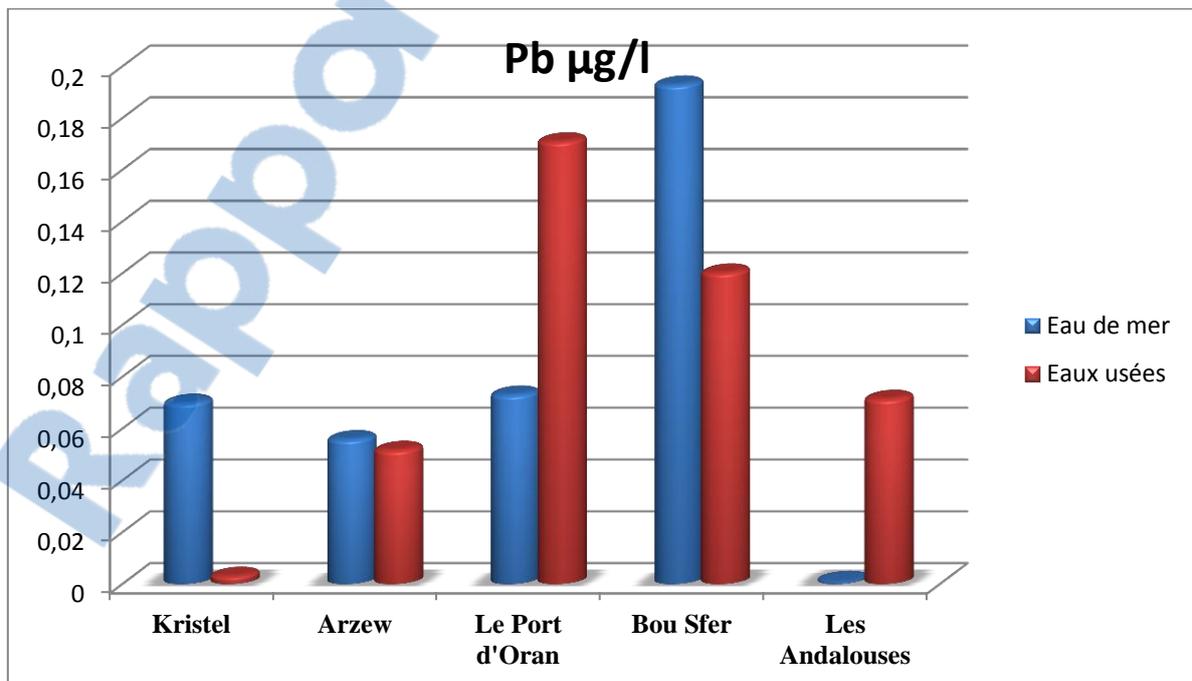


Figure 77 : Teneurs moyennes en plomb

Les teneurs en plomb trouvées dans les eaux usées varient d'une saison à l'autre. Nous remarquons une augmentation de la concentration du plomb en hiver et sa diminution au printemps au niveau du Port d'Oran. Pour les autres sites, la teneur du plomb enregistrée a diminué en hiver par rapport à l'automne et a augmenté au printemps (Figure 78).

Les échantillons d'eau de mer dosés nous permettent de remarquer la variation de la concentration à travers les trois saisons d'étude. La teneur en plomb n'a subi aucun changement dans les trois saisons au niveau des Andalouses, mais elle a augmenté en hiver par rapport à la saison automnale et a diminué au printemps à Arzew. Le contraire est remarqué au niveau du Port d'Oran, Bou Sfer et Kristel, la concentration a diminué en hiver en comparant avec l'automne et a augmenté au printemps (Figure 79).

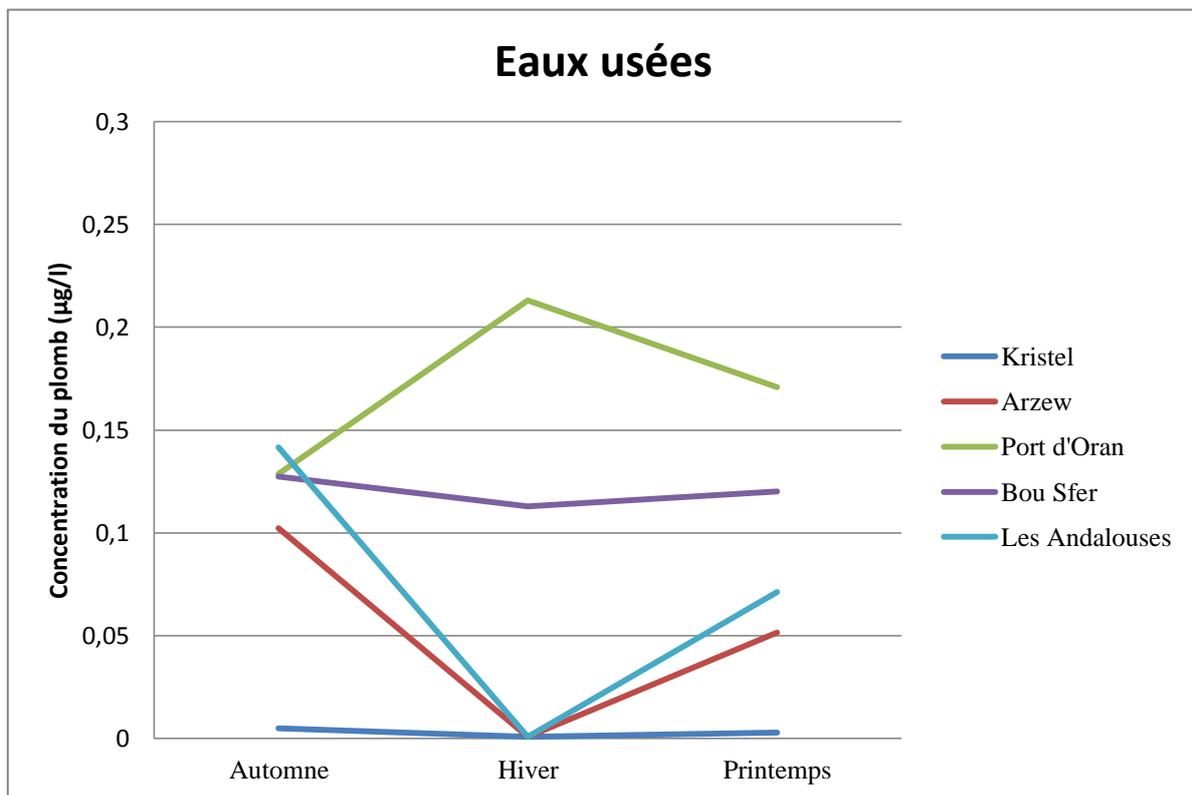


Figure 78 : Variations saisonnières du plomb dans les eaux usées.

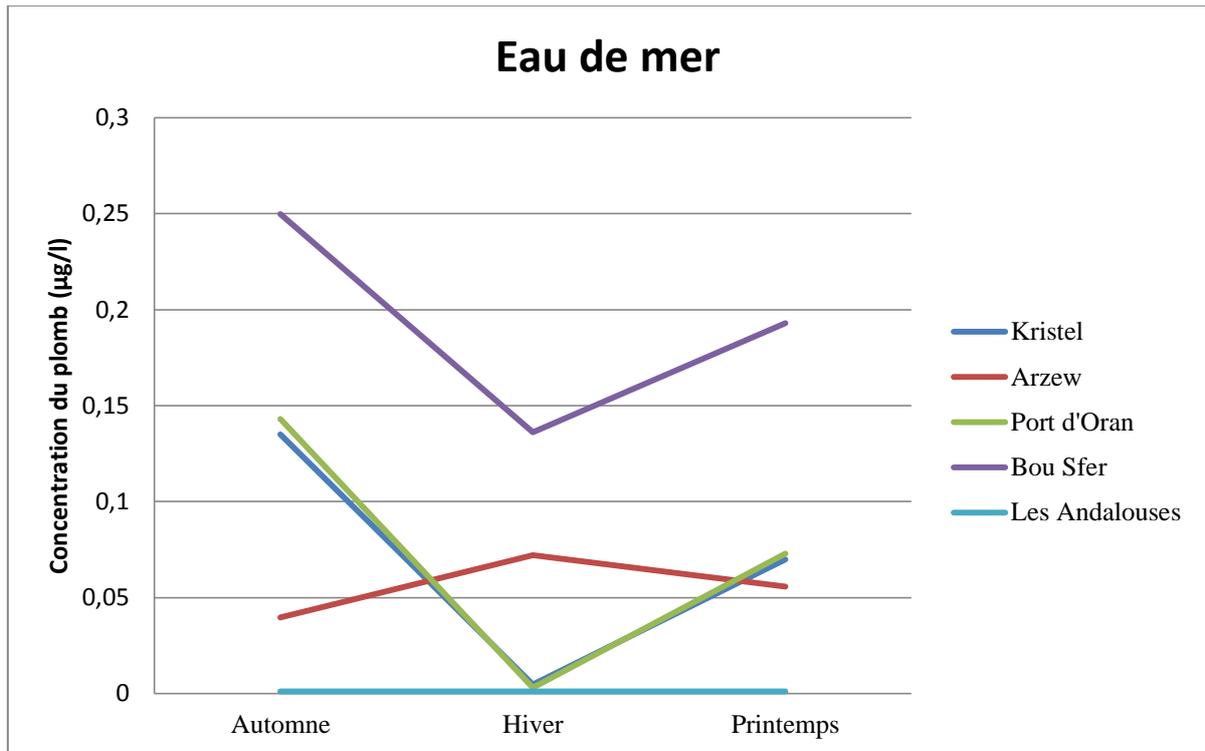


Figure 79 : Variations saisonnières du plomb dans l'eau de mer.

4.2- Le zinc :

Les valeurs moyennes du zinc trouvées dans les échantillons des eaux usées oscillent entre 0,53 µg/l ($\pm 0,09$) et 0,14 µg/l ($\pm 0,06$). La valeur la plus basse est enregistrée à Kristel en hiver (0,08 µg/l) et la plus élevée (0,66 µg/l) est trouvée au Port d'Oran pendant la même saison.

Pour les échantillons d'eau de mer analysés, les teneurs moyennes en zinc trouvées varient entre 0,12 µg/l ($\pm 0,01$) et 0,27 µg/l ($\pm 0,22$), avec un maximum enregistré au niveau des Andalouses en hiver (0,34 µg/l) et un minimum enregistré au niveau d'Arzew en automne (0,10 µg/l).

Les valeurs de zinc trouvées dans les eaux usées sont très élevées par rapport à celles enregistrées dans l'eau de mer au niveau de tous les sites à l'exception de Kristel dont la teneur de zinc dans l'eau de mer est supérieure à celle trouvée dans les eaux usées (Figure 80).

Le **JO (2002)** fixe la teneur en zinc dans les effluents liquides à 5 mg/l, donc nos résultats restent inférieures de la norme.

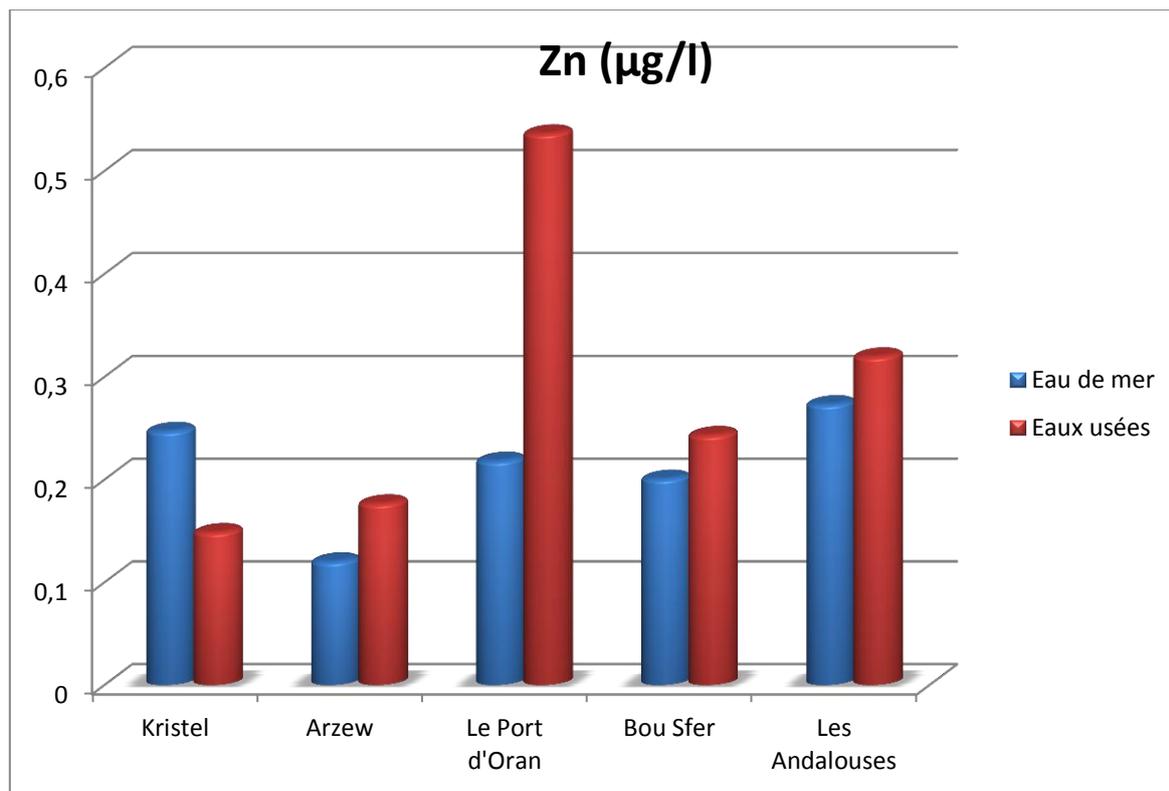


Figure 79 : Concentrations moyennes en zinc.

La teneur en zinc enregistrée dans les eaux usées du Port d'Oran en automne a augmenté en hiver puis elle a diminué à la saison printanière. Pour le reste des rejets étudiés, la concentration du zinc a diminué en hiver et augmenté au printemps (Figure 81).

Pour les échantillons d'eau de mer analysés, les teneurs en zinc trouvées en automne au niveau de Kristel et Bou Sfer ont diminué en hiver et augmenté au printemps mais elles ont augmenté en hiver et diminué au printemps au niveau des autres sites (Figure 82).

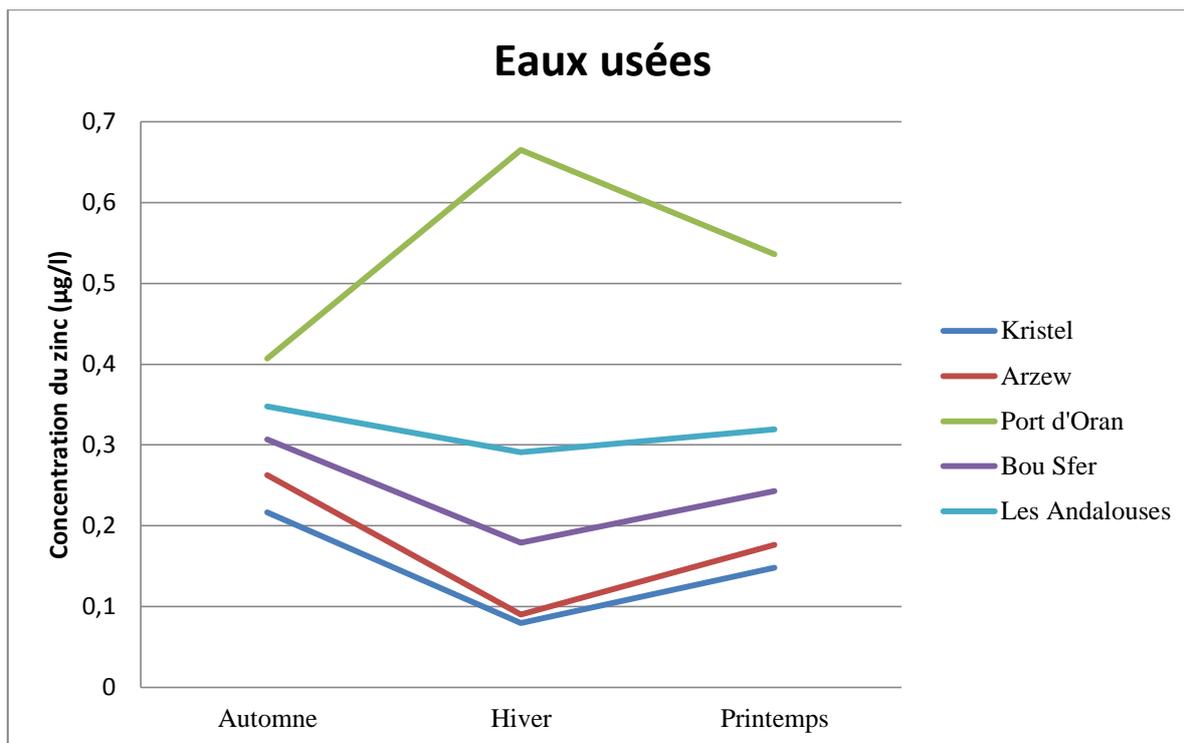


Figure 81 : Variation saisonnières du zinc dans les eaux usées.

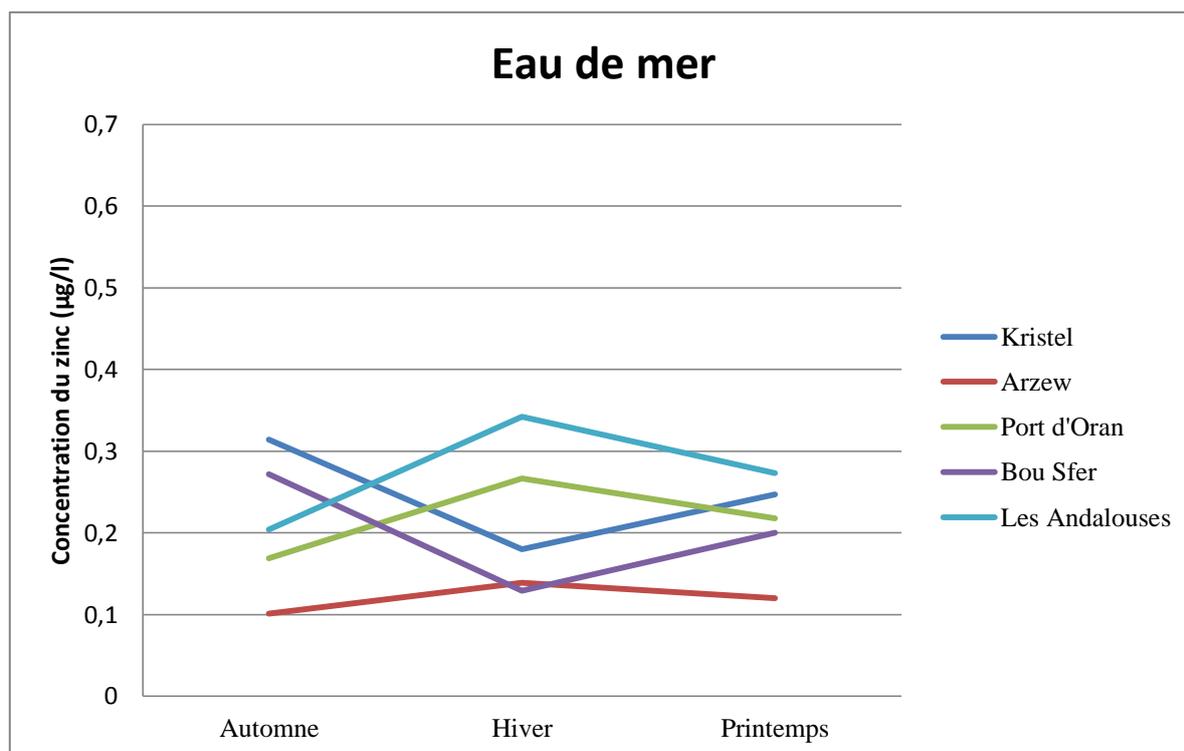


Figure 82 : Variation saisonnières du zinc dans l'eau de mer.

4.3- Le cadmium :

Les valeurs moyennes du cadmium enregistrées au niveau des rejets étudiés oscillent entre 8,58 $\mu\text{g/l}$ ($\pm 6,07$) et 0,24 $\mu\text{g/l}$ ($\pm 0,14$) avec une valeur maximale enregistrée au niveau du Port d'Oran en automne (17,17 $\mu\text{g/l}$) et une valeur minimale enregistrée en hiver à Kristel, Les Andalouses et le Port d'Oran en hiver (0,001 $\mu\text{g/l}$).

Les valeurs moyennes enregistrées au niveau les échantillons d'eau de mer prélevés varient entre 4,45 $\mu\text{g/l}$ ($\pm 3,14$) et 0,21 $\mu\text{g/l}$ ($\pm 0,1$). Les valeurs maximale et minimale enregistrées aux Andalouses en automne (8,9 $\mu\text{g/l}$) et en hiver (0,001 $\mu\text{g/l}$) respectivement.

Selon les normes définies par le **JO (2002)** qui fixent la teneur en cadmium dans les effluents liquides à 5 mg/l, nos résultats sont très inférieurs à cette norme, donc il n'existe aucune pollution par le cadmium au niveau des sites d'étude.

Les concentrations du cadmium au niveau des Andalouses, Bou Sfer et Kristel sont élevées dans l'eau de mer par rapport aux eaux usées, ceci peut être expliqué par la présence d'une autre source de pollution située près de ces sites mais elles sont supérieures dans les eaux usées au niveau du Port d'Oran et Arzew (Figure 83).

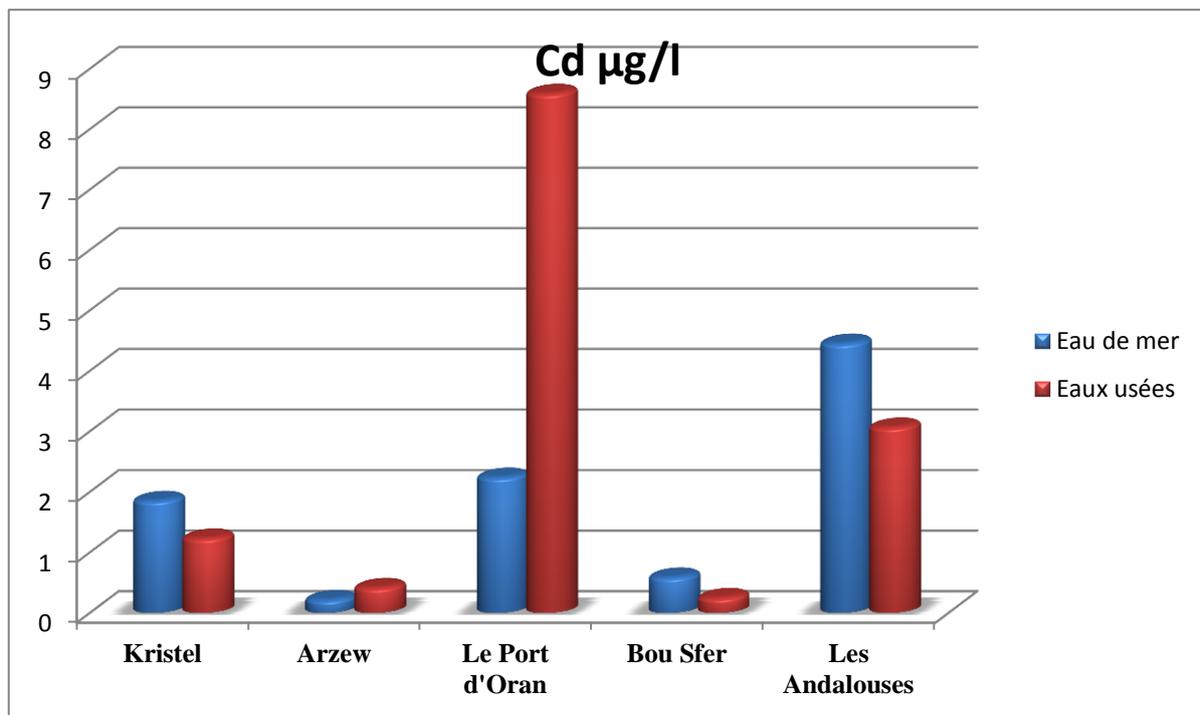


Figure 83 : Concentrations moyennes en cadmium.

Les teneurs en cadmium enregistrées dans l'eau de mer et les eaux usées au niveau de tous les sites étudiés ont diminué en hiver par rapport à l'automne et augmenté au printemps (Figure 84 et 85).

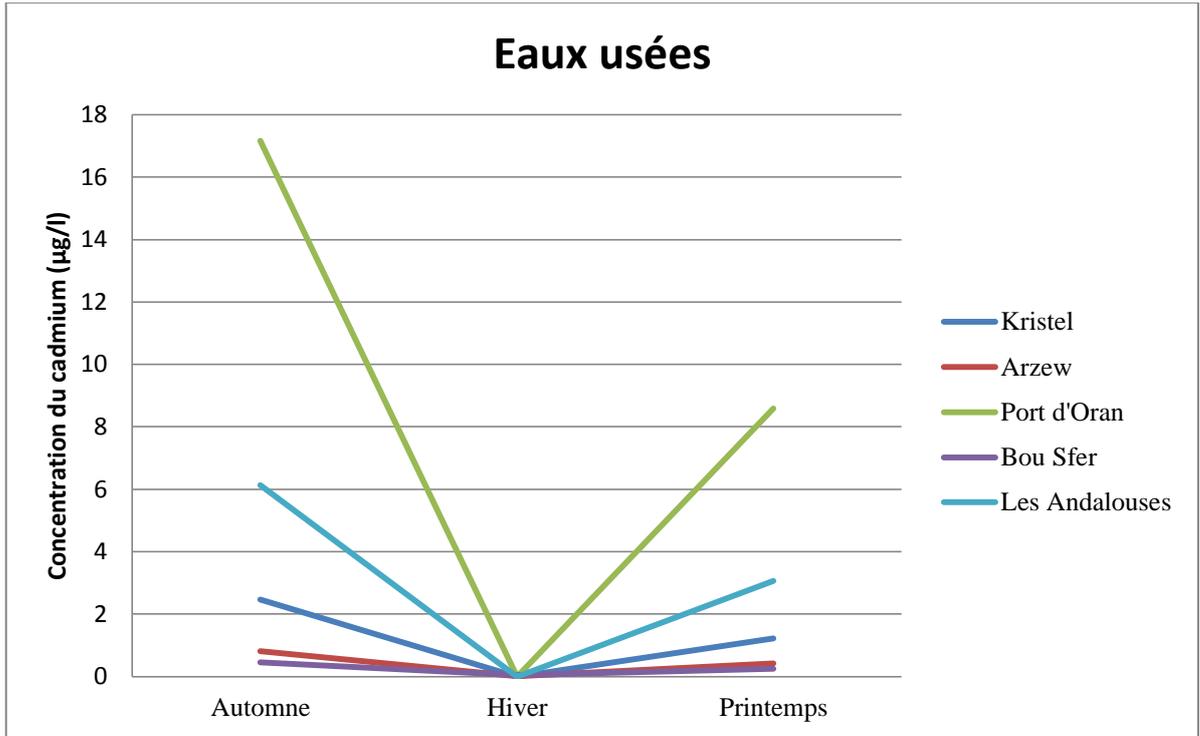


Figure 84 : Variations saisonnières du cadmium dans les eaux usées

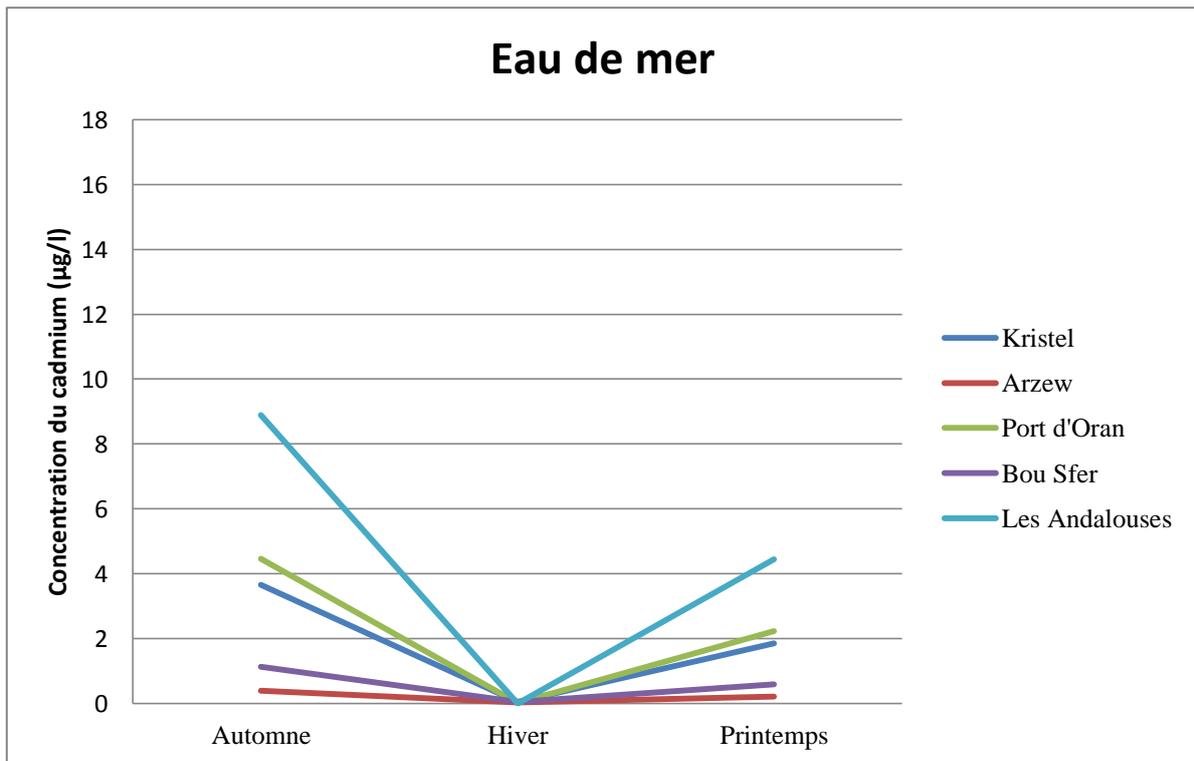


Figure 85 : Variations saisonnières du cadmium dans l'eau de mer.

Le cadmium est un métal relativement rare dans la nature. Sa stabilité dans l'eau est fonction du pH et du potentiel d'oxydoréduction. Son origine, d'un point de vue industriel, est liée aux matières plastiques, huiles de moteurs, piles et dans les produits de stabilité thermique. (DEBIECHE, 2002)

Pour les pH supérieurs à 8, le cadmium précipite avec les carbonates. Lors du mélange des eaux usées avec l'eau de mer, le cadmium forme des complexes très stables avec les chlorures. Pour des salinités faibles, c'est l'espèce $CdCl^+$ qui domine alors que, en milieu marin, c'est $CdCl_2$ qui est majoritaire. (In GONZALEZ *et al.*, 1999).

Le cadmium ne se dégrade pas dans l'environnement, mais des processus physiques et chimiques peuvent modifier sa mobilité, sa biodisponibilité et son temps de séjour dans différents milieux. Dans les milieux aquatiques, la mobilité et la biodisponibilité du cadmium s'accroissent lorsque le pH, la dureté, la concentration de matières en suspension et la salinité sont faibles et lorsque le potentiel d'oxydoréduction est élevé (DSPR, 2005).

5- Evaluation de l'impact des rejets sur l'eau de mer :

Les eaux usées ont un effet néfaste sur les écosystèmes marins et ruinent la vie aquatique. Le déversement direct des rejets d'eaux usées dans la mer augmente la concentration des polluants ce qui conduit à une contamination des organismes marins par ces polluants en provoquant une perturbation des fonctions vitales de ces organismes.

D'après notre investigation, nous constatons l'effet exercé par les rejets d'eaux usées sur l'eau de mer au niveau des sites étudiés.

La température des rejets peuvent avoir des impacts sur l'activité biologique, l'abondance et la distribution des espèces. Certaines pourraient être attirées ou repoussées, d'autres pourraient prédominer au site de rejet. En effet, ceci a été constaté au niveau des sites des rejets étudiés, nous avons remarqué l'absence d'une biodiversité faunistique et floristique.

L'oxygène dissous dans l'eau constitue un facteur limite et un indicateur de l'activité biologique. Les teneurs d'oxygène dissous commandent fortement la vie aquatique : lorsqu'elle tombe au-dessous de 5 mg/l, cela montrent que le milieu est perturbé et des mortalités piscicoles sont à redouter lorsqu'on mesure des teneurs inférieures à 3 mg/l.

Dans le cas de notre étude, nous avons enregistré des valeurs moyennes faibles d'oxygène dissous au niveau du Port d'Oran (4,3 mg/l) et au niveau de Kristel (4,83 mg/l) ce qui signifie la perturbation de ces deux sites, ceci est confirmé par les résultats de la DCO et la DBO_5 .

Les teneurs élevées en DCO, DBO_5 et en matière en suspension, nous indique qu'il peut y avoir une pollution. Les concentrations de la DCO et la DBO_5 mesurées sont en fonction de la concentration de l'oxygène dissous. Une baisse de la teneur en oxygène dissous est accompagnée par une augmentation de la concentration de la DCO et la DBO_5 ce qui signifie

la présence d'une pollution au niveau des sites étudiés à l'exception de l'Oued des Andalouses dont la teneur en oxygène dissous est élevée, la DCO et la DBO₅ sont faibles.

Par ailleurs, les conditions de la mer : courant marin, vagues, eau calme ou agitée influe immédiatement sur la concentration des rejets au contact de la mer.

Les teneurs élevées en sels nutritifs (phosphore, nitrate, nitrite et ammonium) indiquent la richesse des sites étudiés en nutriments. Ces nutriments sont importés au milieu marin soit par les rejets déversés d'origine urbains ou industriels, par lessivage des terres cultivées ou par l'effet d'hydrodynamisme en provoquant l'altération de la qualité des eaux marines. Cette altération de la qualité de l'eau de mer des sites par les nitrates pourrait être attribuée aux rejets ponctuels et dispersés des eaux usées qui n'ont fait l'objet d'aucun traitement préalable.

L'augmentation des concentrations des sels nutritifs dans la mer favorise la prolifération des algues marines. Nous avons remarqué l'absence des algues marines au niveau des sites étudiés.

L'analyse de la matière organique au niveau des rejets étudiés et au point de déversement de ces rejets dans la mer montre la présence des concentrations élevées de cette matière qui proviennent de l'accumulation et la décomposition des organismes morts en milieu anaérobie. Certaines substances sont facilement biodégradables et peuvent donc être décomposées et éliminées grâce aux capacités naturelles d'autoépuration des milieux aquatiques. Mais, lorsqu'elles sont en excès, leur décomposition peut entraîner l'asphyxie de la faune aquatique. Ce sont les poissons qui souffrent le plus du manque d'oxygène, les invertébrés étant moins affectés, les bactéries encore moins. En cas de forte pollution, la vie végétale aussi tend à disparaître.

Le déversement direct des rejets d'eaux usées dans la mer conduit à l'augmentation des teneurs des métaux lourds au niveau des sites des rejets. Les teneurs élevées en métaux lourds au niveau du Port d'Oran s'explique par les rejets déversés et aux activités portuaires tels que les huiles usées rejetées.

Selon nos résultats, nous constatons l'existence d'une légère contamination métallique au niveau des sites étudiés. En effet, l'exposition continue de l'eau de mer à ces sources va augmenter le degré de la pollution par les métaux.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

La pollution marine par les eaux usées représente un sérieux problème en Mer Méditerranée surtout dans les pays riverains en voie d'industrialisation à l'instar de l'Algérie. Avec l'absence des stations et des systèmes d'épuration au niveau de ces pays, les eaux usées sont rejetées dans la mer sans aucun traitement préalable, ce qui provoque la dégradation de la qualité sanitaire des eaux côtières et la perturbation des écosystèmes marins.

Ce présent travail porte sur une évaluation saisonnière de l'état de la pollution marine causée par les eaux usées urbaines rejetées le long du littoral occidental algérien. Notre zone d'étude s'étale sur une frange du littoral oranais allant des Andalouses jusqu'à le Golf d'Arzew. Nous avons ciblé 5 sites d'étude répartis sur le long du littoral oranais : Arzew, Kristel, le Port d'Oran, Bou Sfer et les Andalouses.

Le suivi spatio-temporel de plusieurs traceurs physico-chimiques nous a fourni l'image d'une pollution relativement intense qui se traduit par une importante charge organique et minérale.

Les résultats des paramètres indicateurs de pollution révèlent que les sites étudiés sont plus au mois pollués par les eaux usées rejetées. L'analyse des sels nutritifs montrent la richesse des sites étudiés en nutriments importés par les rejets d'eaux usées.

Le dosage des métaux lourds indique la présence d'une légère pollution par le plomb, le zinc et le cadmium. L'exposition à long terme à ces rejets va augmenter la teneur en métaux qui peut altérer la vie aquatique.

Cependant, nous constatons que l'impact des rejets étudiés est relativement moyen. Toutefois, une exposition continue peut dégrader l'écosystème marin et nuire la faune et la flore marine.

Ces résultats montrent la nécessité d'un traitement préalable des eaux usées brutes, un traitement biologique devrait être envisagé pour améliorer leur qualité selon les normes requises et répondre aux attentes des pouvoirs publics en matière de protection de l'environnement et de la santé humaine.

A la lumière des résultats que nous avons obtenus et des études précédemment réalisées, certains aspects devraient être développés et approfondis :

- Le développement d'un système d'assainissement pour les eaux usées urbaines et industrielles ;
- L'obligation du traitement des eaux usées au niveau de toutes les villes côtières avant qu'elles soient déversées dans la mer ;
- Les eaux usées traitées doivent être déversées à certaine distance dans la mer pour éviter toute sorte de contamination des eaux de baignade afin de protéger la santé humaine.

CONCLUSION GENERALE

Enfin, nous concluons par la proposition de quelques perspectives :

- D'élargir l'étude sur toute la côte algérienne ;
- Compléter nos analyses effectuées par une étude des métaux lourds (mercure, cadmium, arsenic, chrome, cyanure,...etc.), des hydrocarbures, des PCB, ... etc pouvant atteindre des concentrations élevées entraînant ainsi à différentes pathologies ;
- Effectuer une étude parasitologique au niveau des rejets des eaux usées ;
- Appliquer nos analyses sur les différentes espèces aquatiques afin d'évaluer le degré de pollution ;
- De plus des analyses microbiologiques permettront d'approfondir l'objectif de notre étude.

Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AASSIRI A. (2001).** Impact des eaux usées déversées par Oued Sebou sur le littoral de l'océan atlantique : Évaluation de la contamination par les métaux toxiques. *Mémoire de DESA, INRH/Université Mohammed V, faculté des sciences, Rabat.*
- ABDULLAH MD.P. (1997).** Hydrocarbon pollution in the sediment of some Malaysian coastal areas. *Environmental Monitoring and Assessment* 44, 443-454.
- AEE (1999).** Le milieu marin et littoral méditerranéen: état et pressions. E. Papathanassiou et G. P. Gabrielidis (sous la direction de). Agence européenne pour l'environnement, *Environmental assessment series N° 5* (Série d'évaluation environnementale n° 5), pp. 137. (<http://reports.eea.eu.int/ENVSERIES05/en/envissue05.pdf>).
- AEE (2002).** Europe's biodiversity — biogeographical regions and seas (La biodiversité en Europe – régions et mers biogéographiques). Rapport sur des problèmes environnementaux publié par l'AEE (Agence européenne pour l'environnement) Copenhague 2002. (http://reports.eea.eu.int/report_2002_0524_154909/en).
- AEE (2006).** Problèmes prioritaires pour l'environnement méditerranéen. Rapport sur des problèmes environnementaux publié par l'agence européenne pour l'environnement ; p.8
- AIT AMEUR N. (2007).** Anthropogenic carbon distribution in the Ross Sea (Antarctica). *Antarctic Science.*
- AMINOT A. et CHAUSSE-PIED M. (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *Edition : CNEXO, Brest, France, 395 P.*
- AMINOT A. et KEROUEL R. (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses. *Edition Ifremer, Paris. 336p.*
- AOUDJIT N. (2001).** Etude de certains facteurs biologiques et de la contamination de la Bogue (*Boops boops*) par les métaux lourds provenant de la baie d'Oran. *Thèse de Magister. Université d'Oran, 243p.*
- APC (2000).** Mémoire explicatif et justificatif : devis qualitatif et estimatif, Schéma directeur de l'assainissement de Kristel, bureau d'étude d'architecture et du centre publique. APC de Gdyl.
- ARTIERES O. (1987).** Les dépôts en réseau d'assainissement unitaire. *Thèse Doct. Université Louis Pasteur de Strasbourg, 214 p.*
- ASSO A. (1982).** Contribution à l'étude de pollution métallique chez la moule *Perna perna* (L) dans la région d'Alger. *Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle d'Océanographie Biologique. Université d'Aix-Marseille II : 135p.*
- AUBERT M. (1987).** Techniques d'études des pollutions chimiques. *Actes du 8^{ème} Colloque Intr. d'Océanographie Médit. C.E.R.B.O.M.*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BACHARI HOUMA F. (2009).** Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. *Thèse Doctorat ; Sciences de l'Univers et Environnement ; Univ. Val de Marne Paris XII. France, 236p.*
- BAUDRIER J., BEAUVAIS S., BLANCK A., CAMUS P. et PAILLET J. (2012).** Impact global des apports en nutriments et en matière organique : eutrophisation / SRM MO.
- BAUMONT S., CAMARD P. et FRANCONI A. (2005).** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. *Observatoire régional de santé d'Ile-de-France ; Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France.*
- BAYEN S., THOMAS G.O., LEE H.K. et OBBARD J.P. (2004).** Organochlorine pesticides and metals in green mussel, *Perna viridis* in Singapore. *Water, air, and soil pollution ; 155, 103-116.*
- BEN DERRADJI M. E. et KRIRA A. (2001).** Ressources en eau, pollution et sante dans la région d'Annaba-Algérie orientale. *Medit N°1.*
- BENAISSA A.K et BENAISSA M.E.N. (1999).** L'impact du complexe des Andalouses dans la région d'Oran. *Mém. DES, Univ. Oran. 51p.*
- BENGUEDDA-RAHAL W. (1993).** Contribution à l'étude de quelques polluants métalliques chez la moule *Perna perna* (L) et le rouget *Mullus sumerlutus* (L) dans la partie occidentale du golfe d'Arzew. *Magister en Océanographie Biologique. 108p.*
- BENYAKHLEF M., NAJI S. et BELGHYTI D. (2007).** Caractérisation des rejets liquides d'une conserverie de poissons. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 146, 225-234.*
- BERG D.M., RAVEN P.H. et HASSENZAHN D.M. (2009).** Environnement. *de boeck, 6^{ème} édition ; p : 554-569.*
- BERNE F., et CORDONNIER J. (1991).** Traitement des eaux : Epuration des eaux résiduaires de raffinage. Conditionnement des eaux de réfrigération. (*TECHNIP, Eds.*) 306p.
- BLIEFERT C. et PERRAUD R. (2011).** Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets. *2^{ème} Ed. de boeck ; 478p.*
- BOENING D.W. (1999).** An evaluation of bivalves as biomonitors of heavy metals pollution in marine waters. *Environmental monitoring and assessment 55, 459-470.*
- BOILLOT C. (2008).** Évaluation des risques écotoxicologiques liés aux rejets d'effluents hospitaliers dans les milieux aquatiques Contribution à l'amélioration de la phase « caractérisation des effets ». *Thèse ; L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon – INSA de Lyon.*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOISSON J.C. (1998).** Impacts des eaux de ruissellement de chaussées sur les milieux aquatiques, Etat des connaissances. Bulletin des laboratoires des Ponts et chaussées - 214 - mars-avril 1998 - réf. 4185 - pp. 81-89.
- BONTÉ S.L., PONS M., POTIER O. et ROCKLIN P. (2008).** Relation between Conductivity and Ion Content in Urban Wastewater. *Journal of Water Science*, 21(4): 429- 438.
- BONTOUX J. (1993).** Introduction à l'étude des eaux douces. Liège: *Cebedoc Sprd.*
- BOURAS D., MATALLAH A., MOUFFOK S. et BOUTIBA Z. (2007).** Evolution bioclimatique et actions de développement sur le littoral occidental algérien. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 06, Décembre 2007, pp. 91-104
- BOUTAYEB M., BOUZIDI A. et FEKHAOUI M. (2012).** Etude de la qualité physico-chimique des eaux usées brutes de cinq villes de la région de la Chaouia – Ouardigha (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Vie, 2012, n° 34 (2), p. 145-150.
- BOUTHIR F.Z., SOUABI S., CHAFIK A., BENBRAHIM S. et SIFEDDINE M. (2006).** Impact des rejets industriels sur l'environnement : cas de l'accumulation du chrome dans les différents compartiments aquatiques le long du littoral Casablanca – Mohammadia. *Water Qual. Res. J. Canada*, 2006 • Vol. 41, No. 4, 418–426.
- BOUTIBA Z. (1992).** Les mammifères marins d'Algérie : statut, répartition, biologie et écologie. *Thèse Doctorat d'Etat*. Université d'Oran, 512p.
- BOUTIBA Z. (2004).** Quid de l'environnement marin. *Edit :Dar El Gharb*, Oran 273p.
- BOUTIBA Z., TALEB M. Z. et ABI-AYAD S.M., (2003).** Etat de la pollution marine de la côte oranaise. *Ed. Dar El-Gharb*, Oran ; p69.
- BOUZIANI M. (2002).** L'eau dans tous ces états : source de vie, ressources épuisables, maladies hydriques, pollutions chimiques. *Ed. Dar El-Gharb*, p. 225.
- BREMOND R. et PERRODON C. (1979).** Paramètres de la qualité des eaux. *Ministère de l'environnement et cadre de vie. Prévention des pollutions. 2ème ed ; 259 p.*
- BRISOU J. F. et DENIS F. (1980).** Techniques de surveillance de l'environnement maritime. *Edit. Masson*. p206.
- BURGER J. (2006).** Bioindicators: a review of their use in the environmental literature 1970-2005. *Environmental bioindicators* 1, 136-144.
- BUTLER P.A. (1965).** Commercial fishing investigations in the effects of pesticides on fishes and wildlife. *US Fish Wildlife circular*, 226, 67-77.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CAMPBELL P.G.C. (1995).** Interactions between trace metals and organisms : critique of the free-ion activity model. Metal speciation and bio availability in aquatic systems. A. TESSIER et D. R. TURNER, J. WILEY and SONS, Chichester, UK : 45-97.
- CCMRE (2009).** Conseil Canadien Des Ministres Des Ressources Et De L'environnement. La lutte contre les BPC : nature du problème. http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1016_fr.pdf. 15 avril 2009.
- CHIFFOLEAU J.F. (2001).** La contamination métallique, *Programme Scientifique Seine Aval. Editions Ifremer*, 39p.
- CHONG K. et WANG W.X. (2001).** Comparative studies on the biokenitics of Cd, Cr and Zn in the green mussel *Perna viridis* and the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. *Environ. Pollut.* 115(1): 107-121.
- CNTS (2002).** Projet préliminaire de coopération avec les canadiens dans le domaine de l'aquaculture (développement d'une ferme aquacole)
- COLANDINI V. (1997).** Effet des structures réservoirs à revêtement poreux sur les eaux pluviales : Qualité des eaux et devenir des métaux lourds. *Thèse Chimie et microbiologie de l'eau. Université de Pau et de l'Adour*, 278 p.
- COSSA D. (1987).** Les éléments traces dans l'eau de mer : leurs niveaux de concentration et leurs mesures. Nantes (France), *Rapport Ifremer DERO 87-04-MR* : 11.
- D'ADAMO R., DI STASIO M. et FABBROCHINI A. (2008).** Migratory crustaceans as biomonitors of metal pollution in their nursery areas. The Lesina lagoon (SE Italy) as a case study. *Environmental monitoring and assessment* 143, 15-24.
- DABY D. (2006).** Coastal pollution and potential biomonitors of metals in Mauritius. *Water, Air and soil pollution* 174, 63-91.
- DEBIECHE T.H. (2002).** Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. *Thèse Doctorat, Univ. de Franche-Comté, U. F. R. des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté Ecole Doctorale Homme, Environnement, Santé.* 199 P.
- DEFRANCESHI D. (1996).** L'eau dans tous ces états. *Ellipses, édition marketing*, 127p.
- DELOFFRE-BONNAMOUR N. (1995).** Les rejets des établissements de santé : des effluents liquides aux déchets solides. *Mémoire de maîtrise - IUP Génie de l'Environnement - Ecodéveloppement - Université Claude Bernard - Lyon 1.* Lyon: 75p.
- DEMERS A. (2007).** Les eaux usées : une pollution encore et toujours à la une. *PhD et Édith Lacroix, biol. M. Sc. Comité de la recherche et de la sensibilisation, Coalition québécoise pour une gestion responsable de l'eau.*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DERMECHE (1998).** Teneurs en métaux lourds (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni) chez l'oursin commun *Paracentrotus lividus* (LAMARCK, 1816) pêché dans le Golfe d'Arzew. *Mém. Mag. Univ. Oran.*
- DRIRE (2006 a).** Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (DRIRE) de Rhône-Alpes. L'industrie en Rhône-Alpes. Éd. 2004. Disponible sur <<http://www.rhone-alpes.drire.gouv.fr/>> (consulté en oct. 2006).
- DRIRE (2006 b).** Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement de Rhône-Alpes (DRIRE). Le Bilan de l'environnement industriel en Rhône-Alpes. Édition 2004, 129 p. Disponible sur <<http://www.rhone-alpes.drire.gouv.fr/>> (consulté en fév. 2006).
- DSPR (2005).** Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques. Rapport relatif au Plomb et Cadmium. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement ; Royaume du Maroc.
- DU CHAUFOUR P. (1997).** Abrégé de pédologie: sol, végétation et environnement. 5^e Edition Masson.
- DYER S. D., PENG C., MCAVOY D.C., FRENDINGER N. J., MASSCHELEYN P., CASTILLO L.Y. et LIM J.N.U. (2003).** The influence of untreated wastewater to aquatic communities in the balatuim River, the Philippines, Pergamon, Chemosphere 52, pp 43-53.
- ECKENFELDER W.W. (1982).** Gestion des eaux usées urbaines et industrielles : caractérisation, techniques d'épuration et aspects économiques. Paris : Lavoisier-Tec et doc.
- EGPPO (2006).** Fiche descriptive du Port d'Oran. *Publication de la Société Entreprise Portuaire d'Oran.*
- EL KHOKH K., KBIBCH A., EL KHARRIM K. et BELGHYTI D. (2012).** Evaluation de la charge polluante des eaux usées de la ville de Rabat. *Catégorie : Environnement > Environnement ; ScienceLib Editions Mersenne : Vol. 4, N ° 121104 ; ISSN 2111-4706.*
- EMMANUEL E. (2004).** Évaluation des risques sanitaires et écotoxicologiques liés aux effluents hospitaliers. *Thèse ; INSA de Lyon - Spécialité Sciences et Techniques du Déchet. Lyon: 259p.*
- ERICKSSON E., AUFFARTH K., HENZE M. et LEDIN A. (2002).** Characteristics of grey wastewater. *Urban Water. pp. 85-104.*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ESPINOSA F., GUERRA-GARCIA J.M. et GARCIA-GOMEZ J.C. (2007).** Sewage pollution and extinction risk : an endangered limpet as bioindicator? *Biodiversity and conservation* 16, 377-397.
- FARMER C.T., MOORE C.A., ZIKA R.G., et SIKORSKI R.J. (1993).** Effects of low and high Orinoco River flow on the underwater light field of the Eastern Caribbean Basin. *Journal of Geophysical Research*, vol. 98, no C2, p. 2279-2288.
- FEKHAOUI M. et PATEE E. (1993).** Impact de la ville de Fés sur l'oued Sebou : étude physico-chimique. *Bull. Ins.Sci. (Rabat)*, 17, 1-12.
- FONKOU T. (1991).** Contribution à l'étude de *Pistia stratiotes* L. dans les essais d'épuration des eaux usées au campus de l'université de Yaoundé. *Mémoire de maîtrise* des sciences de la vie. Yaoundé (Cameroun) : Faculté des sciences. Université de Yaoundé.
- G.I.S Posidonie. (1996).** Groupement d'Internet Scientifique d'études et de protection de l'environnement marin .Biologie méditerranéenne, nuisance et pollution.
- GAID A. (1984).** Epuration des eaux usées urbaines Office des publications universitaires Alger.
- GARNAUD S. (1999).** Transfert et évolution géochimique de la pollution métallique en bassin versant urbain. *Thèse*. Ecole nationale de ponts et chaussées.
- GESAMP. (1989).** (IMO/FAO/Unesco/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). The atmospheric input of trace species to the world oceans. *Rep. Stud. GESAMP*, (38):111p.
- GHODBANI T. (2001).** Extension urbanistique dans le littoral d'Oran et ses effets sur l'environnement. *Thèse de Magister*. Université d'Oran. Département de géologie et de l'aménagement du territoire. 387p.
- GILBIN R. (2001).** Caractérisation de l'exposition des écosystèmes aquatiques à des produits phytosanitaires : spéciation, biodisponibilité et toxicité. *Thèse de Doctorat*. Faculté des Sciences, Université de Genève. Thèse N° 3315. 195p.
- GONZALEZ J.L., CHIFFOLEAU J.F., MIRAMAND P. et THOUVENIN B. (1999).** Le cadmium comportement d'un contaminant métallique en estuaire. *Programme Scientifique Seine Aval. Editions Ifremer*, Plouzané, France : 31.
- Google earth (2014).** Imagerie saellitaire.
- GRAVEZ V. et BERNARD G. (2006).** Pollution marine : Les définitions. www.com.univ-mrs.fr.
- GRAY S.R. et BECKER N.S.C. (2002).** Contaminant flows in urban residential water systems. *Urban water*, 4:331-346.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- GRIMES S. (1998).** La pollution en milieu portuaire : approche de la pollution industrielle et domestique à travers la distribution du macrozoobenthos du port d'Oran (Algérie). *Rapports et Procès Verbaux des Réunions – Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*. 35, 542-543.
- GRIMES S. (2003).** Bilan et diagnostique national de la pollution marine de la côte algérienne liée à des activités menées à terre. Programme d'actions stratégiques (PAS) destiné à combattre la pollution due à des activités menées à terre et de sa stratégie opérationnelle. *Rapport PAM/PAS MED/MEDPOL*.
- GRIMES S. (2010).** Peuplements benthiques des substrats meubles de la côte algérienne : taxonomie, structure et statut écologique. *Thèse Doctorat*, Univ. Oran ; Département de Biologie. 360p.
- GRIMES S. et BAKALEM A. (1993).** La pollution en milieu portuaire : les peuplements macrobenthiques du port de Skikda (Algérie). *Workshop « Circulation des eaux et pollution des côtes méditerranéennes des pays du Maghreb »*. Rabat 9-11 Nov. 1992, Eds INOC Izmir (Turquie), 195- 202.
- GRIMES S. et BOUDJAKDJI M. (1996).** La pollution en milieu portuaire. Note préliminaires sur l'impact de la pollution industrielle et domestique sur le macrozoobenthos du port d'Oran (Algérie). Environnement côtier. *Actes colloques, A.R.C.E (Oran)*. 16-17, Décembre 1996. 79-91.
- HAMEL L. et FEKIR A. (2011).** Evaluation du niveau de pollution des eaux de baignade du littoral oranais. *Actes du 2^{ème} colloque international sur « la biodiversité et écosystèmes littoraux »*, 28-30 Novembre 2010 Oran, Algérie ; ISBN : 978-975-7895-10, INOC – LRSE 2011.
- HEBERT S. et LEGRE S. (2000).** Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. *Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec*, 5 p.
- HELLOU J., LEONARD J., COOK A., DOE K., DUNPHY K., JACKMAN P., TREMBLAY L. et FLEMMING J.M. (2009).** Comparison of the partitioning of pesticides relative to the survival and behaviour of exposed amphipods. *Ecotoxicology* 18, 27-33.
- HOUMA F. (2005).** The development of a methodology to characterise and determine the sea water pollution by hydrocarbons using satellite images. *3rd International Conference on Marine Waste Discharges and Marine Environment. CIESM Espagne 2004*; INOC Izmir Turkey 12- 14/11/2005.
- HUNT E.G. et BISCHOFF A.I. (1960).** Inimical effects on wildlife of periodic application of DDD to clear lake. *Calif. Fish. Game*, 46, 91-106.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- IDA DE GREGORI H. (1988).** A voltametric study on toxic metals, their speciation and interaction with nutrients and organocligands in a South Pacific Ocean region. *Inc J Environ Anal Chem.* 34: 315-333.
- IFREMER (2002).** La surveillance des rejets urbains en Méditerranée. *Guide méthodologique.*
- IVANOFF A. (1972).** Paramètres physico-chimiques des eaux de mer. *Edt Librairie Vuibert. Tome I. 208p.*
- JO (2002).** Journal Officiel de la République Algérienne. Réglementation algérienne sur les rejets d'effluents liquides.
- JO (2006).** Journal Officiel de la République Algérienne. Annexe des valeurs limites maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industrielles, n°46, pp 7.
- KADRI K. (2014).** Evaluation de l'impact des rejets d'eaux usées le long du littoral Mostaganemois. *Mém. Master. Univ. Oran.* 85p.
- KAISER J. (2001).** Bioindicators and biomarkers of environmental pollution and risk assessment. *Enfield: Sciences publishers inc.*
- KENNISH M.J. et RUPPEL, B.E. (1996).** DDT contamination in selected estuarine and coastal marine finfish and shellfish of New Jersey. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 31, 256-262.
- KERFOUF A. et REMILI S. (2013).** Évaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique (Cd, Pb, Zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littoral Ouest algérien) ; *Physio-Géo* [En ligne], Vol. 7/2013.
- KERFOUF A., BENYAHIA M. et BOUTIBA Z. (2010-a).** La qualité bactériologique des eaux de baignade du golfe d'Oran (Algérie littorale occidentale). *Revue de Microbiologie Industrielle, Sanitaire et Environnement*, vol. 4, n° 1, p. 22-31.
- KERFOUF A., ALAOUI F.Z., DJOUDI O.K., MEBARKI Z. et BENYAHIA M. (2010-b)** Le dessalement de l'eau de mer dans la perspective d'une gestion intégrée et d'un développement durable: Cas de la station de dessalement d'Oran : Algérie Nord Occidentale. *Actes du 6^{ème} Colloque International sur le thème : "Stratégies de développement : Quel chemin parcouru ? Quelles réponses face aux nouvelles contraintes économiques et climatiques ?"* Hammamet, Tunisie.
- KINNERSLEY D. (1990).** Discharge consent and compliance policy: a blueprint for the future. *NRA (National Rivers Authority) Water Quality Series, No. 1, Bristol; UK.*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- KÖRDEL W., DASSENAKIS M., LINTELMANN J. et PADBERG S. (1997).** The importance of natural organic material for environmental process in water and soils. *Pure appl. Chem.*, 69 (7), 1571-1600.
- KREMLING K. (1985).** The distribution of Cd, Cu, Ni, Mn and Al in the surface waters of the open Atlantic and European shelf area. *Deep-Sea. Res.*, 32 : 531-553.
- KUZYK Z.Z.A., BURGESS N.M., STOW J.P. et FOX G.A. (2003).** Biological effects of marine PCB contamination on black guillemot nestlings at Saglek, Labrador : liver biomarkers. *Ecotoxicology* 12, 183-197.
- LAAMA C. (2009).** Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux du port d'Alger. *Mém. DEUA en sciences de la mer ; Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral ; Algérie*, 45p.
- LACAZE J.C. (1996).** La pollution des mers. *Edition: DOMINOS Flammarion*, France, 128p.
- LAMBERT C.F. et PENOT M. (1981).** Actions des pétroles de l'Amoco Cadiz sur la croissance et certains aspects du métabolisme d'une algue phytoplanctonique *Pavlova lutheri* (DROPP) Green. In *Indices Biochimiques et milieux marins* .Actes du colloque des journées du GABIM, 14, CNEXO, Brest, pp.411-422.
- LAREDJ F.Z. (2013).** Evaluation préliminaire de l'impact des rejets urbains et industriels évacués le long du littoral de la côte Oranaise. *Mém. Master, Sciences De La Mer Et Du Littoral, Biol. Univ. Oran* 107p.
- LASSABATERE L. (2002).** Modification du transfert de trois métaux lourds (Zn, Pb et Cd) dans un sol issu d'un dépôt fluvio-glaciaire carbonaté par l'introduction de geotextiles. *Thèse. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon*.
- LEBLANC J.C., GUERIN T., VERGER P. et VOLATIER J.L. (2004).** Etude de l'alimentation totale française. Mycotoxines, minéraux et éléments traces. *INRA, Ministère de l'agriculture, de l'Alimentation, de la pêche et des Affaires Rurales*, 72p.
- LEVESQUE L. (1976).** Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales. Rapport N° 6 : le chrome, le cuivre et le nickel. *Rapport de l'AFEE*.
- LEYNAUD, G., (1968).** Les pollutions thermiques : influence de la température sur la vie aquatique. Paris : *Ministère Français de l'agriculture*.
- LISEC (2004).** Controle van de fysicochemische kwaliteit van de viswaters van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. *Rapport effectué pour le compte de l'IBGE*.
- MARTIN G. (1979).** Le problème de l'azote dans les eaux. Tech et Doc. Paris. 279p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- MATALLAH-BOUTIBA A. (2009).** Inventaire des espèces fongiques des eaux marines du littoral occidental algérien. *Thèse Doct.*, Univ. Oran, Algérie ; 143p.
- McNEELY R.N., NEIMAINIS V.P., et DWYER L. (1980).** Reference sur la qualité des eaux. Guide des paramètres de la qualité des eaux environnements. Canada. *Direction de la qualité des eaux*, Ottawa. Canada.
- MEMOTEC (2006).** L'élimination de l'ammonium dans l'eau potable. *Révision A, GLS*.
- MEOT B. et ALAMY Z. (1990).** Les eaux usées urbaines : réglementation des rejets urbains, traitement de finition par géoépuration. *BRGM Services Sol Et Sous-Sol ; Département Environnement Et Risque* ; 58p
- MERTES L.A.K., SMITH M.O. et ADAMS J.B. (1993).** Estimating suspended sediment concentrations in surface waters of the Amazon River wetlands from Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, vol. 43, no 3, p. 281-301.
- MILLOT C. (1985).** Some features of Algerian current. *J. geophys. Res.*, Vol. 90 N°7 :7169-7176.
- MILLOT C. (1989).** La circulation générale en Méditerranée occidentale : aperçu de nos connaissances et projets d'études. *Annales de géographie*, n° 459, XXVIII°.
- MILLOT C. (1999).** Circulation in the western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems* 20, 423-442.
- MISE (2009).** Mission Inter Service de l'Eau de Lorraine. Guide de l'eau : Le rejet des eaux usées.
- MOMPOINT M. (2004).** Evaluation des dangers écologiques générés par les effluents liquides urbains sur l'écosystème de la baie de Port-au-Prince : Première approche méthodologique. *Thèse* ; Université de Quisqueya - Ingénieur Civil.
- MORIARTY F. (1990).** Ecotoxicologie : the study of pollutants in ecosystems. *Academic Press*, Londres et New York, 3° ed. (1° ed. : 1983)
- MORRISON D.E., ROBERSTON B.K. et ALEXANDER M. (2000).** Bioavailability to earthworms of aged DDT, DDE, DDD and Dieldrin in soil. *Envir. Sci. Technol.*, 34, 704-713.
- MOUCHEL J-M et THEVENOT D. (2003).** Support de cours d'Ecotoxicologie du CEREV « Centre d'Enseignement et de Recherche Eau Ville environnement ».
- NAVARRO A. et BLANCHARD J.M. (1982).** L'eau et l'environnement, Support de cours : Institut National de Sciences Appliquées de Lyon.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- NEFF J.M. (2002).** Bioaccumulation in marine organisms: effect of contamination from oil well produced water. *Elsevier Science Publishers, Amsterdam.*
- NIEMCZYNOWICZ J. (1999).** Urban hydrology and water management - Present and future Challenges. *Urban Water*, p.1-14.
- OEHLMANN J., STROBEN E., SCHULTE-OEHLMANN U., BAUER B., FIORONI P. et MARKET B. (1996).** Tributyltin biomonitoring using prosobranchs as sentinel organisms. *Fresenius' journal of analytical chemistry* 354, 540-545.
- OFEFP (2004).** Analyses physico-chimiques. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse, Module Chimie, Niveaux R & C. *L'Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage, Berne.*
- P.O.S (1998).** Plan d'occupation du sol de Kristel, phase II contrat d'étude entre la direction de l'urbanisme de la wilaya d'Oran et le bureau d'étude de l'environnement et de l'urbanisme. Wilaya d'Oran, commune de Gdyel.
- PAYNE A. I. (1986).** The ecology of tropical lakes and rivers. Great Britain: John iley&sons Ltd.
- PERKINS H. ET PISTEK P. (1990).** Circulation in the Algerian Bassin during June 1986. *Journal of Geophysical Research*, 95, 1577-1585.
- PESSON P.(1976)** La pollution des eaux continentales : incidences sur les biocénoses aquatiques. *Edition Delamare* : 285 p.
- PULLAT I., TAUPIER-LETAGE I. et MILLOT C. (2002).** Algerien Eddies lifetime can near three years. *Journal of Marine Systems*, 31:245-259.
- RAMADE F. (1977).** Ecotoxicologie (2^e éd. 1979). *Masson Paris* ; p68.
- RAMADE F. (1982).** Elément écologie, appliquée. *Mc Graw-Hill ed* : 452p.
- RAMADE F. (1992).** Précis d'écotoxicologie. *Masson, Paris.*
- RAMADE F. (2000).** Dictionnaire encyclopédique des pollutions : Des polluants de l'environnement à l'homme. *Edition internationale Edi. Science Paris.*, 690p.
- RAMADE F. (2007).** Introduction à l'écotoxicologie : fondements et applications. *Ed Lavoisier.*
- RAZAFINDRADTANDRA Y. et SEVEQUE J.L. (1998).** Sites pollués et potentiellement pollués. Identification et contrôle juridique et technique. Collection Environnement. Paris, *Victoires Editions*, 256 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- REMILI S. et KERFOUF A. (2006).** Impact de la pollution fécale des espaces récréatifs du littoral oranais (Algérie nord occidentale). *Actes de la 1^{ère} Édition des Journées Francophones de Microbiologie des Milieux Hydriques* (Agadir, Maroc), p. 134-141.
- REMILI S. et KERFOUF A. (2009).** Surveillance environnementale et développement durable côtier (cas du littoral oranais). *Actes du 5^{ème} Colloque International sur le thème : "Énergies, changements climatiques et développement durable"* (Hammamet, Tunisie)
- RFEA. (1990).** Réseau Francophone sur l'Eau et l'Assainissement. Les types de pollution. *Fiche d'information.*
- RNB. (1999).** Réseau National de Bassin. Les micropolluants dans les cours d'eau français, 3 années d'observations (1995 à 1997). *Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement et les agences de l'eau.* France.
- ROBINSON J. (1967).** Residues of Dieldrin in the british environment. *In : Abst. 6^e Cong. Int. Prot. Végétaux*, Vienne, 554.
- RODIER J. (1984).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. *DUNOD 3^{ème} édition ; 259P.*
- RODIER J. (1996).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. *Paris: Dunod ; 8^e édition.*
- RODIER J. (1997).** L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer) *8^{ème} édition*, Paris, 1384 P.
- ROUANE-HACENE O. (2013).** Biosurveillance de la qualité des eaux côtières du littoral occidental algérien, par le suivi des indices biologiques, de la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Cd) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* et l'oursin *Paracentrotus lividus*. *Thèse Doct.* Département de Biologie, Univ. Oran. 249p.
- SABARC (1993).** Etude de la prolifération des algues vertes dans le Bassin d'Arcachon. Evaluation des flux d'azote et de phosphore apportés au Bassin d'Arcachon par ruissellement des eaux de pluie. *Rapport SABARC*, 66 p. + 1 carte.
- SAHNOUN F., BENDRAOUA A. et HADJEL M. (2010).** Contrôle de la pollution marine du littoral oranais. *Communication Science & Technologie N° 8. Janvier 2010 ; COST ; Univ. STMB, Oran.*
- SALOMON. J.N. (2003).** Danger pollutions! Collection « Scieteren », *Presse Universitaire de Bordeaux*, France, 170 P.
- SAMAKE H. (2002).** Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001, 77p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- SEDDIK (2008).** Evaluation de la pollution bactériologique chez un mollusque gastéropode *Patella caerulea* (Linné, 1758) dans le littoral est oranais. *Mém. Mag. Univ. Oran.*
- SIRON R., DEL R.M., LOO M. et GIUSTI G., (1986).** Formation et évolution de fractions pétrolières solubles dans l'eau, lors de tests de phytotoxicité. *C.R.A Acad.Sc.t.303, Série III, N°16, Paris*, pp.661-664.
- SIUNG-CHANG A. (1997).** A review of marine pollution issues in the Caribbean. *Environmental Geochemistry and health* 19, 45-55.
- SMITH R., BOLAM S.G., REES H.L. et MASON C. (2008).** Macrofaunal recovery following TBT ban. *Environmental Monitoring and Assessment* 136, 245-256.
- SMOLDERS R., BERVOETS L., WEPENER V. et BLUST R. (2003).** A conceptual framework for using mussels as biomonitors in whole effluent toxicity. *Human and ecological risk assessment* 9, 741-760.
- SOGREAH (1997).** Etude de l'assainissement du groupe urbain d'Oran Mission A ED. AGP. N° ND, 5342 1 845 02, 1, 46-65.
- SOGREAH, Ingenierie (1998).** Etude de l'assainissement du groupe urbain d'Oran Mission A ED. AGP. N° ND, 5342 1 845 02, 63p.
- SOUDAN F. (1968).** Incidences de la pollution sur la vie marine. *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.*, n° 169, avril 1968.
- SROGI K. (2007).** Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review. *Environmental Chemistry Letters* 5, 169-195.
- STALLARD M., HODGE V. et GOLDBERG E. (1987).** TBT in California coastal waters: monitoring and assessment. *Environmental Monitoring and Assessment* 9, 195-220.
- STRECK T. et RICHTER J. (1997).** Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale : I. Measurements and parametrization of sorption. *J. Environ. Qual.*, 26:49-56.
- THOMAS O. (1985).** Métrologie des eaux résiduaire ». *Ed. Cebedoc / Tec. et Doc. 11, Liège -75384. Paris.*
- UVED (2003).** Annexe : les voies de transfert des nitrates et des phosphates. Rapport Université Virtuelle de l'Environnement et du Développement Durable ; Université de Nantes.
- VALIRON F. (1990).** Gestion des eaux, principes - moyens - structures. *Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.*
- VALIRON F., TABUCHI J.P. (1992).** Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie : Etat de l'Art. *Paris : Tec et Doc Lavoisier, 564 p.*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- VAN DER PERK M. (2006).** Soil and water contamination from molecular to catchment scale. *Leiden: Taylor and Francis- Balkema*, 404p.
- VINCENT M. (2006).** Etude d'expertise en Aquaculture - Environnement - Pêche – Pollution. Saint-Maximin – France
- WANG D., MIAO X. et LI Q.X. (2008).** Analysis of organochlorine pesticides in coral (*Porites evermanni*) samples using accelerated solvent extraction and gas chromatography/ion trap mass spectrometry. *Archives of environmental contamination and toxicology* 54, 211-218.
- YASUNO M. (1995).** Long-term biomonitoring of organochlorine and organotin compounds along the coast of Japan by the Japan Environment Agency. *Bioindicators of Environmental Health*, M. Munawar, O. Hänninen, S. Roy, N. Munawar, L. Kärenlampi, D. Brown, editors. (*New York : SPB Academic Pub.*) pp. 179-193.
- ZEGHDOUDI E. (2006).** Modélisation bioéconomique des pêcheries méditerranéennes. Application aux petits pélagiques de la baie de Bousmail.

RESUME

Ce présent travail consiste à évaluer le degré de la pollution causée par les eaux usées au niveau du littoral oranais. Cette étude est basée sur l'analyse des paramètres physicochimique, des paramètres indicateurs de pollution et le dosage des métaux lourds (Pb, Zn, Cd) sur des échantillons d'eau de mer et des échantillons d'eaux usées prélevés dans cinq sites soit : Arzew, Kristel, le Port d'Oran, Bou Sfer et les Andalouses.

Trois campagnes d'échantillonnages saisonniers ont été réalisées entre le mois de décembre 2013 et le mois de mai 2014.

Les résultats obtenus mettent en évidence des variations significatives dans les paramètres physicochimiques, paramètres indicateurs de pollution et la teneur en métaux lourds entre les échantillons des eaux usées et les échantillons d'eau de mer selon les sites de prélèvement et les saisons.

Le suivi des variations des paramètres physicochimiques donne des résultats variés mais ils sont tous dans les normes. La quantité de l'oxygène dissous est pratiquement faible dans tous les sites, surtout pour les échantillons des eaux usées ce qui signifie la présence d'une activité bactérienne plus forte au niveau des rejets étudiés.

Les résultats des paramètres indicateurs de pollution montrent la présence d'une pollution plus au moins importante au niveau des cinq sites étudiés. Les résultats obtenus sont largement supérieurs aux normes algériennes définies.

Il ressort du dosage des métaux lourds, que les sites étudiés présentent une légère contamination par les métaux. L'absence du traitement et l'exposition à long terme à ces rejets vont engendrer une pollution métallique grave au niveau de l'eau de mer.

Mots clés :

Oran; Eaux Usées; Eau De Mer; Pollution Marine; Etude Saisonnière; Paramètres Physicochimiques; Paramètres Indicateurs De Pollution; Métaux Lourds; Impact Biologique; Impact Environnemental.

Soutenu le 29 Janvier 2015