

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Année 2016

Département de Génie des procédés

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de **DOCTORAT EN SCIENCES**

Évaluation de la qualité physico-chimique des rejets anthropiques
(urbains, agricoles et industriels) au Golfe d'Annaba

Option :

Écologie et Environnement

Par

KHALED-KHODJA Soumeya

Directeur de thèse : **SAMAR Mohamed El-Hadi Professeur** Université **BM - Annaba**

DEVANT LE JURY

PRÉSIDENT : HAMDAOUI Oualid Professeur Université **BM - Annaba**

EXAMINATEURS :

DERRADJI Ahmed Professeur Université **BM - Annaba**

GHIZELLAOUI Samira Professeur Université de Constantine

ALI-KHODJA Hocine Professeur Université de Constantine

DERBAL Keroum Maître de Conférences A École Nationale Polytechnique,

Constantine 3

*À la mémoire de ma maman qui m'a appris à être libre et
responsable*

À mon père qui me dit toujours "nul n'est né savant"

À mes soeurs, à mon frère et à mon beau frère

À mes neveux adorés

Remerciements

Louange à Allah, le tout puissant, pour m'avoir donné le courage et la force nécessaires pour finir ce laborieux travail.

Je remercie particulièrement ma petite sœur pour ses encouragements ainsi que son mari pour son aide précieuse et efficace. Je remercie aussi ma chère amie et sœur Ikram, pour son soutien et son aide, peut être sans elle cette thèse n'aurait pas vu le jour...

Je remercie également mon Directeur de Thèse, Professeur SAMAR Mohamed-Elhadi, pour avoir accepté de diriger cette thèse. Mes sincères remerciements aux membres de jury: Professeur HANDAOUI, Professeur DERRADJI, Professeur GHIZELLAOUI, Professeur ALI-KHODJA et Docteur DERBAL, qui ont bien voulu examiner ce travail.

Je n'oublie pas de remercier sincèrement l'équipe du Département Environnement, Microbiologie et Phycotoxines de l'institut d'Ifremer, centre de Brest, et particulièrement leur directrice Monique POMMEPIN et les membres de l'équipe : Marie-Paul CAPRAS, Michèle GOURMELON, Jean-Jacques LE SANX, dont l'accueil chaleureux et l'aide précieuse resteront toujours graver dans ma mémoire.

Je tiens aussi à remercier tout le personnel du laboratoire LABOCEA (ex IDHESA Bretagne Océane) et particulièrement leur directrice, Mme Gaël DURAND, qui m'a accueilli dans son laboratoire, me permettant ainsi de réaliser les dernières analyses de mon travail de thèse, et je lui est aussi redevable pour les quelques corrections apportées à mon manuscrit. Je tiens à remercier également mon ami Jacques DUSSAUZE, pour sa gentillesse et sa disponibilité malgré son emploi du temps extrêmement chargé. Mes remerciements s'adressent aussi à mon amie Marise LEHENAFF pour sa gentillesse, son aide et sa disponibilité. Je remercie aussi mon amie Gwendolina LIMON pour son aide et pour nos longues discussions passionnantes sur les problèmes environnementaux...

Enfin, j'exprime ma gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de cette thèse.

Grand Merci à tous ...

Soumeya

Située à l'Est du littoral algérien, la ville d'Annaba est une baie ouverte à vocation industrielle, agricole, urbaine et touristique. De ce fait, elle subit une importante pression anthropique à l'origine de sérieux problèmes environnementaux. Les rejets anthropiques au Golfe d'Annaba sont multiples et très diversifiés. Faute de station d'épuration, ces effluents terrigènes sont déversés dans les oueds, sans traitement préalable, contribuant inéluctablement à la dégradation de la qualité des ressources hydriques superficielles et souterraines. Ce flux terrigène est essentiellement véhiculé vers la mer par les oueds Bouhamra et la Seybouse ou déversé directement dans le littoral via les rejets liquides d'Asmidal (Fertial) et ceux des stations de relevage.

Un suivi bimensuel, durant deux ans (2002-2004), de la qualité physico-chimiques et biochimique des eaux des principaux oueds (Bouhamra et la Seybouse) et des effluents liquides du complexe d'Asmidal, et un suivi saisonnier des micropolluants organiques et minéraux, durant l'année 2009-2010, nous ont permis de mettre en relief l'état de dégradation avancé de la qualité des eaux et des sédiments.

Les eaux des oueds Bouhamra et la Seybouse sont contaminées par les sels nutritifs, principalement l'ammonium et les phosphates, à l'origine de l'eutrophisation de ces hydrosystèmes. En outre, une pollution des eaux et des sédiments par les micropolluants organiques (insecticides organochlorés et organophosphorés, herbicides, fongicides, etc.) et les éléments traces métalliques (Al, As, Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, Ni, Ba, etc.) a été mise en évidence.

Les déjections liquides du complexe d'Asmidal sont contaminés par les nutriments, les micropolluants organique (multi résidus de pesticides) et minéraux (Cd, Cu, Ni, Pb et Zn) et sont responsables de la pollution chimique du proche littoral. En sus, de la pollution chimique, causée par les rejets d'Asmidal, les eaux littorales subissent une pollution thermique, qui peut être préjudiciable aux organismes aquatiques.

Mots clés : rejets anthropiques - hyper fertilisation des eaux - contamination métallique - eutrophisation - Golfe d'Annaba.

Situated east of the Algerian coast, the city of Annaba is a bay open to industrial, agricultural, urban and tourist vocation. Therefore, it undergoes an important anthropological pressure at the origin of severe environmental problems. The anthropological rejections in the Gulf of Annaba are multiple and very diversified. For lack of water-treatment plant, these terrigenes effluents are poured in oueds, without preliminary processing, Contributing inevitably to the degradation of the quality of the superficial and subterranean water resources. This flow terrigene is essentially conveyed towards the sea by oueds Bouhamra and Seybouse or cross-posted directly in the coast via the liquid discharges of Asmidal and those of the stations of lifting.

A semimonthly follow-up, for two years (2002-2004), of the quality physico-chemical and biochemical of the waters of the main oueds (Bouhamra and Seybouse) and liquid effluents of the complex of Asmidal, and seasonal follow-up of organic and mineral micropollutants, during year 2009-2010, allowed us to accentuate the advanced state of degradation of the quality of waters and sediments.

Waters of oueds Bouhamra and Seybouse are contaminated by nutrient salts, mainly ammonium and phosphates, at the origin of the eutrophication of these hydrosystems. Besides, a water pollution and sediments by organic micropollutants (organochlorinated, organophosphate, herbicidal and fungicidal insecticides, etc.) and elements metallic tracks (Al, Have, Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, Nor, Ba, etc.) was revealing.

Liquid excrement of the complex of Asmidal is contaminated by nutriments, micropollutants organic (multi residue of pesticide) and minerals (Cd, Cu, Nor, Pb and Zn) and are responsible for the chemical pollution of the close coast. In addition, of the chemical pollution, caused by the discharges of Asmidal, littoral waters undergo a thermal pollution, which can be harmful to the aquatic bodies.

Keywords : anthropogenic inputs - hyper fertilization of waters - metallic contamination - eutrophication - Gulf of Annaba.

متمركزة شرق الساحل الجزائري، تعد مدينة عنابة من أكبر المدن الصناعية و الزراعية بالإضافة إلى خاصيتها السياحية. هذه الميزات ساعدت على النزوح الريفي و اكتضاض المدينة بالسكان ، مما أدى إلى ظهور عدة مشاكل إجتماعية و بيئية خطيرة.

إن التطور الصناعي و النمو الديمغرافي السريع للمدينة نتج عنهما فضلات صناعية، و زراعية و سكانية. كل هذه الفضلات المتباينة النوعية و الكمية ترمى في الأودية و المسطحات المائية، دون أية معالجة مسبقة، لينتهي بها المطاف إلى خليج عنابة.

من أهم الأودية التي تنقل هذه الفضلات إلى الساحل، نذكر واد سييوس و واد بوحمرء، علاوة على الفضلات الصناعية لمركب "أسمدال" التي تلقى مباشرة في المياه الساحلية.

إن التحاليل التي أجريناها على مياه و تربة هذه الأودية و مركب الأسمدة، أظهرت أن المياه و التربة جد ملوثة بالمواد السامة، كالمعادن الثقيلة و المبيدات. زيادة على التلوث الحراري الذي تعاني منه المياه الساحلية و الناتج عن مياه البحر المستعملة للتبريد و التي ترمى مباشرة من مركب أسمدال إلى شاطئ البحر.

للتلوث الحراري عواقب وخيمة على فيزيولوجيا الكائنات الحية المائية، و خاصة منها الجِد حساسة لتغيير ولو طفيف في درجة الحرارة، مثل الأسماك التي تشكل ثروة إقتصادية هامة.

الكلمات المفتاحية: النفايات العمرانية - غناء المياه بالمواد المعدنية - التلوث المعدني - خليج عنابة - تغذية جيدة للنظام البيئي المائي.

Remerciements.....	I
Résumés.....	II-IV
Sommaire.....	V-X
Liste des figures.....	XI-XIII
Liste des tableaux.....	XIV-XVI
Liste des abréviations.....	XVII
Introduction générale.....	1
Chapitre 1. Nature et étendue des problèmes environnementaux en Algérie	
1. 1. Les prédispositions du territoire et du climat.....	15
1. 2. Des ressources naturelles limitées, inégalement réparties et fortement menacées.....	16
1. 3. La littoralisation.....	17
1. 3. 1. Évolution de la population côtière.....	17
1. 3. 2. Évolution des activités sur le littoral.....	17
1. 3. 3. Érosion côtière et surexploitation.....	18
1. 3. 4. La dégradation de la qualité des eaux marines.....	19
1. 4. Les eaux douces.....	19
1. 4. 1. Des ressources en eau limitées.....	20
1. 4. 2. Gestion défaillante des ressources en eau.....	20
1. 5. Les zones urbaines.....	21
1. 5. 1. La pollution des ressources en eau par les eaux usées.....	21
1. 6. Les zones industrielles.....	23
1. 6. 1. Les eaux usées industrielles.....	23
1. 6. 2. La pollution atmosphérique d'origine industrielle.....	24
1. 6. 3. Les déchets spéciaux.....	25
1. 7. Les problèmes globaux.....	26
1. 7. 1. Les changements climatiques.....	26
1. 7. 2. Les substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO).....	26
1. 7. 3. La biodiversité.....	27
1. 7. 4. Les eaux marines internationales.....	27
Chapitre 2. Matériel et méthodes	
2. 1. Présentation et localisation des sites d'étude.....	28
2. 1. 1. Le complexe d'Asmidal (Fertial).....	28

2. 1. 2. Plage de Jouanoville.....	29
2. 1. 3. L'oued Seybouse.....	29
2. 1. 4. L'oued Bouhamra (ou Boujemaâ).....	30
2. 1. 5. L'oued Mafregh.....	31
2. 2. Justification du choix des sites étudiés.....	31
2. 3. Échantillonnage.....	33
2. 4. Conservation des échantillons.....	34
2. 5. Justification du choix des divers descripteurs recherchés.....	34
2. 6. Les diverses mesures et méthodes analytiques utilisées.....	35
2. 6. 1. Dosage des sels nutritifs.....	35
2. 6. 2. Dosage des micropolluants organiques.....	36
2. 6. 3. Dosage des éléments traces métalliques (ETM).....	37

Chapitre 3. Résultats et discussion des variations moyennes annuelles des descripteurs physico-chimiques et biochimiques des eaux des diverses stations

3. 1. Variations moyennes annuelles des descripteurs physico-chimiques et biochimiques des eaux des différentes stations.....	39
3. 1. 1. Station de l'oued Bauhamra aval.....	39
3. 1. 1. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-).....	41
3. 1. 1. 2. Les phosphates (PO_4^{3-}).....	42
3. 1. 1. 3. La température ($^{\circ}\text{C}$).....	43
3. 1. 1. 4. La demande biochimique en oxygène (DBO_5).....	43
3. 1. 1. 5. La conductivité électrique (CE).....	45
3. 1. 1. 6. La minéralisation.....	46
3. 1. 1. 7. La salinité.....	47
3. 1. 2. Station de Bouhamra amont.....	48
3. 1. 2. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-).....	49
3. 1. 2. 2. Les phosphates (PO_4^{3-}).....	50
3. 1. 2. 3. La température ($^{\circ}\text{C}$).....	50
3. 1. 2. 4. La demande biochimique en oxygène (DBO_5).....	51
3. 1. 2. 5. La conductivité électrique (CE).....	52
3. 1. 2. 6. La minéralisation.....	52
3. 1. 2. 7. La salinité.....	53

3. 1. 3. L'oued Seybouse.....	55
3. 1. 3. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-).....	57
3. 1. 3. 2. Les phosphates (PO_4^{3-}).....	59
3. 1. 3. 3. La température ($^{\circ}\text{C}$).....	59
3. 1. 3. 4. La demande biochimique en oxygène (DBO_5).....	60
3. 1. 3. 5. La conductivité électrique (CE).....	60
3. 1. 3. 6. La minéralisation.....	61
3. 1. 3. 7. La salinité.....	62
3. 1. 4. Les stations du complexe d'Asmidal.....	63
3. 1. 4. 1. La station d'Asmidal B.P.....	64
3. 1. 4. 1. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-).....	66
3. 1. 4. 1. 2. Les phosphates (PO_4^{3-}).....	67
3. 1. 4. 1. 3. La température ($^{\circ}\text{C}$).....	67
3. 1. 4. 1. 4. La conductivité électrique (CE).....	67
3. 1. 4. 1. 5. La minéralisation.....	68
3. 1. 4. 1. 6. La salinité.....	68
3. 1. 4. 2. La station d'Asmidal annexe.....	69
3. 1. 4. 2. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-).....	70
3. 1. 4. 2. 2. Les phosphates (PO_4^{3-}).....	71
3. 1. 4. 2. 3. La température ($^{\circ}\text{C}$).....	71
3. 1. 4. 2. 4. La conductivité électrique (CE).....	71
3. 1. 4. 2. 5. La minéralisation.....	72
3. 1. 4. 2. 6. La salinité.....	72
3. 1. 4. 3. La station d'Asmidal Est.....	74
3. 1. 4. 3. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-).....	74
3. 1. 4. 3. 2. Les phosphates (PO_4^{3-}).....	75
3. 1. 4. 3. 3. La température ($^{\circ}\text{C}$).....	75
3. 1. 4. 3. 4. La conductivité électrique (CE).....	76
3. 1. 4. 3. 5. La minéralisation.....	76
3. 1. 4. 3. 6. La salinité.....	77
3. 1. 5. La station de la plage de Jouanville.....	79
3. 1. 5. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-).....	79

3. 1. 5. 2. Les phosphates (PO_4^{3-}).....	81
3. 1. 5. 3. La température ($T^\circ\text{C}$).....	81
3. 1. 5. 4. La conductivité électrique (CE).....	81
3. 1. 5. 5. La minéralisation.....	82
3. 1. 5. 6. La salinité.....	82
3. 1. 6. La station de l'oued Mafregh.....	83
3. 1. 6. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-).....	85
3. 1. 6. 2. Les phosphates (PO_4^{3-}).....	86
3. 1. 6. 3. La température ($T^\circ\text{C}$).....	86
3. 1. 6. 4. La demande biochimique en oxygène (DBO_5).....	86
3. 1. 6. 5. La conductivité électrique (CE).....	87
3. 1. 6. 6. La minéralisation.....	88
Chapitre 4. Résultats et discussion des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux dans les eaux et les sédiments des diverses stations	
4. 1. Variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques rencontrés dans l'eau des diverses stations.....	90
4. 1. 1. Analyse des pesticides.....	90
4. 1. 1. 1. Les concentrations en insecticides organochlorés.....	90
4. 1. 1. 1. 1. Station de l'oued Bouhamra.....	92
4. 1. 1. 1. 2. Station de l'oued Seybouse.....	92
4. 1. 1. 1. 3. Station d'Asmidal annexe.....	92
4. 1. 1. 1. 4. Station d'Asmidal B.P.....	92
4. 1. 1. 2. Les concentrations en insecticides organophosphorés.....	93
4. 1. 1. 2. 1. Station de l'oued Bouhamra.....	95
4. 1. 1. 2. 2. Station de l'oued Seybouse.....	95
4. 1. 1. 3. Les concentrations en herbicides.....	96
4. 1. 1. 3. 1. Station de l'oued Bouhamra	98
4. 1. 1. 3. 2. Station de l'oued Seybouse.....	98
4. 1. 1. 3. 3. Station d'Asmidal annexe.....	98
4. 1. 1. 3. 4. Station d'Asmidal B.P.....	99
4. 1. 1. 4. Les concentrations en fongicides et divers.....	101
4. 1. 1. 4. 1. Station de l'oued Bouhamra	103

4. 1. 1. 4. 2. Station de l'oued Seybouse.....	103
4. 1. 1. 4. 3. Station d'Asmidal annexe.....	103
4. 1. 1. 4. 4. Station d'Asmidal B.P.....	104
4. 2. Variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques rencontrés dans Les sédiments des diverses stations.....	105
4. 2. 1. Analyse des pesticides.....	106
4. 2. 1. 1. Les concentrations en insecticides organochlorés et autres pesticides...106	
4. 2. 1. 1. 1. Station de l'oued Bouhamra.....	108
4. 2. 1. 1. 2. Station de l'oued Seybouse.....	108
4. 2. 1. 2. Les concentrations en herbicides.....	109
4. 2. 1. 2. 1. Station de l'oued Seybouse.....	111
4. 2. 1. 2. 2. Station d'Asmidal annexe.....	111
4. 2. 1. 2. 3. Station d'Asmidal B.P.....	111
4. 3. Variations moyennes saisonnières des micropolluants minéraux rencontrés dans les eaux des diverses stations.....	112
4. 3. 1. Station de l'oued Bouhamra.....	115
4. 3. 2. Station de l'oued Seybouse.....	117
4. 3. 3. Station d'Asmidal annexe.....	119
4. 3. 4. Station d'Asmidal B.P.....	121
4. 4. Variations moyennes saisonnières des micropolluants minéraux rencontrés dans les sédiments des diverses stations.....	123
4. 4. 1. Station de l'oued Bouhamra.....	126
4. 4. 2. Station de l'oued Seybouse.....	127
4. 4. 3. Station d'Asmidal annexe.....	129
4. 4. 4. Station d'Asmidal B.P.....	129

Chapitre 5. Analyse multi variable des données analytiques des eaux et des sédiments

5. 1. Analyse en composantes principales (ACP).....	132
5. 1. 1. Interprétation des graphes de l'ACP des descripteurs physico-chimiques et biochimiques de l'eau.....	132
5. 1. 2. Interprétation des graphes de l'ACP des micropolluants minéraux (ETM) dans l'eau.....	136
5. 1. 3. Interprétation des graphes de l'ACP des micropolluants minéraux (ETM) dans le	

sédiment.....139

Conclusion générale et perspectives de recherches.....142

Références bibliographiques.....153

Annexes

	Pages
Figure 1. « points chauds » de pollution le long du littoral méditerranéen	7
Figure 2. Côte algérienne avec les zones de préoccupation environnementale majeure et les « points chauds » de pollution	18
Figure 3. Localisation des sites d'étude dans le Golfe d'Annaba.....	29
Figure 4. Localisation et réseau hydrographique du bassin de l'oued Seybouse.....	30
Figure 5. Localisation des oueds Bouhamra, Seybouse et Mafregh.....	30
Figure 6. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (années 2002–2004).....	41
Figure 7. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (années 2002–2004).....	41
Figure 8. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (années 2002–2004).....	42
Figure 9. Valeurs moyennes annuelles des températures (années 2002–2004).....	43
Figure 10. Valeurs moyennes annuelles de la DBO ₅ (années 2002–2004).....	44
Figure 11. Valeurs moyennes annuelles de la CE (années 2002–2004).....	45
Figure 12. Valeurs moyennes annuelles de la minéralisation (années 2002–2004).....	46
Figure 13. Valeurs moyennes annuelles de la salinité (années 2002–2004).....	47
Figure 14. Teneurs moyennes annuelles des nutriments (année 2003–2004).....	49
Figure 15. Pourcentages moyens annuels des nutriments (année 2003–2004).....	49
Figure 16. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (année 2003–2004).....	50
Figure 17. Fluctuations moyennes annuelles des températures (année 2003–2004).....	51
Figure 18. Fluctuations moyennes annuelles de la DBO ₅ (année 2003–2004).....	51
Figure 19. Variations moyennes annuelles de la CE (année 2003–2004).....	52
Figure 20. Variations moyennes annuelles de la minéralisation (année 2003–2004).....	52
Figure 21. Variations moyennes annuelles de la salinité (année 2003–2004).....	53
Figure 22. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (années 2002–2004).....	57
Figure 23. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (années 2002–2004).....	57
Figure 24. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (années 2002–2004).....	58
Figure 25. Valeurs moyennes annuelles des températures (années 2002–2004).....	59
Figure 26. Valeurs moyennes annuelles de la DBO ₅ (années 2002–2004).....	60
Figure 27. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité (années 2002–2004).....	61
Figure 28. Valeurs moyennes annuelles de la minéralisation (années 2002–2004).....	61
Figure 29. Valeurs moyennes annuelles de la salinité (années 2002–2004).....	62

Liste des figures

Figure 30. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (années 2002–2004).....	66
Figure 31. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (années 2002–2004).....	66
Figure 32. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (années 2002–2004).....	66
Figure 33. Valeurs moyennes annuelles des températures (années 2002–2004).....	67
Figure 34. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité électrique (années 2002–2004).....	67
Figure 35. Valeurs moyennes annuelles de la minéralisation (années 2002–2004).....	68
Figure 36. Pourcentages moyens annuels de la salinité (années 2002–2004).....	68
Figure 37. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (année 2003–2004).....	70
Figure 38. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (année 2003–2004).....	70
Figure 39. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (année 2003–2004).....	70
Figure 40. Valeurs moyennes annuelles de la température (année 2003–2004).....	71
Figure. 41. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité électrique (année 2003–2004).....	72
Figure 42. Valeurs moyennes annuelles de la minéralisation (année 2003–2004).....	72
Figure 43. Valeurs moyennes annuelles de la salinité (année 2003–2004).....	73
Figure 44. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (année 2003–2004).....	74
Figure 45. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (année 2003–2004).....	74
Figure 46. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (année 2003–2004).....	75
Figure 47. Valeurs moyennes annuelles des températures (année 2003–2004).....	75
Figure 48. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité (année 2003–2004).....	76
Figure 49. Valeurs moyennes annuelles de la minéralisation (année 2003–2004).....	76
Figure 50. Les taux moyens annuels de la salinité (année 2003–2004).....	77
Figure 51. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (année 2003–2004).....	80
Figure 52. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (année 2003–2004).....	80
Figure 53. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (année 2003–2004).....	80
Figure 54. Valeurs moyennes annuelles des températures (année 2003–2004).....	81
Figure 55. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité (année 2003–2004).....	81
Figure. 56. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité (année 2003–2004).....	82
Figure 57. Valeurs moyennes annuelles de la salinité (année 2003–2004).....	82
Figure 58. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (année 2003–2004).....	85
Figure 59. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (année 2003–2004).....	85
Figure 60. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (année 2003–2004).....	86
Figure 61. Valeurs moyennes annuelles des températures (année 2003–2004).....	86

Figure 62. Valeurs moyennes annuelles de la DBO ₅ (année 2003–2004).....	87
Figure 63. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité électrique (année 2003–2004)...	87
Figure 64. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité électrique (année 2003–2004).....	88
Figure 65. Cercle de corrélation des variables avec les axes F ₁ X F ₂ de l'ACP.....	132
Figure 66. Carte factorielle des stations (axes F ₁ X F ₂ de l'ACP)	133
Figure 67. Cercle de corrélation des variables avec les axes F ₁ X F ₃ de l'ACP.....	135
Figure 68. Carte factorielle des stations (axes F ₁ X F ₃ de l'ACP).....	135
Figure 69. Cercle de corrélation des variables avec les axes F ₁ X F ₂ de l'ACP.....	136
Figure 70. Carte factorielles des stations (axes F ₁ X F ₂ de l'ACP).....	138
Figure 71. Cercle de corrélation des variables avec les axes F ₁ X F ₂ de l'ACP.....	139
Figure 72. Carte factorielles des stations (axes F ₁ X F ₂ de l'ACP).....	140

Tableau 1. Résultats moyens annuels des descripteurs physico-chimiques de l'eau de l'oued Bouhamra (côtés aval et amont).....	40
Tableau 2. Qualité de l'eau de l'oued Bouhamra aval par rapport aux descripteurs physico-chimiques.....	47
Tableau 3. Qualité de l'eau de l'oued Bouhamra amont par rapport aux descripteurs physico-chimiques.....	53
Tableau 4. Résultats moyens annuels des descripteurs physico-chimiques de l'eau de l'oued Seybouse.....	56
Tableau 5. Qualité de l'eau de l'oued Seybouse par rapport aux divers descripteurs physico-chimiques.....	62
Tableau 6. Résultats moyens annuels des descripteurs physico-chimiques de l'eau des stations du complexe d'Asmidal.....	65
Tableau 7. Qualité de l'eau d'Asmidal B.P. par rapport aux divers descripteurs physico-Chimiques.....	69
Tableau 8. Qualité de l'eau d'Asmid annexe par rapport aux divers descripteurs physico-Chimiques.....	73
Tableau 9. Qualité de l'eau d'Asmidal Est par rapport aux divers descripteurs physico-Chimiques.....	77
Tableau 10. Qualité des eaux des différentes stations dun complexe d'Asmidal.....	78
Tableau 11. Résultats moyens annuels des descripteurs physico-chimiques de la plage de Jouanoville.....	79
Tableau 12. Qualité des eaux marines de la plage de Jouanoville par rapport aux divers descripteurs physico-chimiques.....	83
Tableau 13. Résultats moyens annuels des descripteurs physico-chimiques de l'eau de l'oued Mafregh.....	84
Tableau 14. Les insecticides organochlorés trouvés dans l'eau des diverses stations au cours des quatre campagnes.....	91
Tableau 15. Comparaison des teneurs en insecticides organochlorés des diverses stations avec les normes.....	93
Tableau 16. Qualité des eaux des diverses stations par rapport aux insecticides organochlorés.....	93

Tableau 17. Les insecticides organophosphorés trouvés dans l'eau des diverses stations au cours des quatre campagnes.....	94
Tableau 18. Comparaison des teneurs en insecticides organophosphorés, rencontrés dans les oueds Bouhamra et la Seybouse aux NQEp.....	95
Tableau 19. Qualité des eaux des oueds Bouhamra et la Seybouse par rapport aux insecticides Organophosphorés.....	95
Tableau 20. Les herbicides trouvés dans l'eau des diverses stations au cours des quatre Campagnes.....	97
Tableau 21. Comparaison des teneurs en herbicides, rencontrés dans les différentes stations aux normes du SEQ–Eau et aux NQEp.....	100
Tableau 22. Qualité des eaux des diverses stations par rapport aux herbicides.....	101
Tableau 23. Les Fongicides et autres pesticides trouvés dans l'eau des diverses stations au cours des quatre campagnes.....	102
Tableau 24. Qualité des eaux des diverses stations par rapport aux fongicides.....	104
Tableau 25. Qualité des eaux des diverses stations par rapport aux différents paramètres, au cours des quatre campagnes.....	104
Tableau 26. Les insecticides organochlorés et autres pesticides trouvés dans le sédiment des diverses stations au cours des quatre campagnes.....	107
Tableau 27. Qualité des sédiments des diverses stations par rapport aux insecticides Organochlorés.....	109
Tableau 28. Les herbicides trouvés dans les sédiments des diverses stations au cours des quatre Campagnes.....	110
Tableau 29. Qualité des sédiments des différentes stations au cours des quatre campagnes...	111
Tableau 30. Les éléments traces métalliques trouvés dans l'eau des diverses stations au cours des quatre campagnes.....	114
Tableau 31. Comparaison des teneurs en E.T.M. toxiques, trouvés dans l'oued Bouhamra, avec les normes du SEQ–Eau et les NQEp.....	116
Tableau 32. Qualité des eaux de l'oued Bouhamra par rapport aux E.T.M.....	117
Tableau 33. Comparaison des teneurs en E.T.M. toxiques, trouvés dans l'oued Seybouse, avec les normes du SEQ–Eau et les NQEp.....	118
Tableau 34. Qualité des eaux de l'oued Seybouse par rapport aux E.T.M.....	119

Tableau 35. Comparaison des teneurs en E.T.M. toxiques, trouvés dans Asmidal annexe, avec les NQEp.....	120
Tableau 36. Qualité des eaux de la stations d'Asmidal annexe par rapport aux E.T.M.....	121
Tableau 37. Comparaison des teneurs en E.T.M. toxiques, trouvés dans Asmidal B.P., avec les NQEp.....	122
Tableau 38. Qualité des eaux de la stations d'Asmidal B.P. par rapport aux E.T.M.....	122
Tableau 39. Qualité des eaux des diverses stations par rapport aux E.T.M.....	123
Tableau 40. Les éléments traces métalliques trouvés dans les sédiments des diverses stations au cours des quatre campagnes.....	125
Tableau 41. Qualité du sédiment de l'oued Bouhamra par rapport aux E.T.M.....	127
Tableau 42. Qualité du sédiment de l'oued Seybouse par rapport aux E.T.M.....	128
Tableau 43. Comparaison des teneurs en E.T.M. toxiques, trouvés dans l'oued Bouhamra et l'oued Seybouse, avec les limites fixées par le SEQ-Eau.....	129
Tableau 44. Qualité des sédiments des diverses stations par rapport aux E.T.M.....	130
Tableau 45. Taux d'inertie et valeurs propres des axes de l'ACP.....	132
Tableau 46. Taux d'inertie et valeurs propres des trois premiers axes de l'ACP.....	137
Tableau 47. Taux d'inertie et valeurs propres des trois premiers axes de l'ACP.....	140

Liste des abréviations

ABHCSM : Agence du Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue, 2005

CEE : Commission Économique Européenne

CE : Communauté Européenne

DCE : Directive Cadre de l'Eau

cf : confère

DDT : Dichlorodiphényltrichloroéthane

E. coli : *Escherichia coli*

E. T. M. : éléments traces métalliques

hab. : habitant

HCB : hexachlorobenzène

IDHESA : Institut Départemental d'Analyses, de Conseil et d'Expertise en Hygiène alimentaire, Eau et Environnement et Santé Animale

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

J. O. : Journal Officiel

MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

MEDPOL : Pollution de la Méditerranée

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONA : Office National d'Assainissement, 2000

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

POPs : Polluants Organiques Persistants

CH₄ : méthane

H₂S : hydrogène sulfuré

NH₃ : ammoniac

pp'DDD : p, p' dichlorodiphényldichloroéthane

pp'DDE : p, p' dichlorodiphényldichloroéthylène

2,4-D : acide 2,4-dichlorophénoxyacétique

2,4-MCPA : acide 2-méthyl-4 chlorophénoxyacétique

Élément constitutif de notre environnement, l'eau est une ressource vitale pour tous les êtres vivants. Mais aussi devenue, avec la pression urbaine et industrielle, le récepteur et le vecteur de nombreux polluants. L'eau est une richesse et donc un enjeu économique (Defranceschi, 1996). Des ressources en eau de bonne qualité et en quantité suffisante sont le garant d'un développement économique durable (le Seigneur et *al.*, 2002).

L'eau constitue le grand défi de notre siècle. Sans une eau saine, l'homme n'a le choix que de mourir de faim, de soif ou de maladie, ou de fuir. L'accès à une eau saine donne la possibilité à tout être humain de vivre dignement (Marquet, 2009).

Même si la planète est recouverte aux trois quart d'eau, elle manque toutefois des ressources en eau potable qui se raréfient de plus en plus, alors que les besoins s'accroissent. Il s'agit donc véritablement de la survie humaine (Marquet, 2009).

À l'heure actuelle 3 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'eau potable alors que l'eau est un élément indispensable à la vie (Marquet, 2009).

Le sommet de Johannesburg, qui s'est tenu du 28 août au 2 septembre 2002, pour faire le point dix ans après Rio, a cité des chiffres frappants, ceux qui montrent la misère des « damnés de la terre » : 1,4 milliard d'individus, dont la plupart vivent en Asie et en Afrique, n'ont pas accès à une eau potable de qualité et la moitié de la population du globe ne dispose pas d'infrastructures d'assainissement : un pays sur cinq souffrira du manque d'eau d'ici 2030 ; 300 millions de personnes, en Afrique, ne sont pas reliés à un système d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées, ce qui explique pourquoi, sur ce continent, près d'un habitant sur deux souffre de maladies liées à la pénurie ou au manque d'eau assainie ; près de 6000 enfants meurent chaque jour, dans le monde, de maladies parce qu'ils n'ont pas accès ni à l'eau potable, ni à un assainissement adéquat, ni à une bonne hygiène (Rebah, 2005).

Le changement climatique, la surexploitation des ressources hydriques, la déforestation, l'urbanisation galopante sont des éléments entraînant non seulement une diminution des ressources en eau mais également une pollution des rivières et des nappes phréatiques. Le manque d'eau créera des tensions et des conflits et selon certains experts les guerres du futur n'auront plus comme déclencheur l'accès au pétrole mais l'accès à l'eau et qu'il faudrait prendre des mesures obligeant les états à gérer en commun les rivières ou les aquifères transfrontalières. Des solutions durables devraient être obtenues par le biais des mesures d'instauration de confiance et d'une véritable coopération entre les pays riverains (Marquet, 2009 ; Rebah, 2005).

Le stress hydrique est devenu une réalité, aussi bien au nord qu'au sud de l'Europe et souligne que ce problème deviendra de plus en plus crucial dans les régions du Bassin méditerranéen, à la suite de la concentration de la population dans les villes côtières et de la surexploitation de la ressource en eau résultant du développement de secteurs d'activité tels que l'agriculture, le tourisme, les industries et l'augmentation de la consommation des ménages (Marquet, 2009).

Le déversement incontrôlé des eaux usées municipales, industrielles ou les eaux de pluie polluées affecte la santé de nombreuses personnes et engendre de lourdes pertes économiques, que ce soit au niveau des revenus ou des coûts de santé (Marquet, 2009).

Les rejets de substances polluantes modifient la qualité des eaux selon le type de rejet (ponctuel ou diffus), son intensité (concentration), sa répartition dans le temps (rejet saisonnier, étalé dans l'année), enfin selon la taille et le temps de renouvellement de la masse d'eau. Les eaux continentales et les ressources en eau sont l'objet de multiples utilisations et aménagements d'où la menace (le Seigneur et *al.*, 2002).

De nos jours, la dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines montre que, même dans les cas où les besoins quantitatifs sont satisfaits, de sérieux problèmes subsistent au plan qualitatif, en raison des rejets d'origine urbaine et industrielle, collectés ou non, traités ou non, (effluents domestiques chargés en matières organiques fermentescibles, effluents industriels contaminés par les métaux lourds et des composés de synthèse minéraux ou organiques parfois extrêmement toxiques) (Ramade, 1991).

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute un des aspects les plus inquiétants de la crise globale de l'environnement. La crise de l'eau sévit déjà depuis longtemps et avec une gravité sans cesse accrue, affectant aussi bien les pays industrialisés que ceux du tiers monde. Cette pollution est le fait d'émissaires urbains et industriels, mais aussi de sources de contaminations diffuses dispersées sur de vastes territoires (Ramade, 1998).

Au cours des dernières décennies, un ensemble d'événements défavorables, parfois même catastrophiques, ont contribué à faire prendre conscience aux responsables politiques et aux citoyens des pays les plus développés que la civilisation industrielle ne saurait s'affranchir des contraintes écologiques. La dégradation de la biosphère (destruction des forêts, érosion des sols, la désertification, l'épuisement des pêcheries maritimes, la raréfaction des matières minérales, la crise de l'énergie, la pollution de l'environnement...) démontre que la civilisation humaine exerce une action négative de plus en plus intense sur la planète.

La pollution industrielle et urbaine représente une cause majeure de dégradation des écosystèmes côtiers. Cette dernière est au premier rang des problèmes d'environnement que connaît la communauté internationale contemporaine (Lacaze, 1993).

La zone littorale est plus particulièrement soumise aux diverses causes de dégradation anthropiques car, de longue date, industrie et habitats se concentrent en front de mer. Les hommes s'entassent sur le littoral puisqu'on estime que 50 % de la population mondiale vit à proximité de la mer et cette proportion est en augmentation rapide (Lacaze, 1993).

Les activités humaines sur le littoral se traduisent par une destruction sans précédent. Aux activités traditionnelles de la pêche et du commerce se sont ajoutés d'abord l'agriculture et l'industrie puis le tourisme et l'aquaculture. Les transformations du plateau continental se réalisent à une telle vitesse et sont d'une telle ampleur qu'elles excèdent de plusieurs ordres de grandeurs tout effet que pourrait causer des processus naturels et le phénomène d'eutrophisation ou dystrophisation ou hyperfertilisation des zones côtières, à court terme, en est le meilleur exemple (Lacaze, 1993).

Plus que partout ailleurs, le milieu littoral est en effet exposé à la fois aux dégradations dues à l'urbanisation et à l'industrialisation, les implantations de l'habitat et des industries ayant été favorisées avec persévérance sur les façades maritimes au cours des dernières décennies. En conséquence, l'effet conjugué de l'extension des cités côtières et de l'accroissement du "bétonnage" des côtes lié à la pression touristique, a conduit à une dégradation croissante voire à une destruction d'écosystèmes littoraux d'un intérêt écologique exceptionnel (Lacaze, 1993).

Par ailleurs, dans diverses régions, les activités agricoles dans les zones côtières ont aussi été la cause de nombreuses dégradations des écosystèmes littoraux, entièrement irréversibles au plan écologique, en particulier par suite de l'assèchement des zones humides côtières (Lacaze, 1993).

En outre, la pollution des lagunes, marécages et des eaux marines littorales par les produits chimiques utilisés en agriculture est la cause de nombreuses dégradations écotoxicologiques des écosystèmes concernés (Lacaze, 1993).

Les grandes cités littorales, pourvues de stations d'épuration plus ou moins efficaces, les diverses industries, libèrent dans la mer des eaux usées plus ou moins chargées en matières organiques fermentescibles et d'éléments nutritifs source de dystrophisation (eutrophisation induite). La pollution atmosphérique due aux industries et aux cités est aussi une cause indirecte de la pollution des eaux marines littorales (Lacaze, 1993).

Les oueds qui véhiculent les rejets domestiques, industrielles et agricoles contribuent de manière remarquable à l'enrichissement des eaux littorales par les nutriments, les matières organiques et d'innombrables micropolluants organiques (pesticides et produits organiques persistants) et minéraux (éléments traces métalliques) issus des diverses activités anthropiques.

Les conséquences écologiques et socio-économiques sont extrêmement graves : altération de la qualité des eaux qui deviennent impropres aux différents usages (potabilisation, aquaculture, baignade, etc.), amenuisement de la diversité biologique végétale et animale, épuisement des ressources halieutiques, recul des plages et avancée d'eau marine, eutrophisation (dystrophisation) des eaux, à court terme, qui favorise dans les pays chauds, le développement de maladies parasitaires telles que le paludisme, la bilharziose ou l'onchocercose (Schorscher, 1994).

Cet enrichissement excessif des eaux en nutriments est un phénomène de portée mondiale, qui s'est développé parallèlement à l'extension et l'usage de fertilisants artificiels et de l'élevage intensif en agriculture, ainsi qu'à l'augmentation des eaux usées riches en phosphore et en ammonium. Les eaux douces continentales ont naturellement été les premières touchées, particulièrement les étangs et les lacs à renouvellement très lent. Apparemment moins sensibles à l'eutrophisation du fait de l'écoulement de l'eau, rivières et fleuves ont, à leur tour, vu se développer des proliférations végétales nuisibles principalement en été. Cependant, l'enrichissement est devenu suffisamment intense pour gagner certaines zones marines côtières, parfois vastes (Schorscher, 1994 ; Lacaze, 1993 ; Menesguen, 1990).

Le phénomène d'eutrophisation des eaux continentales ou littorales est définie, au sens habituel comme l'enrichissement des eaux en nutriments presque essentiellement le phosphore et l'azote qui favorisent la croissance des végétaux pour finalement induire des proliférations algales (eaux colorées), des algues flottantes à la surface des eaux et des macrophytes ou des algues sur les rivages ou sur les fonds. Ce phénomène se caractérise donc par une augmentation spectaculaire de la production primaire de l'écosystème limnique considéré. Au cours du temps, le processus d'eutrophisation va faire passer un lac d'un état oligotrophe, de faible productivité primaire, à un état mésotrophe où la productivité augmente par suite de l'enrichissement des eaux en éléments minéraux nutritifs, enfin à un état ultime eutrophe, caractérisé par une forte productivité primaire et une désoxygénation des eaux profondes. Les épisodes de crises d'eutrophies sont marqués par la formation de dépôts de sulfure ferreux noirâtre dans les

sédiments. À long terme, l'eutrophisation est la cause de comblement des biotopes lacustres, résultat ultime de leur inéluctable vieillissement (Ramade, 2008 ; Lacaze, 1996).

Les proliférations végétales si elles ne sont pas dispersées par les courants ou consommées par les herbivores, s'accumuleront puis se décomposeront sous l'action bactérienne avec consommation d'oxygène néfaste pour la faune ; la poursuite de la dégradation bactérienne en anaérobiose productrice de molécules indésirables (CO_2 , SH_2 , NH_3 , CH_4), voire, toxiques sera dramatique pour l'environnement aquatique (Lacaze, 1996).

L'eutrophisation est donc très fréquemment le premier stade d'une évolution vers une destruction de la flore et de la faune, c'est-à-dire vers un état pathologique des milieux aquatiques. Ce stade qualifié de *dystrophie*, survient souvent brutalement après l'eutrophisation et se caractérise, comme nous l'avons noté précédemment, par des modifications chimiques et une transformation régressive des peuplements (Lacaze, 1996).

Si l'eutrophisation naturelle est un processus très lent pouvant s'étaler sur plusieurs centaines de milliers d'années et généralement peu perceptible à l'échelle d'une génération, l'eutrophisation accélérée voire induite par une pollution des eaux, associée aux activités humaines (rejets d'effluents urbains ou agricoles chargés de nutriments) s'est développée rapidement ces dernières décennies et atteint aujourd'hui toute la planète (Khaled-Khodja, 2014 ; Ramade, 2008 ; Khaled-Khodja, 1998 ; Lacaze, 1996 ; Schorscher, 1994).

Les limnologues anglophones différencient souvent la dystrophisation (encore dénommée hyper eutrophisation), consécutive à cette pollution, de l'eutrophisation prise au sens strict, elle d'origine naturelle (Ramade, 2008).

L'enrichissement excessif des eaux est un problème qui se pose depuis longtemps dans les eaux douces ; cette eutrophisation représente une menace croissante pour les lacs, les plans d'eau en général. Elle induit une dégradation importante de la qualité des eaux ce qui peut se traduire par des pertes économiques et des risques pour la santé humaine. Par contre, en mer, jusqu'à ces dernières années l'eutrophisation n'était pas considérée comme un problème particulièrement grave excepté dans quelques zones confinées présentant des échanges restreints avec les eaux du large. Aujourd'hui ce n'est évidemment plus le cas et des proliférations algales sont courantes dans les régions côtières notamment de « marées vertes » sur le littoral correspondant à des proliférations de macroalgues vertes benthiques (*Enteromorpha* et *Ulva*) et des « eaux colorées » qui sont des proliférations de plancton végétal très denses (les pullulations ont une coloration rouge, blanche, jaune ou brune, variable selon l'espèce dominante). Dans

certaines cas ces concentrations phytoplanctoniques peuvent être toxiques pour les animaux marins et pour l'homme (Lacaze, 1996).

Outre les nutriments, d'autres facteurs telles les conditions climatiques (lumière, température) et hydrologique (volume et degré de confinement des plans d'eau, etc.) contrôlent le processus d'eutrophisation.

Enfin, le changement climatique vient parachever cette cohorte des agressions et des préjudices incessants que subit la frange littorale à l'échelle mondiale (Lacaze, 1993).

Au regard de la surexploitation et de la pression anthropique exercée sur le littoral et ses ressources, plusieurs catastrophes écologiques et socio-économiques sont apparus. L'homme est aujourd'hui conscient qu'il ne peut pas s'affranchir des problèmes environnementaux qu'il crée suite à ses activités irrationnelles et irréfléchies. Toute action sur le milieu naturel aura automatiquement une réaction et il devra assumer les conséquences. Il est aujourd'hui conscient que tout écosystème marin ou continental a ses limites et un équilibre fragile et éphémère qu'il doit préserver pour son salut et celui des générations futures.

Actuellement, l'érosion du littoral revêt un intérêt particulier à l'échelle internationale. Beaucoup de recherches et d'ouvrages se focalisent sur une analyse critique et exhaustive des divers facteurs de dégradation écologique en vue de déterminer avec précision les conséquences qui en découlent pour les espèces les plus vulnérables ainsi que pour les diverses communautés littorales côtières et marines et les retombées sur l'ensemble de l'écosystème marin. Diverses mesures qui devraient être mises en œuvre sont proposées pour mettre un terme à cette dégradation effrénée de la zone côtière.

L'intensité des activités humaines dans des régions entourant des mers fermés et semi fermés, telles que la mer Méditerranée, a toujours à long terme une forte incidence environnementale se traduisant par la dégradation côtière et maritime, ainsi que par un risque aggravé de dommages plus sérieux (Agence Européenne pour l'Environnement (AEE), 1999).

La Méditerranée est une mer particulière qui présente des caractéristiques très marquées. C'est une mer quasi-fermée qui représente en surface moins de 1 % de l'océan. Elle est bordée par 21 pays riverains (400 millions d'habitants). Ses eaux pauvres en nutriments abritent une grande diversité biologique avec environ 30 % d'espèces endémiques (Cadiou, 2008). La faune et la flore marines méditerranéennes comptent parmi les plus riches au monde notamment dans la zone côtière. Elles présentent une forte diversité, 8-9 % de la richesse des espèces marines dans le monde, et un degré d'endémisme élevé (AEE, 2006 ; AEE, 1999). Bassin de

concentration alimenté par des eaux de surface atlantiques, cette mer à faibles marées a une dynamique complexe gouvernée par des forçages météorologiques où les événements paroxysmiques (crues, tempêtes, plongées d'eau froides et denses, etc.) jouent un grand rôle. Avec des cycles plus courts (renouvellement des masses d'eau en quelques décennies contre quelques siècles pour l'océan mondial), la Méditerranée constitue un véritable laboratoire pour l'observation des grandes tendances affectant le milieu marin sous l'effet des forçages anthropiques et climatiques. La Méditerranée fait l'objet d'une très forte pression liée à l'activité humaine résultant de la croissance des populations riveraines, du trafic maritime, du tourisme et du développement de l'industrialisation. Selon certains scénarios du Plan Bleu (PNUE), 50 % du littoral pourrait être artificialisé en 2025. Le Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM)/MEDPOL a recensé plus de 131 « points chauds » (cf. Figure 1) associés à de grandes agglomérations, des sites industriels ou des embouchures de fleuve (Cadiou, 2008).



Figure 1. « points chauds » de pollution le long du littoral méditerranéen

(source : HCMR d'après PNUE/OMS, 2003)

La pollution de l'environnement a atteint des niveaux préoccupants dans la plupart des biotopes méditerranéens. La contamination des eaux continentales et littorales des pays du bassin est quasi générale, tandis que la pollution atmosphérique pose des problèmes graves dans certaines zones plus localisées (Ramade, 1991).

L'eutrophisation en Méditerranée semble se limiter essentiellement aux zones offshores côtières. Plusieurs cas parfois graves d'eutrophisation sont mis en évidence, notamment dans les baies côtières fermées qui reçoivent d'importantes charges de nutriments des rivières, ainsi que des rejets directs de déchets domestiques et industriels non traités. Les proliférations d'algues, la

réduction de la diversité des espèces marines et l'appauvrissement en oxygène, ainsi que les risques potentiels pour la santé humaine liés à l'ingestion de fruits de mer contaminés par des agents pathogènes ou des algues toxiques ne représentent que quelques uns des problèmes liés à l'eutrophisation. Les « points névralgiques » les plus importants d'eutrophisation en Méditerranée coïncident souvent avec les points névralgiques de bactéries coliformes. Les agents pathogènes et autres micro-organismes pénètrent le plus souvent dans l'environnement marin par les rejets d'eaux résiduaires municipales. Comme c'est le cas dans d'autres régions, la pollution microbiologique de la mer Méditerranée provient principalement du déversement des eaux usées non traitées ou partiellement traitées dans la zone littorale proche. La pollution microbienne et ses effets ont été atténués le long de la côte communautaire de la Méditerranée depuis l'installation d'usines de traitement des eaux usées urbaines dans la plupart des zones urbaines européennes. Cependant, ailleurs, le problème reste aussi grave qu'auparavant. Les rivières constituent également une source importante de pollution microbiologique, la plupart du temps, à cause du rejet des eaux usées en amont (AEE, 1999). On estime à 50 % la quantité d'eaux usées urbaines rejetées sans traitement préalable. La situation est particulièrement critique à l'Est et au Sud du bassin méditerranéen. Ce constat a conduit à la mise en place en 2005 de l'initiative Euro-méditerranéenne « Horizon 2020 » assortie d'engagements financiers substantiels pour dépolluer la Méditerranée (Cadiou, 2008).

L'intensification des pratiques culturales se traduit aussi par une utilisation massive des pesticides et des fertilisants qui contaminent les eaux douces et littorales de façon croissante (Ramade, 1991).

Cette pollution des eaux par les produits chimiques utilisés en agriculture est particulièrement intense dans les plaines côtières méditerranéennes où se concentrent les activités horticoles, arboricoles et viticoles. Elle conduit à une contamination souvent grave des écosystèmes dulçaquicoles et lagunaires présents dans ces zones. De nombreux exemples de mortalités importantes survenues dans les peuplements aquatiques et les oiseaux d'eau et rapportées à la pollution de ces habitats par les pesticides ont été cités au cours des quinze dernières années. Les pesticides sont devenus, par exemple, un problème majeur pour la conservation des habitats et des espèces d'oiseaux migrateurs dans la vallée de la Bekaa (Liban) et dans l'isthme de Suez (Egypte).

L'alourdissement de la charge des eaux continentales en matières fertilisantes d'origine agricole est responsable, entre autres, de la dystrophisation des eaux marines littorales, qui peut donner

lieu à des phénomènes de « marée jaune », comme ceux qui ont été observés en Adriatique ces dernières années et qui ont sérieusement affecté la fréquentation touristique.

La pollution de la mer, en particulier des eaux du domaine néritique, et celle des zones estuariennes sont tout autant préoccupantes. Les apports telluriques aux eaux marines néritiques, qu'ils soient d'origine urbaine, industrielle (métaux lourds, hydrocarbures) ou agricoles, ont provoqué non seulement une baisse de productivité et /ou une contamination des animaux marins d'intérêt économique par les micropolluants, mais en outre la dégradation de riches communautés inféodées aux étages médiolittoraux et infralittoraux sur de vastes étendues (Golfe de Gabès, baie d'Izmir, côtes d'Alexandrie...).

Une autre cause d'altération, de déséquilibre, puis de destruction des peuplements, et mêmes de biocénoses marines littorales entières, tient à l'accroissement de la pollution thermique des eaux côtières par les centrales électriques localisées en bord de mer. Mal coordonné, un réseau de centrales peut créer des zones d'élévation thermique excessive avec un effet néfaste sur les peuplements algaux et la faune néritiques. Le fait que la Méditerranée soit une mer relativement chaude, loin d'être un facteur favorisant, est au contraire un indice présomptif de sensibilité de ses communautés vivantes à la pollution thermique.

Il faut enfin rappeler que les estuaires et les zones littorales les plus exposées aux pollutions représentent aussi des sites de frayères et de nurseries pour de nombreuses espèces d'invertébrés et de poissons. L'impact écotoxicologique de la contamination des eaux du littoral concerne des populations de poissons vivant sur des surfaces marines bien supérieures à celles directement exposées (Ramade, 1991).

Enfin, les conditions climatiques favorables, qui attirent sur la côte méditerranéenne un tiers du tourisme mondial, invitent à de relativement longues et fréquentes baignades et induisent un surpeuplement des plages : ainsi cette zone est-elle potentiellement plus favorable aux transmissions et aux contractions de maladies. Les principaux risques pour la santé humaine sont les suivants : absorption de micro-organismes pathogènes présents dans l'eau de mer contaminée, contact direct avec l'eau de mer et sable de plage pollués, et consommation de fruits de mer contaminés par des agents pathogènes : de même, de façon plus limitée, avec des métaux lourds et des produits chimiques, particulièrement dans les organismes bioaccumulateurs tels que les organismes filtreurs et les poissons carnivores (AEE, 1999). La bioaccumulation des contaminants par les organismes marins et la bioamplification dans les chaînes trophiques conduit chez les prédateurs supérieurs à des facteurs de concentration par

rapport au milieu ambiant pouvant atteindre 10^6 pour certaines substances. Selon les contaminants, les organes d'accumulation préférentiels peuvent différer. Le mercure, sous forme méthylée, est stocké principalement dans le muscle, les PCB (polychlorobiphényles) et les composés hydrophobes se retrouvent majoritairement dans les organes à forte teneur en lipides (foie, gonades). Les concentrations augmentent généralement avec la taille des individus (Cadiou, 2008).

La mer regorge de molécules et d'organismes qui participent à la vie et à son équilibre. Toute substance ne participant pas à cet équilibre est un contaminant de la mer. De manière générale, un contaminant de l'environnement a été défini par la convention internationale Oslo-Paris (OSPAR) comme « toute substance décelée dans un lieu où elle ne se trouve pas normalement »¹

Les contaminants peuvent être de natures diverses : biologique (virus, bactéries, etc.), radioactive (présence d'une source radioactive), chimique...un rapide coup d'œil sur la classification périodique de Mendeleïev permet de rendre compte de la diversité des éléments chimiques existants : halogènes (chlore, iode...), métaux (potassium, magnésium, chrome, fer, mercure, aluminium, plomb...), métalloïdes (bore, silicium, arsenic, ...) lanthanides (cérium, néodyme...), ou encore actinides (uranium, plutonium...).

Une grande partie de ces éléments, comme l'aluminium, le magnésium ou le fer, participe au cycle naturel de la vie : ce sont des oligo-éléments. Ils sont donc essentiels au fonctionnement des écosystèmes...mais à des concentrations bien précises. Ainsi, par exemple pour l'oxygène dissous, dès que la concentration est trop faible ou nulle, les conséquences environnementales sur les écosystèmes marins peuvent être catastrophiques, conduisant parfois à des zones mortes, comme c'est le cas dans le golfe du Mexique, à l'embouchure du Mississippi ; si la concentration est trop élevée (comme pour l'aluminium, le cadmium, le zinc...), ces éléments peuvent être considérés comme des contaminants !

On comprend que dès lors qu'une substance chimique, même naturelle, est artificiellement introduite dans la mer, elle peut la contaminer sérieusement et y causer de profonds dommages. Les catastrophes écologiques telles que les marées noires sont malheureusement là pour en témoigner (Romana et Marchand, 2009).

¹ La convention internationale OSPAR définit les modalités de la coopération internationale pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du nord-est. Entrée en vigueur le 25 mars 1998, elle remplace la convention d'Oslo et de Paris.

Des problèmes environnementaux et de toxicité sont également survenus avec l'*atrazine*. Depuis sa première introduction en 1960 au Canada, cet herbicide a été utilisé de façon intensive à travers le monde pour maîtriser les mauvaises herbes dans les champs de maïs, de colza et de bleuet nain. Toxique pour les poissons, les invertébrés d'eau douce et les plantes aquatiques, il a contaminé les eaux de ruissellement, les nappes d'eau souterraines, les rivières et les fleuves. Il est interdit depuis quatre ans dans l'Union européenne.

Les PCB sont des composés organiques de synthèse qui ont été utilisés jusqu'en 1987, notamment dans l'industrie de l'électricité. Ils sont dits *persistants* et *bioaccumulables*, c'est à dire qu'ils peuvent s'accumuler dans les tissus adipeux de tout organisme animal, du fait de leur grande solubilité dans les graisses. De ce fait, s'ils sont toxiques, ils peuvent agir directement sur les organismes vivants (Romana et Marchand, 2009).

En examinant la littérature relative aux contaminants chimiques (terrestres ou maritimes), par exemple en Méditerranée, un point important nous frappe : deux tiers des publications scientifiques concernent les PCB, le dichlorodiphényltrichloro-éthane (DDT) – deux substances aujourd'hui interdites et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Toutes les autres substances sont encore peu ou non décrites. Il reste donc un effort considérable à fournir pour développer la connaissance des multiples autres substances réellement utilisées dans le monde, aujourd'hui ou dans le passé, pour connaître leurs effets sur l'environnement et leur devenir (Romana et Marchand, 2009).

La région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord est de loin la plus pauvre en eau dans le monde, avec 1 % des ressources en eau douce au niveau mondial pour 5 % de la population mondiale. La gestion des ressources en eau y est d'autant plus difficile que 60 % des cours d'eau de la région traversent plusieurs pays (Marquet, 2009).

La situation du secteur de l'eau est particulièrement préoccupante au Maghreb. Le Maroc, l'Algérie et la Tunisie connaissent aujourd'hui un stress hydrique, conséquence d'une forte croissance de la population au cours des trente dernières années, d'une amélioration des niveaux de vie de leurs habitants, et de politiques économiques qui ont marginalisé la question de l'eau (Marquet, 2009).

Les hydrologues s'accordent pour dire que les pays dont la disponibilité en eau douce renouvelable est inférieure à 1 700 m³ par habitant et par an connaîtront des épisodes de déficit de la ressource, voire un déficit chronique si cette disponibilité est inférieure à 1000 m³ par habitant et par an. L'Algérie et la Tunisie sont gravement menacées, avec des disponibilités en

eau respectives de 800 et 480 m³ par habitant et par an. Toutefois, bien qu'il dispose de 1 800 m³ d'eau douce renouvelable par habitant et par an, le Maroc risque fort d'être également affecté (Marquet, 2009).

Les grands volumes utilisés pour l'irrigation font de l'agriculture le principal consommateur d'eau (80 %), loin devant l'usage domestique (14 %) et l'industrie (6 %). Ces chiffres traduisent une insuffisance de l'approvisionnement des ménages en eau potable et un certain retard dans le développement de l'industrie par rapport aux pays très développés. Mais surtout, mettent en évidence la priorité qui doit être accordée à la rationalisation de l'usage de l'eau à des fins d'irrigation, qui représente à lui seul une consommation de 38 % de la totalité des ressources renouvelable en eau de la région (Marquet, 2009).

En sus de la consommation importante d'eau, l'agriculture constitue la première cause de pollution en Europe et dans la région du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord. Les rejets de fertilisants agricoles contenant notamment des matières organiques, de l'azote et du phosphore sont responsables de l'eutrophisation qui touche de nombreuses masses d'eau.

Dans ce contexte, la Banque mondiale a publié un rapport alarmant sur la situation de l'eau au Maghreb et au Moyen-Orient et appelle les gouvernements de cette région à entreprendre le plus rapidement possible des réformes politiques qui permettraient d'éviter de graves pénuries à l'avenir. En Algérie par exemple, autre grand pays du Maghreb qui est confronté à ce problème, le gouvernement a commencé à utiliser des ressources alternatives et a entrepris un vaste programme de dessalement d'eau de mer. Cette technique est déjà à l'œuvre en Algérie (17 millions de m³ en 2002) mais elle est très coûteuse de par sa forte consommation d'énergie et ne peut donc pas se substituer à la ressource en eau douce (Marquet, 2009).

Sachent que le milieu marin côtier est en contact permanent avec de nombreuses activités (transports, effluents urbains, industriels, agriculture, etc.) ; il est de ce fait particulièrement exposé aux contaminations chimiques. Trois caractéristiques particulières en font un milieu très vulnérable :

- il s'agit du milieu récepteur ultime de la pollution terrestre. Tout ce qui est produit finit tôt ou tard dans l'océan ;
- la zone côtière est très riche en matériels organiques et composés particuliers fins. Par conséquent, elle constitue un enjeu de recherche scientifique majeure : on peut se demander ce que deviennent ces composés au cours de leur passage dans cette interface mer/terre.

- La zone côtière est sujette à de nombreuses activités (pêche, conchyliculture, saliculture, baignade...), qui sont plus ou moins exposés aux contaminations diverses.

De ces spécificités émerge donc la nécessité de surveiller et de comprendre ce qui se passe en milieu côtier, afin de parer à toute pollution due aux contaminants. Plusieurs expériences dramatiques vécues dans le passé, qu'elles soient ponctuelles ou chroniques, nous poussent aujourd'hui à réagir (Romana et Marchand, 2009).

Il est donc, fondamental de comprendre les problèmes de la contamination par les substances chimiques pour mieux saisir leurs effets biologiques sur un milieu extrêmement changeant, et à l'interface avec le continent : le milieu côtier (Romana et Marchand, 2009).

La conservation et la gestion rationnelle et durable des zones côtières et de ses ressources renouvelables supposent donc, en premier lieu une meilleure connaissance des principales composantes hydro biologiques et hydro chimiques de l'environnement côtier. Les études physico-chimiques des divers flux anthropiques devront constituer un élément capital et décisif dans l'aide à la décision pour une gestion intégrée du littoral d'Annaba.

Notre recherche s'insère dans une problématique plus vaste qui a trait au transfert de matières (minérales et organiques) du continent au golfe d'Annaba et les retombées sur le système pélagique (plancton, chimisme, réseau trophique, biologie et statistique des pêches).

La présente étude s'articule, principalement, autour de l'évaluation des apports au littoral en sels nutritifs et en matières organiques par les sources urbaines, fluviales et industrielles. Ce projet de recherche se justifie à bien des égards. Primo l'ignorance au niveau local de l'état hydrologique des rivières (oueds) et des rejets hydriques urbains et industriels et leurs effets sur la zone côtière. Secundo, la croissance démographique a eu pour effet le changement des pratiques culturelles, des activités industrielles et la construction de barrages. Cet état de lieu a eu pour conséquence la modification des caractéristiques écologiques et physico-chimiques des oueds. Tertio, la loi du 02. 2 du 5 février 2002 (Journal Officiel N° 10) relative à la protection et la valorisation du littoral, précise dans l'article 27, la nécessité d'effectuer des contrôles réguliers des rejets domestiques, industriels et agricoles pouvant porter préjudices et souiller l'écosystème côtier. Par ailleurs, le suivi de la qualité de ces eaux par les Agences de l'Eau reste bien insuffisant eu égard au réseau hydrographique dense et aux multiples activités anthropiques, toujours en expansion, sur les bassins versants.

Ce travail est scindé en cinq chapitres :

Introduction générale

Le premier chapitre expose la nature et l'étendue des problèmes environnementaux en Algérie. Dans le second chapitre, nous présentons les différents sites de notre étude, la méthodologie d'échantillonnage et les méthodes d'analyses adoptées pour le dosage des différents descripteurs ciblés.

Le troisième chapitre détaille et interprète les divers résultats physico-chimiques et biochimiques obtenus pour l'ensemble des stations.

Le chapitre quatre expose et discute les résultats relatifs à la variation saisonnière des micropolluants organiques et minéraux, trouvés dans les eaux et les sédiments des quatre principales sources de rejets anthropiques au Golfe d'Annaba.

Dans le chapitre cinq, nous synthétisons toutes les données analytiques, en utilisant l'analyse statistique multi variable.

Une conclusion générale et quelques recommandations et perspectives de recherches clôturent le manuscrit.

Les problèmes environnementaux en Algérie ont des impacts négatifs directs sur l'activité et l'efficacité économiques, sur la santé et la qualité de vie de la population, sur la productivité et la durabilité du patrimoine naturel du pays.

D'après les rapports du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement : MATE (2001, 2002 et 2003), l'Algérie est confrontée à une crise écologique majeure, des problèmes sérieux de dégradation de l'environnement et de pertes des ressources naturelles menacent la santé et la salubrité publique, la pérennité des écosystèmes fragiles, le développement durable du pays et la capacité des générations futures à disposer des ressources nécessaires à la satisfaction de leur besoin socio-économiques.

La dégradation des sols, la rareté grandissante des ressources en eau, l'insuffisance de traitement des eaux usées, la prolifération des déchets urbains, la pollution atmosphériques et les différentes pollutions industrielles affectent de manière notable la santé des citoyens.

La rupture des grands équilibres naturels risque d'aboutir rapidement à des catastrophes écologiques et économiques.

1. 1. Les prédispositions du territoire et du climat

L'Algérie est l'un des plus grands pays du continent africain avec une superficie de 2 381 km². Toutefois les ressources naturelles y sont limitées et fragiles, du fait de conditions climatiques et de leur distribution inégale à travers le territoire (MATE, 2002).

Malgré sa façade méditerranéenne de 1 200 km, l'Algérie est un pays très fortement marqué par l'aridité ; la carte de pluviométrie souligne le déficit qui caractérise en ce domaine l'essentiel du territoire algérien (Mebarki, 2005 ; MATE, 2003).

L'Algérie présente par son relief et sa morphologie trois grands ensembles :

- *l'ensemble tellien du Nord* représente seulement 4% de la superficie du territoire, il est composé d'une part d'un espace littoral, d'une largeur de 80 à 190 km sur une longueur de 1200 km ; et d'autre part, des montagnes telliennes qui englobent divers bassins et plaines intérieures (MATE, 2003 ; MATE, 2002).

La zone littorale est constituée de plaines littorales (Mitidja, plaines de la Tafna, de Skikda et d'Annaba), de plateaux et d'ensembles "collinaires" (plateau de Mostaganem, Sahel algérois) et d'escarpements où s'inscrivent des échancrures assez ouvertes parfois pour former de larges baies (sites des principales villes portuaires). Elle comprend aussi un plateau continental marin de pente généralement douce mais de largeur moyenne assez faible avec l'existence d'herbiers sous-marins et autres niches écologiques (MATE, 2003).

Le littoral est la zone la plus favorisée du pays du fait de son climat, de ses ressources marines, des richesses de ses diverses plaines et vallées côtières et de ses atouts géostratégiques évidents. Les multiples plaines et vallées littorales, caractérisées par des sols lourds mais peu profonds, offrent de bonnes conditions à une polyculture variée grâce aux avantages créés par un climat méditerranéen régulé par des influences marines. Mais parallèlement à ces avantages, la zone littorale présente des vulnérabilités évidentes car elle est très convoitée. Elle est soumise de ce fait à diverses surcharges et concentrations qui menacent autant ses ressources que ses équilibres écologiques fondamentaux (MATE, 2003 ; MATE, 2002).

L'occupation actuelle de notre territoire est caractérisée par une forte littoralisation du peuplement et des activités, qui ne peut que se renforcer à l'avenir en cas de maintien des tendances actuelles (MATE, 2003 ; MATE, 2002) ;

- *les hauts plateaux* (9 % du territoire) : ils occupent l'espace compris entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien sont caractérisés par des hautes plaines et un climat semi-aride (céréaliculture, agro-pastoralisme) (MATE, 2003 ; MATE, 2002) ;
- *le Sahara* (87 % du territoire) : ensemble totalement aride ou hyperaride (MATE, 2003 ; MATE, 2002).

1.2. Des ressources naturelles limitées, inégalement réparties et fortement menacées

De par leurs superficies et conditions naturelles respectives, le Tell, les Hauts Plateaux et le Sahara offrent des potentialités et des ressources naturelles très inégales et des vulnérabilités spécifiques.

Privilegiée au plan climatique, la frange tellienne qui n'occupe que 4 % du territoire national, se trouve confrontée à la limitation de ses plaines et zones basses du fait de l'importance de ses reliefs. Cet ensemble dispose de 2 500 000 hectares de surface agricole utile (SAU), soit le tiers seulement des 7 500 000 hectares de SAU totale. Se sont, également, les meilleures terres agricoles du pays grâce aux conditions climatiques de la zone qui totalise 95 % des eaux de ruissellement de l'ensemble du territoire (MATE, 2003 ; MATE, 2002). Mieux dotés en espaces plats, les Hauts Plateaux détiennent les deux tiers de la SAU, mais cet avantage est réduit à néant du fait de l'aridité et des faibles ressources hydrauliques. Lourdemment pénalisé par la sécheresse du climat, l'immense Sahara offre l'avantage de disposer de ressources hydrauliques (nappes fossiles profondes exploitables à hauteur de 4,9 milliards de m³/an). Malgré cela, les possibilités agricoles de ces régions restent très limitées du fait de la rareté des sols cultivables (MATE, 2003 ; MATE, 2002).

Outre les spécificités du milieu naturel et du climat, la croissance démographique, l'urbanisation et les politiques de développement menées durant trois décennies ont exercé des pressions dommageables sur l'environnement. La zone littorale regroupe à elle seule 40 % de la population totale du pays, il est facile de constater que cette frange septentrionale regroupe sur 4 % de sa superficie, non seulement l'essentiel des 30 millions d'algériens, mais aussi la majeure partie de son potentiel économique et infrastructurel. L'Algérie connaît aujourd'hui des problèmes écologiques majeurs (MATE, 2003 ; MATE, 2002).

1. 3. La littoralisation

La littoralisation se traduit par la concentration de la population et de l'activité économique en bord de mer.

1. 3. 1. Évolution de la population côtière

Le littoral est incontestablement une zone stratégique pour l'avenir et le développement futur du pays. Le développement des régions côtières n'a pas été inscrit dans une politique d'aménagement du territoire sous-tendue par une logique de fonctionnement solidaire des espaces, ce qui s'est traduit par une accélération de la dégradation du littoral, d'un patrimoine naturel côtier unique et de l'écosystème marin (MATE, 2002).

Près des deux tiers de la population algérienne réside sur 4 à 4,5 % du territoire national, et ce sur une centaine de kilomètre allant des côtes vers l'arrière pays. Les wilayas littorales qui occupent 2 % du pays concentrent plus de 40 % de la population. En 1977, il y avait six villes côtières de plus de 100 000 habitants. Aujourd'hui ce chiffre a été multiplié par deux. Cette situation s'explique par des facteurs naturels (eaux, sols, climat), mais aussi par des facteurs historiques. La colonisation a fondé les disparités territoriales de l'Algérie en ayant préférentiellement mis en valeur les zones de peuplement européen (plaines littorales et bassins intérieurs telliens) et développé les villes portuaires, alors que les régions intérieures ont été exploitées de façon minière (céréaliculture extensive, exploitation et exportation de matières premières) et donc moins équipées. Cette situation a drainé des flux migratoires importants au détriment des régions intérieures (MATE, 2003 ; MATE 2002).

1. 3. 2. Évolution des activités sur le littoral

Une proportion importante de l'industrie nationale est localisée sur le littoral. Selon un recensement de 1993, 5 242 unités industrielles (ou 51 % du total) y sont concentrées. L'ouverture économique qui s'annonce et l'option PME (petites et moyennes entreprises) et PMI (petites et moyennes industries) risquent d'accroître ce phénomène (MATE 2002). Dans

le secteur agricole, les meilleures terres (soit 1 632 000 hectares) sont situées dans la région littorale et drainent une population relativement importante attirée par les emplois agricoles. Le tourisme balnéaire est un autre secteur important, marqué par son caractère national et sa concentration spatio-temporelle. En 1997, plus de 13 millions d'estivants ont séjourné au moins 24 heures sur la côte (MATE 2002). L'évolution socio-économique et les comportements économiques font que la pression exercée sur le littoral ne cesse de s'accroître (MATE, 2003 ; MATE 2002).

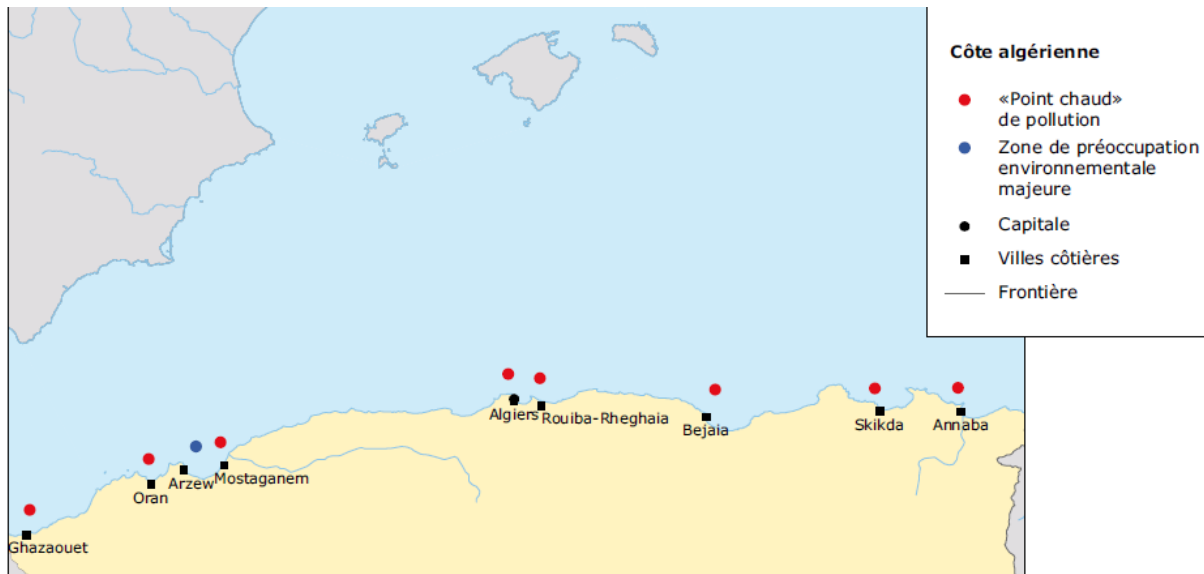


Figure 2. Côte algérienne avec les zones de préoccupation environnementale majeure et les « points chauds » de pollution (source : AEE, 2006)

1. 3. 3. Érosion côtière et surexploitation

L'érosion côtière, l'extraction de sable, l'envasement des ports et la surexploitation halieutique sont autant de phénomènes qui accentuent la dégradation de la région littorale.

L'érosion côtière va de pair avec l'amincissement et le recul des plages. L'importance de l'érosion côtière se traduit par sa valeur naturelle (patrimoine côtier) et son utilité socio-économique (tourisme balnéaire). Sur 250 à 300 kilomètres de plages, 80 % connaissent une situation d'érosion plus ou moins importante, explicable par la conjugaison de divers facteurs : période de pénurie sédimentaire naturelle, piégeage des sédiments par les barrages et les ports, extraction abusive de sable, pollutions, mauvaise occupation du rivage, etc. (MATE 2002).

En 1977, l'extraction de sable était estimée à 10 millions de m³. Le volume de sable extrait au cours des dernières décennies, a eu pour conséquences l'érosion des plages, la dégradation des sols et des nappes phréatiques (intrusion marine, infiltration de polluants), la diminution des ressources hydriques, etc. (MATE 2002).

L'envasement des principaux ports nationaux, suite à l'absence d'une politique de dragage et d'entretien, et la surexploitation halieutique viennent parachever la dégradation du littoral (MATE 2002).

1. 3. 4. La dégradation de la qualité des eaux marines

Les apports telluriques de polluants sont importants. Les eaux usées non traitées (eaux usées de populations urbaines, pôles industriels) qui arrivent dans les enceintes et les rades portuaires est estimé à 1 million de m³/jour. Les flux des pollutions vers les ports révèlent des charges importantes : 88 000 tonnes /an de DBO₅ et 186 000 tonnes/an de DCO. En ce qui concerne la pollution par les métaux lourds, 5 ports dépassent les normes pour le mercure, 3 pour le plomb, 4 pour le cuivre, 4 pour le zinc et 1 pour le chrome. Pour les HCT (hydrocarbures totaux), la quasi-totalité des grands ports présentent des pics qui dépassent de loin les normes de références. Enfin, 5 ports dépassent la valeur limite pour la pollution microbienne (> 100 000 E. coli /100 ml). En dehors des zones portuaires, de nombreux sites sont interdits à la baignade en raison d'une mauvaise qualité bactérienne des eaux. 135 plages sont interdites de baignade sur 409 plages ayant fait l'objet d'analyse en 1996 (MATE, 2003 ; MATE 2002).

1. 4. Les eaux douces

Selon un rapport récent du Plan Bleu, l'Algérie fait partie des pays les plus affectés par le manque de ressources en eaux naturelles renouvelables disponibles. 75 % des ressources en eau sont localisées sur 6 % seulement du territoire algérien. L'Algérie et le Maroc sont les pays qui ont le plus bas taux d'accès à l'eau potable traitée (Lainé et al., 2008).

En Algérie, les premières années 2000 ont été celles de l'eau, comme ressource. Elle a rempli les discours officiels et les colonnes de la presse qui ne lui a jamais consacré autant d'espaces (articles d'informations ou d'analyses, dossiers, enquêtes, interview, reportages). C'est ainsi qu'on a appris que le ratio entre les ressources renouvelables en eau et la consommation est, pour l'Algérie, de 500 m³/hab./an. C'est l'indicateur de la pénurie d'eau. Pour les spécialistes, si la ressource naturelle tombe à moins de 1000 m³/habitant/an, elle devient une ressource rare. En 1962, à l'indépendance, ce ratio était de 1500 m³/hab./an. Sa baisse est significative : 720 m³/hab./an en 1990, 680 m³/hab./an en 1995, 630 m³/hab./an en 1998 et 500 m³/hab./an en 2002. En 2020, on prévoit qu'il descendra à 420 m³/hab./an et en 2025 à 300 m³/hab./an (si on ne compte que les eaux de surface, ce ratio sera de 200 m³/hab./an) (Rebah, 2005).

La question des ressources en eau est une préoccupation de premier plan. En raison de l'aridité de la majeure partie du territoire nationale, les ressources en eau sont limitées. Les ressources potentielles liées au volume annuel des pluies que reçoivent les bassins versants ne sont en outre que partiellement mobilisables. La gestion défailante de ces ressources aggrave la situation (Rebah, 2005 ; MATE 2002).

1. 4. 1. Des ressources en eau limitées

Les ressources en eau de l'Algérie sont limitées. Elles sont évaluées à 19,2 milliards de m³, dont 12,4 milliards de m³ d'eau de surface, 1,9 milliards de m³ d'eaux souterraines du Nord et 4,9 milliards de m³ d'eaux souterraines exploitables dans le sud.

Actuellement, les disponibilités en eau par habitant sont d'environ 640 m³. En réalité, elles se limitent à 383 m³/habitant/an compte tenu du fait que seuls 4,7 milliards de m³ d'eau sont mobilisables dans les barrages. Ce ratio ne sera plus que de 261 m³/habitant/an en 2020 pour une population de 44 millions d'habitants. Les ressources en eau sont en outre caractérisées par une irrégularité dans l'espace et dans le temps et une persistance de la sécheresse (MATE 2002). Aucune ville en Algérie n'est épargnée par la pollution des oueds qui reçoivent à la fois les rejets urbains, les rejets industriels et même des rejets hospitaliers que l'on a tendance à négliger. Ces oueds ont atteint un seuil alarmant de pollution alors qu'à une période pas très éloignée, on y pêchait le poisson d'eau douce (Rebah, 2005).

1. 4. 2. Gestion défailante des ressources en eau

La gestion actuelle du service public d'eau potable (coupures d'eau, pertes apparentes dans les réseaux, tarification, etc.) ne sensibilise pas les citoyens à la rareté de l'eau et aux coûts de service. C'est dire qu'une politique de gestion et de protection des ressources limitées est plus que jamais nécessaire. Les défis sont multiples :

☞ *l'envasement des barrages* représente 500 millions de m³, soit plus de 10 % de la capacité totale des barrages en exploitation (4,5 milliards de m³). Selon l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), sur les 35 bassins versants des barrages étudiés, 8 sont érodables sur près de 40 % de leur superficie. Sur la base des taux d'envasement découlant de levés bathymétriques effectués par l'Agence Nationale des Barrages (ANB), 7 barrages auront perdu 50 % de leur capacité en l'an 2000. Et on pourrait passer à 17 barrages d'ici 2050.

L'envasement est donc un problème grave. Des procédés techniques existent (surélévation de barrages, gardes d'envasement, dragages), mais l'aménagement intégré des bassins versants reste

la meilleure solution si les populations riveraines y sont associées et en tirent profit (MATE 2002).

☞ les pertes dans les réseaux de distribution sont de l'ordre de 40 %, soit environ 420 millions de m³ par an. En ce qui concerne les eaux d'irrigation, 50 % des eaux sont perdues, soit environ 150 millions de m³ sur la base d'une moyenne des quotas alloués au cours des cinq dernières années. Le coût de m³ récupéré est approximativement de 20 % par rapport au coût de m³ mobilisé. En même temps qu'il faudra rationaliser la politique des prix de l'eau, il est nécessaire de récupérer ces eaux afin d'améliorer la situation d'approvisionnement, de différer l'horizon de rupture de l'offre et de la demande et d'éviter la réalisation de nouvelles infrastructures de mobilisation et de traitement (MATE 2002).

1.5. Les zones urbaines

L'urbanisation accélérée, la croissance démographique, la densité de population et les changements de modes de consommation ont engendré une dégradation constante du cadre de vie (pollutions des ressources en eau, pollutions de l'air, déchets solides, etc.), exposant l'environnement à des risques de pollution permanente tout en portant atteinte à la salubrité et la santé publique (MATE 2002).

1. 5. 1. La pollution des ressources en eau par les eaux usées

Aux problèmes alarmants de disponibilité pour subvenir aux besoins de la population, s'ajoutent des problèmes de qualité aggravés par le rejet, de décennies durant, des eaux usées domestiques (MATE, 2003 ; MATE 2002).

En Algérie, la majeure partie des eaux usées est évacuée dans la nature directement ou via un réseau d'assainissement défaillant. Cela ne signifie pas qu'elles sont toutes perdues, surtout à la périphérie des grandes villes, c'est à dire là où les volumes des rejets sont importants. Prétextant la sécheresse et le prix prohibitif du fonçage de puits, des paysans qui pratiquent les cultures en irrigué et sont confrontés au manque d'eau, les récupèrent dans des retenues spécialement aménagées, pour les réutiliser sans épuration préalable. Circonstance aggravante : les « retenues » d'eaux usées peuvent se trouver à proximité de sources d'eau ou de puits utilisés pour la consommation humaine. De la même façon, quand un oued égout passe à côté de parcelles cultivées, son eau fortement polluée est pompée pour l'irrigation. Ces oueds égouts véhiculent des eaux usées collectées sur leur passage à partir des rejets des agglomérations et des zones industrielles. On peut voir des bergers faire paître leurs troupeaux sur les berges de ces oueds égouts (Rebah, 2005).

Le volume annuel d'eaux usées rejetées est estimé à 600 millions de m³. Les eaux usées proviennent essentiellement des agglomérations situées dans les principaux bassins telliens, ce qui constitue une source importante de pollutions portant préjudice non seulement au littoral, mais également aux ressources en eau, qui sont déjà rares (MATE, 2003 ; MATE 2002). La dégradation des ressources en eau commence ainsi à atteindre des proportions inquiétantes notamment dans la région tellienne où se situe la plus grande partie des potentialités en eau. Si, par leurs rejets d'eaux usées, les agglomérations côtières causent un préjudice au littoral, celles de l'intérieur du pays et notamment celles situées dans les bassins telliens portent préjudice, au-delà du littoral, aux ressources en eau déjà rares. Les principales raisons de cet état de fait sont évoquées ci-après :

☞ *Raccordement aux réseaux public d'égouts* : depuis 1970, des efforts soutenus sont faits en matière de raccordement des eaux usées domestiques aux réseaux publics d'égouts. En 1995, 85 % de la population urbaine était raccordée au tout à l'égout.

☞ *Les systèmes d'épuration* : la mise en place de systèmes d'épuration n'a pas bénéficié du même effort que celui accordé aux raccordements des eaux usées domestiques aux réseaux publics d'égouts. Ainsi, dans le cadre de programmes sectoriels centralisés et décentralisés réalisés essentiellement depuis 1980, 45 stations d'épuration d'eau usées domestiques ont été réalisées, dont 28 sont à réhabiliter et 9 à réformer. Le programme en cours concerne 11 stations. La capacité estimée des stations construites est l'équivalent de 4 millions d'habitants, soit 17 % de la population raccordée à un réseau d'assainissement. Le rendement épuratoire est quasi nul du fait du non fonctionnement de la majorité de ces stations pour les raisons suivantes : i) aucune politique claire de gestion, d'exploitation et de maintenance de ce type d'équipement n'a été définie ; ii) les responsabilités respectives des entreprises de l'eau et des communes n'ont jamais été clarifiées ; iii) les moyens financiers nécessaires pour couvrir les coûts d'épuration ne peuvent être réunis dans le cadre de la tarification actuelle. La redevance d'assainissement, qui équivaut à 20 % du montant de la facture d'eau - le prix de l'eau étant lui-même très fortement subventionné - ne tient pas compte du principe pollueur-payeur et reste trop faible pour pouvoir couvrir les frais de gestion.

☞ *L'assainissement rural* : un important programme d'aménagement de bassins de décantation a été lancé en 1987 pour les petites et moyennes localités. Ce programme s'est traduit par la réalisation de 435 bassins concernant 31 wilayas et 404 localités. La population totale raccordée

à ces bassins est d'un million d'habitants. Aucun bassin n'est pris en charge par les communes bien que leur entretien consiste en un curage une à deux fois par an.

☞ *La pollution des bassins* : les cartes de qualité des eaux publiées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) montrent que des tronçons importants de cours d'eau dans les bassins de Tafna, Macta, Chélif, Soummam et Seybouse sont aujourd'hui pollués (MATE, 2002). Pour certains de ces bassins des systèmes d'épuration ont été réalisés ou sont en cours ; pour d'autres comme le Chélif, la Seybouse ou le Kébir, le sous équipement est flagrant.

☞ *Contrôle et surveillance de la qualité de l'eau* : le suivi de la qualité des eaux de surface et souterraines est assurée par les stations de surveillance et les laboratoires de la Direction Générale de l'Environnement (mesures physico-chimiques et bactériologiques), les stations de surveillance de l'ANRH (mesures physico-chimiques de base) et les laboratoires d'hygiène de wilaya relevant du Ministère de la Santé (mesures microbiologiques).

Faute de programme national de surveillance et de coordination intersectoriel, le rendement global de ce réseau reste très limité. L'absence de normes de qualité pour les milieux récepteurs, le manque de moyens au niveau des inspections de l'environnement et le retard pris dans le déploiement d'une véritable police de l'eau sont des facteurs supplémentaires expliquant le faible exercice de la puissance publique (MATE, 2002).

1. 6. Les zones industrielles

L'Algérie est aujourd'hui confrontée à de sérieux problèmes de pollution industrielle. Le parc industriel national est ancien et vétuste, fréquemment inefficace et polluant. Il faut noter en outre que le processus d'industrialisation s'est effectuée dans des conditions ne tenant pas compte des impératifs écologiques. Les pollutions engendrées par le rejet d'eaux industrielles non traitées, les émissions atmosphériques et la production de déchets spéciaux (dont la gestion est inadaptée) menacent très sérieusement la qualité des écosystèmes (MATE 2003 ; MATE, 2002).

1. 6. 1. Les eaux usées industrielles

La pollution engendrée par les eaux usées industrielles : on estime que les entreprises industrielles génèrent annuellement plus de 220 millions de m³ d'eaux usées, 55 000 tonnes de DBO₅, 135 000 tonnes de matières en suspension, et 8 000 tonnes de matières azotées. Comme les eaux usées domestiques, les effluents industriels contribuent de façon notable à la pollution des cours d'eau et des barrages. C'est le cas notamment pour les barrages de Beni Bahdel,

Bakhada, Lekhal et Hammam Grouz. Il en est de même pour les oueds de Tafna, Seybouse, Soummam et Cheliff (MATE, 2002).

L'épuration des eaux usées industrielles : selon une enquête réalisée en 1996, la situation en matière d'épuration des eaux usées résiduaires est la suivante : 42 stations sont fonctionnelles, 15 sont à l'arrêt, 9 sont en cours de réalisation et 19 sont à l'étude. Les capacités d'épuration des effluents industriels représentent environ 20 millions de m³/an, soit quelque 10 % du volume d'eaux résiduaires générées. Les deux grands « points chauds » en matière d'eaux usées industrielles sont les entreprises SIDER (Annaba) et GIPEC (production de pâte de papier à Mostaganem et Bab Ali). Un projet de la banque mondiale a été mis en place pour l'entreprise de SIDER. Un décret interdisant le versement des effluents liquides industriels dans le milieu naturel et les réseaux d'assainissement a été promulgué en 1993 (Décrets exécutifs n° 93-160, 93-161), mais il ne semble pas avoir eu l'effet escompté. Le Code des eaux récemment amendé prévoit des incitations financières pour encourager les industriels à installer des systèmes d'épuration. Des incitations sont également prévues pour les mesures d'économie de l'eau. Le décalage entre les textes et la réalité reste important (MATE, 2002).

La pollution agrochimique : la pollution des ressources hydriques (de surface et souterraines) par les engrais, notamment les nitrates, est très importante. Les fortes teneurs en nitrate apparaissent principalement en saison chaude (étiage) et pouvaient atteindre 56 mg.L⁻¹. Un risque d'eutrophisation des plans d'eau a été rapporté (MATE, 2002). La politique de subvention des produits agrochimiques qui a été menée est largement responsable de cette situation. Néanmoins, avec la suppression de la subvention, le ratio d'utilisation des engrais et des produits phytosanitaires est en très nette diminution, ce qui peut entraîner à terme une amélioration de la situation (MATE, 2002).

1. 6. 2. La pollution atmosphérique d'origine industrielle

L'activité industrielle continue de contribuer à la dégradation de la qualité de l'air dans le voisinage des localités où se trouvent implantées certaines grandes industries tels que les cimenteries, les centrales électriques, les complexes chimiques, pétrochimiques, et métallurgiques, etc. (MATE 2003).

La pollution atmosphérique est constituée essentiellement d'émissions de poussières, de dioxydes de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x), deux gaz qui contribuent à l'effet de serre et la formation des pluies acides. Les émissions de poussières ont pendant longtemps été très importantes à l'intérieur et au voisinage des cimenteries ; sur certains sites, les concentrations

étaient 10 fois supérieures aux valeurs de référence (MATE 2002). Le programme en cours visant à équiper l'ensemble des cimenteries en électrofiltres devrait permettre de remédier à la situation. Le complexe sidérurgique ENSIDER reçoit la même attention dans le cadre d'un programme financé par la Banque mondiale. Après la fermeture (dans le cadre d'un projet financé par la Banque mondiale) de l'unité d'acide sulfurique d'ASMIDAL (principale responsable d'émission de SO₂), c'est le complexe d'électrolyse de zinc de Ghazaouet qui constitue le principal point chaud pour ce type d'émissions (MATE, 2003 ; MATE 2002). Des investissements ont été récemment consentis pour circonscrire le problème, mais cela reste toutefois insuffisant. En ce qui concerne les oxydes d'azote, les centrales de production électriques et, dans une moindre mesure, les raffineries de pétrole et les complexes GNL (gaz naturel liquéfié) constituent après le trafic automobile, les principales sources d'émissions (MATE, 2003 ; MATE 2002).

1. 6. 3. Les déchets spéciaux

La production de déchets spéciaux est de l'ordre de 180 000 tonnes/an ainsi répartie : 9 500 t de déchets biodégradables ; 6 500 t de déchets organiques ; 48 000 t de déchets inorganiques et 55 000 t de déchets peu toxiques. Ces déchets sont principalement produits dans les wilayas d'Annaba (36 %), Médéa (16 %), Tlemcen (15 %), et Oran (14 %).

En ce qui concerne les huiles usagées, 140 000 tonnes d'huiles sont annuellement commercialisées par l'entreprise NAFTAL. 8 % seulement sont récupérés en vue d'un recyclage à l'étranger. Les huiles usagées qui sont rejetées dans les stations-service ainsi que les vidanges sauvages constituent un problème environnemental important. Les autres déchets spéciaux sont :

- les déchets liés aux activités de soins : 125 000 t/an dont 33 000 t considérés comme toxiques et 22 000 t comme infectieux ;
- les déchets agrochimiques (pesticides, insecticides périmés) qui constituent un stock de 2200 t ;
- les déchets amiantés qui sont estimés à 7000 t/an.

L'absence de classification et de réglementation appropriées concernant les déchets spéciaux et les substances toxiques chimiques (tant pour leur transport que pour leur gestion) n'est pas finalisée à ce jour. La plupart des déchets spéciaux y compris les plus toxiques sont, à l'heure actuelle, stockés au niveau des producteurs dans des conditions qui ne sont pas toujours adéquates. Ils sont aussi, parfois déposés dans les décharges publiques.

Seuls certains déchets spéciaux ont fait l'objet de réglementation spécifique :

- les PCB : un décret de 1986 interdit à l'avenir leur achat, cession ou utilisation ; il fixe les conditions de détention, de transport et de stockage de ceux qui sont déjà sur le marché ;
- les huiles usagées : leur collecte et leur utilisation sont réglementées ; le décret interdit leur rejet dans la nature et fait obligation aux sociétés distribuant les huiles neuves de les récupérer après usage.

Le problème de gestion des déchets spéciaux reste donc, entier car ces derniers sont soumis à des réglementations spécifiques peu précises ; les responsabilités et obligations des différents intervenants (administration, producteurs de déchets, transporteurs, gestionnaires des installations de traitement et d'élimination) ne sont pas définis ; les schémas de traitement pour chaque catégorie de déchets ne sont pas établis, les instruments susceptibles d'inciter les industriels à diminuer la production de déchets à la source et à internationaliser les coûts ne sont pas disponibles (MATE 2002).

1. 7. Les problèmes globaux

D'après le rapport du MATE (2002), l'Algérie a engagé différents programmes et participe à la protection de l'environnement global. Les principales actions menées concernent le changement climatique, les substances appauvrissant la couche d'ozone, la biodiversité et les eaux marines internationales.

1.7. 1. Les changements climatiques

L'Algérie a signé la Convention Cadre sur les changements climatiques et souscrit pleinement aux engagements y stipulés, en particulier la stabilisation des émissions à effet de serre. La politique volontaire basée sur l'utilisation maximale du gaz naturel (90 % de la production électrique) et l'effort entrepris par l'entreprise SONATRACH pour réduire les quantités de gaz brûlés au niveau des torchères sont autant d'actions qui s'inscrivent dans les préoccupations internationales. L'adoption récente d'une loi relative à la maîtrise de l'énergie permettra également la mise en œuvre de programmes d'économie de l'énergie dans divers domaines. Enfin, l'Algérie renforce ses capacités pour la mise en œuvre de la Convention Cadre au travers de deux programmes financés par le Fonds mondial de l'Environnement.

1.7. 2. Les substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO)

En ratifiant la convention de Vienne et le protocole de Montréal, l'Algérie a engagé un programme sérieux de réduction des SAO. Deux projets ont été réalisés dans les domaines de la réfrigération et des aérosols. Le programme en cours, constitué de 21 projets (réfrigération,

aérosols, mousses, solvants) permettra d'éliminer 1 300 tonnes de CFC, soit 60 % de la consommation annuelle nationale.

1. 7. 3. La biodiversité

Les processus de dégradation des sols, de désertification, les pollutions marines, mais aussi certaines pratiques culturelles ont fortement endommagé le stock des ressources génétiques. En adhérant à la convention sur la diversité biologique, l'Algérie s'est engagée dans, une première phase, à élaborer une stratégie nationale et un Plan d'utilisation durable, de préservation et de conservation de la biodiversité dans le cadre d'un financement du Fonds mondial de l'Environnement.

1. 7. 4. Les eaux marines internationales

L'Algérie a adhéré à la Convention de Barcelone relative à la protection de la Mer Méditerranée, qui a un caractère régional important, et à ses différents protocoles. Un programme de lutte et de prévention des pollutions par les hydrocarbures a été mis en place dans le cadre d'un don du Fonds mondial de l'Environnement au profit des pays du Maghreb : acquisition de matériel de lutte, remise en marche de station de déballastage, équipements et produits de laboratoires, formation de personnel. Parallèlement sous l'égide du Plan d'action pour la Méditerranée (PAM) un plan d'aménagement côtier pilote (PAC), qui concerne une zone littorale qui s'étend du Mont Chenoua à Cap Djinet, devra permettre de définir des opérations de lutte contre les pollutions, de réhabilitation de sites naturels, de mécanismes et instruments de gestion intégrée des zones côtières.

Les rejets anthropiques au Golfe d'Annaba sont multiples et très diversifiés. Ils ont pour sources principales, les rejets domestiques, les effluents industriels et agricoles.

Ce flux terrigène est principalement véhiculé vers la mer par les oueds Bouhamra et la Seybouse ou déversé directement dans le littoral via les effluents liquides du complexe d'engrais phosphatés Asmidal (Fertial) et ceux des stations de relevage.

2.1. Présentation et localisation des sites d'étude

2. 1. 1. Le complexe d'Asmidal (Fertial)

Le groupe Asmidal est un établissement classé dont la vocation principale est la fabrication de l'ammoniac, des engrais phosphatés, des engrais azotés, des engrais à base d'ammonitrate, des engrais complexes, etc.

Le complexe est formé de sept unités de production qui se résument en :

1. l'unité d'acide sulfurique, vu son impact néfaste sur l'environnement, a été démolie en décembre 1995 suite au programme de dépollution, financé par la banque mondiale.
2. l'unité d'acide phosphorique a également été arrêtée en décembre 1995, grâce au programme de dépollution financé par la banque mondiale. Cependant, cette unité a été convertie en unité de production d'engrais S. S. P. (Simple Super Phosphate).
3. l'unité d'engrais phosphatés créé en 1984.
4. l'unité de triphosphate de sodium créé en 1978.
5. l'unité d'acide nitrique.
6. l'unité de nitrate et d'ammonium.
7. l'unité d'ammoniac.

Localisé à environ 4 Km de la ville d'Annaba, le complexe est limité au nord par la mer Méditerranée, au sud-ouest par la cité d'El Bouni, au sud-est par El Hadjar et la commune de Sidi Salem et au nord-ouest par l'agglomération d'Annaba.

Trois principaux effluents du complexe d'Asmidal ont été choisis dont deux sont déversés dans des bassins, qui débouchent directement dans la plage de Jouanoville (cf. Figure 3) :

1. Le bassin principal (Asmidal B.P.) qui véhicule les eaux de refroidissement. À l'origine ces eaux sont marines. Elles sont pompées pour refroidir les différents circuits du complexe. Une fois utilisées, elles sont rejetées dans le littoral.
2. Le bassin annexe (Asmidal annexe) reçoit essentiellement les eaux résiduelles issues de la fabrication du phosphate, de l'azote ammoniacal et autres produits chimiques.

3. Enfin, un troisième rejet caché, situé plus vers l'est du complexe (Asmidal Est). Il crée un petit estuaire qui rejoint l'oued Seybouse avant de se jeter dans la mer.



Figure 3. Localisation des sites d'étude dans le Golfe d'Annaba

2. 1. 2. Plage de Jouanoville

La plage de Jouanoville est située à environ 300 mètres des déjections du groupe Asmidal (cf. Figure 3). Ce point de prélèvement marin a été choisi en tant que témoin des introductions directes des effluents du complexe de fabrication d'engrais chimiques (engrais phosphatés et les superphosphates). Je tiens, aussi à préciser que cette plage est interdite à la baignade, depuis plusieurs années déjà.

2.1.3. L'oued Seybouse

Situé à l'extrémité nord orientale de l'Algérie (Figure 4), l'oued Seybouse représente le second oued du pays, eu égard de son vaste bassin versant (6471 km^2) et de sa longueur (240 km).

Il prend sa source près de la région de Guelma, il est issu de la confluence de deux oueds : oued cheref et oued Bouhamdane (Côte, 1996). Son débit annuel moyen est de $11,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Il s'étend des hautes plaines, aux massifs telliens, jusqu'à la plaine littorale d'Annaba en aval, où il rejoint la Méditerranée (Abdelguerfi et al., 2005 ; Derradji et al., 2004). La zone d'étude est

2. 1. 5. L'oued Mafregh

Situé plus à l'est de la Seybouse, l'oued Mafregh est issu de la confluence de l'oued Bounamoussa et de l'oued El Kébir Est, et forme un petit estuaire qui se jette dans la méditerranée (cf. Figure 5).

2.2. Justification du choix des sites étudiés

Située à l'Est du littoral algérien avec 85 km de côte, la ville d'Annaba est une baie ouverte à vocation industrielle, agricole, urbaine et touristique (Ouali et al., 2008 ; Sifi et al., 2007). De ce fait, elle subit une importante pression anthropique à l'origine de sérieux problèmes de pollution (industrielle, agrochimique, atmosphérique et urbaine). La pollution des ressources hydriques (de surface et souterraines) par les eaux domestiques, par les effluents industriels et agricoles contribuent de façon notable à la dégradation de la qualité des cours d'eau et des barrages (ONA, 2000).

Faute de station d'épuration, tous ces effluents telluriques sont déversés dans les oueds pour finir dans le Golfe d'Annaba. Ces rejets riches en sels nutritifs, en matières organiques et en micropolluants organiques et minéraux, ont pour conséquence immédiate une hyperfertilisation des milieux récepteurs (les oueds et les eaux littorales). La dystrophisation (eutrophisation accélérée due à l'anthropisation) de ces écosystèmes aquatiques peut avoir, ultérieurement, des répercussions écologiques et socio-économiques graves sur la région.

En vue d'estimer et de suivre l'évolution de la qualité physico-chimique des divers effluents liquides et quantifier certains polluants transportés principalement par les oueds et les eaux résiduaires, issus des diverses activités anthropiques, nous avons choisis les principales sources de pollution, qui semblent être à l'origine de l'hyperfertilisation du littoral d'Annaba.

Pour se faire nous avons choisi les sites suivants :

Le complexe d'Asmidal a engendré de nombreux problèmes écologiques (enrichissement du milieu en sels nutritifs et autres polluants, pollution organique intense, phénomène d'eutrophisation, pollution atmosphérique, pollution thermique...) et sanitaires (maladies respiratoires, maladies cardio-vasculaires, asthme, etc.) particulièrement dans la région d'El Bouni, située à proximité du complexe. C'est pourquoi il a fait l'objet de plusieurs études écotoxicologiques.

L'oued Bouhamra, dit encore « *oued Boujemaâ* », collecte, essentiellement, les eaux usées domestiques de plus de 100 000 habitants de la plaine ouest de la ville. Il reçoit, en outre, les effluents domestiques de trois stations de relevage, de nombreux raccordements d'eaux usées et

des effluents mineurs du complexe d'Asmidal. En sus des rejets de l'abattoir, distant de quelques mètres de l'oued. Il constitue de ce fait, l'une des sources majeures d'apports des eaux usées au Golfe d'Annaba. Son débit varie à l'échelle de l'heure au grès de l'activité ménagère, de la population et des stations de relevage. Hormis les eaux pluviales, l'oued présente un débit fluctuant généralement dans la journée entre 0,5 et 3 m³.s⁻¹. Il s'agit en définitif d'un véritable émissaire d'eaux usées [Khammar et al., 2009].

L'oued Seybouse est considéré comme l'un des oueds les plus pollués d'Algérie (MATE, 2002). Dans la plaine basse de la Seybouse se concentre une multitude d'activités anthropiques. Il existe cinq zones industrielles, qui se résument en : industrie lourde (SIDER, complexe sidérurgique d'El Hajar), ENAB (entreprise nationale du bois), ERCE (entreprise régionale du ciment), SOMELOM (société de la mécanique et de location de camions), GIPC (groupe industriel du papier et de la cellulose), SOFARM (société de fabrication des articles médicaux), TMPK (transfert et emballage du plastique), ORELAIT (office régionale de l'Eduogh du lait), Ferroviaire (entreprise nationale de construction des matières et équipements ferroviaires), Asmidal (complexe des engrais chimiques), usines agro-alimentaires (tomate, confiseries et chocolats) et enfin, une entreprise de peinture. Il est à noter que sur les 86 unités industrielles, seules 8 ont leur propre station d'épuration (Kherraz, 2008). Toute cette industrie est localisée essentiellement, en bordure de l'oued Meboudja, qui est un affluent de la Seybouse, et sur l'oued Seybouse.

Eu égard de ses terres, les plus fertiles d'Algérie, une agriculture variée occupe l'ensemble de la basse plaine de la Seybouse. Les principales activités présentes sont : l'élevage de bovin et la polyculture. Les cultures maraîchères, les cultures industrielles (tomates et tabac), les cultures fourragères, les céréales et l'arboriculture fruitière se côtoient en fonction des disponibilités en eau (Abdelguerfi et al., 2005 ; Derradji et al., 2004 et Debieche, 2002). Long de 240 km, l'oued parcourt plus de 86 communes et 7 wilayas dont les eaux usées domestiques y sont rejetées, sans prétraitements, faute de station d'épuration (Kherraz, 2008). L'ensemble de ces activités anthropiques sont génératrices d'une quantité importante de rejets de nature bien diversifiée. Tous ces rejets telluriques, de diverses natures et en quantités variables confluent au niveau de la Seybouse maritime avant de déboucher dans le littoral.

L'oued Mafregh, loin de toute activité anthropique, cette station est prise comme témoin du bon état écologique d'un hydrosystème.

La plage de Jouanoville, ce point de prélèvement marin a été sélectionné en tant que témoin des introductions directes des effluents liquides du complexe d'Asmidal.

2. 3. Échantillonnage

Afin de suivre l'évolution spatio-temporelle (variations annuelles et saisonnières) des rejets telluriques au Golfe d'Annaba, un suivi des descripteurs indicateurs du phénomène d'eutrophisation ont été retenus (neuf dans notre cas) et suivis pendant deux années (2002–2004) pour les émissaires les plus importants : les oueds Bouhamra (côté aval), la Seybouse et Asmidal B.P. La station de la plage de Jouanoville a été suivie durant l'année 2002–2003. Tandis que les autres stations : Asmidal annexe, Asmidal Est et Bouhamra amont ont été suivies pendant l'année 2003–2004. À l'abri de toute activité anthropique, l'oued Mafregh a été pris, au cours de l'année 2003–2004, comme témoin du bon état écologique, d'un écosystème limnique. Les échantillons d'eau ont été prélevés de manière bimensuelle durant les deux années d'étude.

En vu d'apprécier les concentrations en micropolluants organiques (multirésidus de pesticides) et minéraux (éléments traces métalliques) dans les eaux et les sédiments, un échantillonnage saisonnier a été réalisé durant l'année 2009–2010 : une campagne en octobre 2009 (période automnale), une campagne en février 2010 (période hivernale), une campagne en mai 2010 (période printanière) et une campagne en août 2010 (période estivale).

Les échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés dans quatre stations (oued Bouhamra, oued Seybouse, Asmidal annexe et Asmidal B.P.) et transportés au laboratoire LABOCEA (ex IDHESA Bretagne Océane) pour analyse.

Ainsi, huit stations représentatives des différents sites et accessibles ont été sélectionnées.

- Pour le site du complexe d'Asmidal, nous avons pris 4 points de prélèvements : Asmidal B.P., Asmidal annexe, Asmidal Est et la plage de Jouanoville.
- Dans le site de l'oued Bouhamra, deux stations ont été sélectionnées : une station située du côté amont de l'oued, nommée Bouhamra amont et symbolisée par Bouh amont. Cette dernière reçoit principalement les eaux usées domestiques de toute la plaine ouest de la ville. Une deuxième station localisée plus en aval de l'oued, dite Bouhamra aval et symbolisée par Bouh aval. Elle reçoit en plus des rejets d'eaux usées domestiques, les effluents liquides de l'abattoir et du complexe d'Asmidal, avant de finir dans le littoral.
- Concernant le site de l'oued Seybouse, nous avons pris un point de prélèvement représentant l'interface (milieu de rencontre entre les eaux douces et marines). Cette

station est située à environ 100 mètres de l'embouchure de l'oued où confluent tous les rejets terrigènes avant de déboucher dans la mer. Cette station est dite la Seybouse maritime, symbolisée par Seybouse.

- Pour finir, un dernier prélèvement représentatif de l'oued Mafregh a été pris à l'interface.

2. 4. Conservation des échantillons

Les échantillons d'eau destinés aux dosages des nutriments sont prélevés dans des bouteilles en polyéthylène propres, rincées à trois reprises par l'eau à échantillonner puis remplies complètement en évitant le barbotage (Rodier et al., 2009 ; Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2006).

Les échantillons d'eau destinés au dosage des multi résidus de pesticides sont prélevés dans des bouteilles ambrées préalablement nettoyées, séchées à l'étuve à 105°C puis testées négatives par rapport aux résidus de pesticides recherchés (Gbaguidi et al., 2011 ; Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2006). Tandis que les eaux destinées au dosage des E.T.M. sont filtrées à travers une membrane filtrante de 0,45 µm, préalablement lavée à l'acide nitrique à 1% et abondamment rincée à l'eau distillée. Le filtrat obtenu est immédiatement acidifié à l'acide nitrique concentré à un pH < 2 (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2006).

Les sédiments superficiels (0-5 cm) destinés aux dosages des E.T.M. sont prélevés par une écope en plastique et stockés dans des flacons en polyéthylène (Schiaivone et al., 2011). Cependant les échantillons de sédiments prévus pour le dosage des multi résidus de pesticides sont emballés dans du papier aluminium préalablement nettoyés au solvant (Gbaguidi et al., 2011).

Tous les échantillons d'eau et de sédiments collectés sont au fur et à mesure placés dans des glacières où ils sont conservés au frais à 4°C et à l'abri de la lumière. Une fois au laboratoire, les échantillons d'eau sont placés au réfrigérateur à 4°C. Les sédiments sont conservés au congélateur à - 20°C, jusqu'à analyse.

2.5. Justifications du choix des divers descripteurs recherchés

Le Golfe d'Annaba constitue le milieu récepteur final d'innombrables rejets telluriques de nature chimique très variée, issus des activités anthropiques d'une ville fortement urbanisée et industrialisée. Pour essayer d'apprécier la qualité physico-chimique et le degré de fertilisation de ce flux tellurique, nous avons ciblé des descripteurs indicateurs du phénomène d'eutrophisation. Sachant que toute pollution est source potentielle d'eutrophisation.

Nous nous sommes donc, focalisés pour estimer l'évolution et le devenir de ces matières enrichissantes et polluantes sur un suivi systématique des sels nutritifs ou nutriments (NH₄⁺,

NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}), des matières organiques (DBO_5), du degré de minéralisation des eaux et de la température, qui influe de manière notable sur les phénomènes d'ionisation, la dégradation des matières organiques et le taux d'oxygène dissous dans le compartiment aquatique.

Sachant aussi, que ces rejets terrigènes sont potentiellement accompagnés de composés chimiques à caractère biocide, une analyse des micropolluants organiques et minéraux s'est avérée nécessaire.

Les micropolluants organiques dosés sont : les insecticides organochlorés, les insecticides organophosphorés, les herbicides, les fongicides et autres pesticides.

Les métaux lourds se caractérisent par leur rémanence, leur haute toxicité et leur pouvoir d'accumulation dans le milieu naturel et les chaînes trophiques. De plus, ils peuvent être transportés dans l'atmosphère et se déposer dans des régions éloignées du lieu d'émission. Ils appartiennent (à l'exception du Nickel) à la liste des substances toxiques et dangereuses de la désignation des déchets industriels dangereux faite par la CEE (Directive du conseil n°78-319 du 20 mars 1978).

Les engrais chimiques (les engrais phosphatés, les superphosphates...) et les produits phytosanitaires (pesticides, insecticides, herbicides, fongicides, etc.) renferment une quantité importante d'éléments traces métalliques. Les principaux micropolluants minéraux (éléments traces métalliques) dosés sont : l'Aluminium, l'Arsenic, le Baryum, le Cadmium, le chrome total, le cuivre, le Fer total, le Manganèse, le Nickel, le Plomb, le Sélénium, l'Etain et le Zinc.

2. 6. Les diverses mesures et méthodes analytiques utilisées

En vue d'apprécier la qualité physico-chimique des différentes eaux douces et marines, des mesures *in situ* de la température et de la salinité ont été effectuées à l'aide d'un thermosalinomètre du type Kent EIL 5005. Au laboratoire, la conductivité a été mesurée par un conductimètre de paillasse, la DBO_5 a été mesuré par un DBO mètre (Oxitop IS 6 WTW) et les dosages des divers descripteurs ont été réalisés selon les diverses méthodes analytiques suivantes :

2. 6. 1. Dosage des sels nutritifs

Plus de 2565 analyses physico-chimiques ont été effectuées. Les différentes méthodes d'analyses spectrométriques adoptées pour le dosage des nutriments (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- et PO_4^{3-}) sont celles préconisées par Aminot et Chaussepied (1983) ; Aminot et Kérouel (2004) et Rodier *et al.* (2009) (annexe III).

les références prises en terme d'évaluation de la qualité de l'eau sont basées principalement sur :

- Les normes algériennes pour les eaux superficielles, établies par l'Agence du Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue (ABHCSM) (2002).
- Les normes de qualité des eaux superficielles françaises (Rodier *et al.*, 2009 ; Rodier *et al.*, 2005).
- le système français d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau) préconisée par les agences de l'eau (2003) pour les eaux brutes (version 2).
- La grille CQEL (classe de qualité des eaux littorales) qui se rapporte à la qualité générale des eaux de mer établie en 1993 par le groupe CQEL pour le compte du Ministère de l'Environnement Français.
- La grille provisoire des lecture des eaux saumâtres utilisée par la CQEL de charente Maritime (agence française de l'eau, 2001). Elle résulte des grilles eau douce et eau de mer .

2. 6. 2. Dosage des micropolluants organiques

l'analyse des multi résidus de pesticides dans les eaux et les sédiments, des diverses stations, a été réalisée, au laboratoire LABOCEA, selon deux méthodes complémentaires :

1. Extraction solide liquide en ligne couplée à une chromatographie liquide et spectrophotomètre de masse (CPL/MS)
2. Extraction liquide/liquide puis analyse en chromatographie gazeuse couplée à un spectrophotomètre de masse (CPG/MS) (Mode SIM : Selected ion monitoring).

Les références prises en terme d'évaluation de la qualité de l'eau sont basées sur :

- Le système français d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau) préconisée par les agences françaises de l'eau (2003) pour les eaux brutes (version 2).
- La circulaire du 7 mai 2007 DCE/23 définissant les "normes de qualité environnementales provisoires (NQE_p)" pour les eaux superficielles françaises (Rodier *et al.*, 2009).
- En outre, nous tenons à préciser que les concentrations en multirésidus de pesticides trouvées dans l'eau des stations marines (Asmidal B.P. et Asmidal annexe) sont comparées au SEQ "Littoral" (Système de classification pour l'évaluation de la qualité des eaux littorales : grille d'aptitude aux usages et à la biologie, IFREMER 2002) qui oriente pour les contaminants organiques vers la prise en compte des NQE_p.

Les références prises en terme d'évaluation de la qualité des sédiments sont :

- Le SEQ-Eau : système français d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau, recommandé par les agences de l'eau (2003) pour les eaux brutes (version 2), pour apprécier la qualité des sédiments des eaux douces.
- La qualité des sédiments marins est évaluée à partir de deux grilles :
 1. la grille établie par le Groupe d'Étude et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement : GÉODE (arrêté interministériel du 14 juin 2000, J.O.10.80).
 2. la grille d'évaluation du niveau de contamination chimique sur le littoral français fournie par le réseau national d'observation (RNO, IFREMER 1993).

2. 6. 3. Dosages des éléments traces métalliques (ETM)

Les analyses des micropolluants minéraux, dans les eaux et les sédiments des diverses stations, ont été réalisées, au laboratoire LABOCEA, selon trois méthodes :

- Polarographie pour le dosage des éléments traces métalliques (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni) présents dans les stations marines (Asmidal B.P. et Asmidal annexe).
- ICP (spectrométrie de plasma à couplage inductif) pour l'analyse des micropolluants minéraux présents dans les stations d'eau douce (l'oued Bouhamra et l'oued Seybouse).
- L'arsenic (As) est dosé par fluorescence atomique.

Les références prises en terme d'évaluation de la qualité de l'eau sont basées sur :

1. le système français d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau) préconisée par les agences de l'eau (2003) pour les eaux brutes (version 2).
2. La circulaire du 7 mai 2007 DCE/23 définissant les "normes de qualité environnementales provisoires (NQE_p)" pour les eaux superficielles françaises (Rodier et *al.*, 2009).
3. La qualité de l'eau des stations marines (Asmidal annexe et Asmidal B.P.) est évaluée par rapport aux NQE_p qui s'appliquent au SEQ "Littoral" (système de classification pour l'évaluation de la qualité des eaux littorales : grille d'aptitude aux usages et à la biologie, IFREMER 2002).

Les références prises en terme d'évaluation de la qualité des sédiments sont :

1. La qualité des sédiments des eaux douces est estimée à partir du SEQ-Eau (2003) établi par les agences françaises de l'eau pour les eaux brutes (version 2).
2. La qualité des sédiments marins est évaluée à partir de la grille établie par le Groupe d'Étude et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement : GÉODE (arrêté interministériel du 14 juin 2000, J.O.10.80).

CHAPITRE 2. Matériel et méthodes

Pour finir, les E.T.M. ont été classés selon leur degré de toxicité (substances prioritaires dangereuses, substances prioritaires et substances pertinentes) figurant dans l'annexe X de la directive cadre de l'eau (DCE) et la liste II de la directive 76/464/ CEE.

Dans ce chapitre, nous allons exposer et interpréter les résultats relatifs aux fluctuations spatio-temporelles des différents descripteurs physico-chimiques et biochimiques, durant les deux années d'étude (2002-2004), dans l'eau des différentes stations.

3. 1. Variations moyennes annuelles des descripteurs physico-chimiques et biochimiques des eaux des différentes stations

Suite à plus de 2565 analyses physico-chimiques effectuées, les résultats obtenus sont hétérogènes d'une station à l'autre mais tous concourent à mettre en relief, l'état de dégradation relativement avancé des différents systèmes limniques.

les références prises en terme d'évaluation de la qualité des eaux douces se baseront principalement sur :

- Les normes algériennes pour les eaux superficielles, établies par l'Agence du Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue (ABHCSM) (2002).
- Les normes de qualité des eaux superficielles françaises (Rodier, 2009 ; Rodier, 2005).
- le système français d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau) préconisée par les agences de l'eau (2003) pour les eaux brutes (version 2).

Cependant, les références adoptées pour l'estimation de la qualité des eaux marines sont :

- La grille CQEL (classe de qualité des eaux littorales) qui se rapporte à la qualité générale des eaux de mer établie en 1993 par le groupe CQEL pour le compte du Ministère de l'Environnement français.
- La grille provisoire des lecture des eaux saumâtres utilisée par la CQEL de Charente Maritime (agence française de l'eau, 2001). Elle résulte des grilles eau douce et eau de mer .

3. 1. 1. Station de l'oued Bouhamra aval

Un suivi des caractéristiques physico-chimiques de l'oued a été réalisé durant deux ans (2002-2004) pour la partie avale (interface), nommée Bouhamra aval, qui débouche dans le littoral. Un suivi d'une année (2003-2004) a été fait pour la partie amont de l'oued (Bouhamra amont). Généralement, toutes les concentrations des descripteurs étudiés fluctuent de manière importante, durant toute la période d'étude (cf. tableau 1).

CHAPITRE 3. Résultats et discussion des variations moyennes annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Tableau 1. Résultats moyens annuels des descripteurs physico-chimiques de l'eau de l'oued Bouhamra (côtés aval et amont)

Descripteurs P.C.	Concentrations					Min-Max	ABHCSM (2002)	SEQ-Eau (2003)	Rodier (2005)	Rodier (2009)
	Année 2002	Année 2003		Année 2004						
	Bouh aval	Bouh aval	Bouh amont	Bouh aval	Bouh amont					
NH ₄ ⁺ (mg.l ⁻¹)	3,3	2,00	1,00	2,34	2,00	1 – 3,3	0,5	0,5	1,5 - 4	0,5 – 1
NO ₂ ⁻ (mg.l ⁻¹)	0,16	0,14	0,07	0,18	0,09	0,07- 0,18	0,3	0,3	-	0,5
NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)	0,1	0,12	0,1	0,12	0,12	0,1-0,12	25	10	50	50
PO ₄ ³⁻ (mg.l ⁻¹)	2,6	1,03	2,20	4,18	1,28	1,03 – 4,18	0,5	0,5	0,7	0,5
T°C	21,5	20,3	17,25	15,00	15,00	15 – 21,5	-	25,5	22 - 25	25
DBO ₅ (mg.l ⁻¹)	92,9	8,46	54,29	29,00	35,00	8,46 – 92,9	5	6	<5 - <7	7
CE (μS.cm ⁻¹)	61377,03	39247,8	6819,93	29250,00	5963,88	5963,88 – 61377,03	-	3000	1000	2000
Minéral (mg.l ⁻¹)	58252,00	37249,37	5784,26	27769,05	5425,74	5425,74 – 58252	-	3000	-	1200
S ‰	23,1*	14,24*	2,73*	9,4*	2,39*	2,73 – 23,1	-	-	-	-

Descripteurs P.C. : descripteurs physico-chimiques ; Bouh aval : aval de la station de l'oued Bouhamra ; Bouh amont : amont de la station de l'oued Bouhamra ; NH₄⁺ : ammonium ; NO₂⁻ : nitrites ; NO₃⁻ : nitrates ; PO₄³⁻ : phosphates ; T°C : température en degré Celsius ; DBO₅ : demande biochimique en oxygène après cinq jours d'incubation ; CE : conductivité électrique ; Minéral : minéralisation ; S ‰ : salinité pour mille ; chiffres avec * : pas de normes ; - : pas de normes ; chiffre en gras : dépasse la norme ; Min-Max : valeurs minimales et maximales ; ABHCSM (2002) : normes algériennes établies par l'agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; normes de qualité des eaux douces superficielles (Rodier, 2005) ; normes de qualité des eaux de surface (Rodier et al., 2009).

Les concentrations en sels nutritifs varient de manière remarquable d'une année à l'autre, particulièrement les teneurs en NH_4^+ et PO_4^{3-} (Figure 6).

3. 1. 1. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-)

L'ammonium (NH_4^+) est présent dans l'eau de l'oued durant les deux années d'étude. Ses concentrations varient de 2 mg.L^{-1} à $3,3 \text{ mg.L}^{-1}$ (cf. tableau 1).

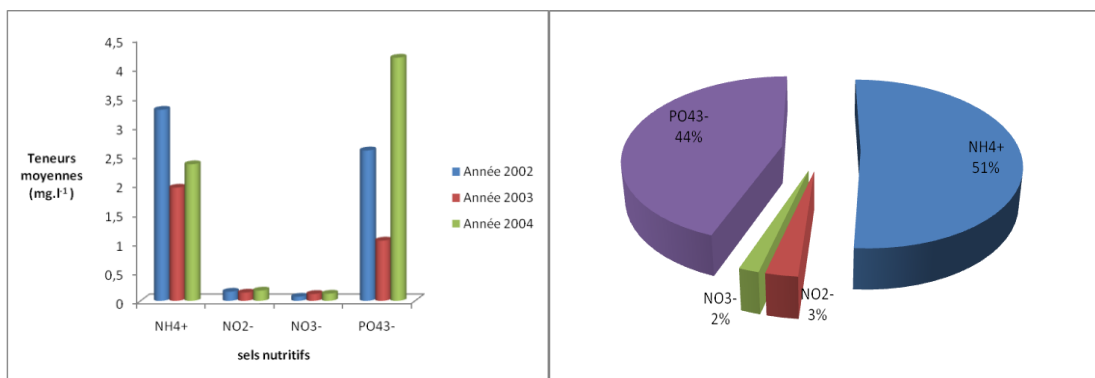


Figure 6. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (années 2002–2004)

Figure 7. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (années 2002–2004)

Selon la figure 6, nous remarquons que l'année 2002 a enregistré les concentrations les plus élevées en azote ammoniacal ($3,3 \text{ mg.L}^{-1}$). Une nette diminution des teneurs (2 mg.L^{-1}) est observée durant l'année 2003. Une légère hausse ($2,34 \text{ mg.L}^{-1}$) est observée au cours de l'année 2004 (cf. tableau 1).

L'ammonium est donc omniprésent durant les deux années d'étude. Il présente 51 % des sels nutritifs (Figure 7) et 92 % de la fraction azotée (Figure 8). Ses concentrations sont relativement élevées et dépassent largement les limites de l'ABHCSM, du SEQ–Eau et celles des eaux superficielles françaises. L'eau de l'oued est détériorée, d'aptitude mauvaise à la biologie et aux usages (production d'eau potable) selon le SEQ–Eau et de qualité médiocre selon l'ABHCSM.

Les concentrations en ions nitreux (NO_2^-) paraissent constantes durant les deux années d'étude (Figure 6). La teneur la plus élevée ($0,18 \text{ mg.L}^{-1}$) a été rencontrée durant l'année 2004 (cf. tableau 1). Ils constituent 3 % des sels nutritifs et 5 % de la fraction azotée (Figures 7 et 8). Leurs concentrations dans l'oued sont faibles et restent dans les limites des différentes normes retenues (cf. tableau 1).

Les concentrations en nitrates (NO_3^-) paraissent constantes durant les années de l'étude (Figure 6). La concentration la plus basse ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$) est enregistrée durant l'année 2002 (cf. tableau 1). Cette dernière a enregistré les températures moyennes les plus élevées ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) et les

précipitations les plus basses (699,5 mm) (Office National de Météorologie (ONM), Annaba 2012).

Les NO_3^- constituent 2 % des sels nutritifs (Figure 7) et 3 % de la fraction azotée (Figure 8). Leurs teneurs sont faibles et bien en dessous des normes retenues (cf. tableau 1).

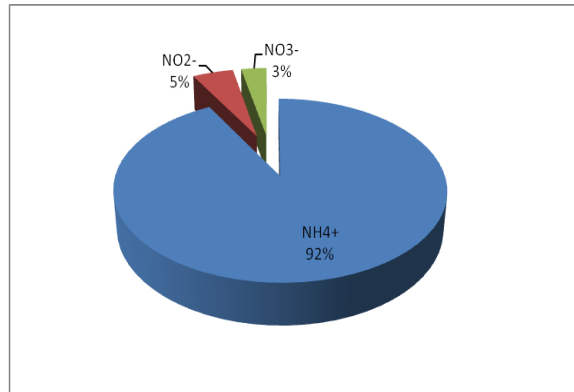


Figure 8. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (années 2002–2004)

Selon Rodier (2009), immédiatement en aval des foyers de pollution, les teneurs en NH_4^+ sont souvent de l'ordre de 0,5 à 1 mg.L^{-1} tandis que les teneurs en NO_2^- et en NO_3^- sont relativement faibles.

La concentration en NH_4^+ de l'oued Bouhamra aval équivaut le triple des valeurs citées antérieurement (0,5 à 1 mg.L^{-1}) et les teneurs en NO_2^- et NO_3^- sont faibles, durant toute la période d'étude. Ceci témoigne d'une pollution accrue de l'eau par la matière organique qui peut avoir différentes origines (matières végétales du cours d'eau, la matière organique animale ou humaine, les rejets industriels, les engrais, les eaux usées domestiques...). Les teneurs faibles en NO_2^- et NO_3^- peuvent mettre en relief, les conditions réductrices du milieu. Ce déficit en oxygène freine, de manière plus ou moins importante, le processus de dégradation des matières organiques et favorise le processus d'ammonification. Les teneurs importantes en NH_4^+ trouvés constituent un indice de pollution par des rejets d'origine humaine ou industrielle (industries chimiques, engrais azotés, etc.) (Savary, 2003).

3. 1. 1.2. Les phosphates (PO_4^{3-})

Les PO_4^{3-} constituent 44 % du total des sels nutritifs (Figure 7), ils viennent en seconde position après l' NH_4^+ . La concentration la plus élevée (4,18 mg.L^{-1}) a été trouvée durant l'année 2004 (Figure 6). Ses teneurs restent élevées durant les deux années d'étude et excèdent toutes les normes retenues (cf. tableau 1). Par rapport au SEQ–Eau, l'eau est altérée, de très mauvaise

aptitude à la biologie et aux usages (aquaculture). Elle est excessivement polluée selon l'ABHCSM.

Selon Rodier (2009), des teneurs en PO_4^{3-} supérieures à $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ constituent un indice de pollution. Les teneurs moyennes en PO_4^{3-} durant les deux années d'étude sont bien supérieures à cette valeur. Ceci met en évidence la pollution de l'eau de l'oued par les matières organiques.

D'après Savary (2003), des teneurs en PO_4^{3-} supérieures à $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ favorisent la prolifération des algues qui conduisent à l'eutrophisation des lacs, des cours d'eau. Il en résulte une véritable dégradation de la vie aquatique qui peut compromettre l'utilisation de cette eau en vue de la production d'eau potable. L'eau de l'oued Bouhamra aval est polluée et eutrophe.

3.1.1.3. La températures ($T^\circ\text{C}$)

Les valeurs de la température, varient de 15°C à $21,5^\circ\text{C}$ et restent dans les normes du SEQ-Eau (cf. tableau 1).

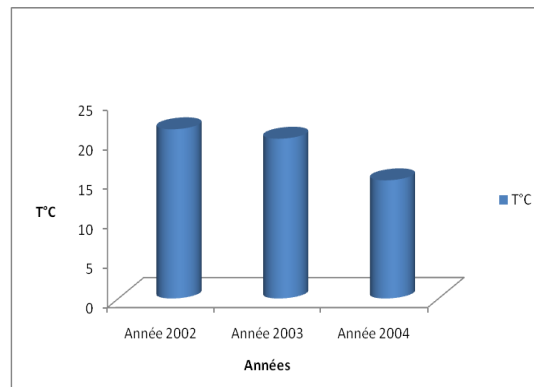


Figure 9. Valeurs moyennes annuelles des températures (années 2002–2004)

Les températures, enregistrées durant la période d'étude, semblent être constantes durant l'année 2002 et l'année 2003. Cependant, nous remarquons une légère baisse au cours de l'année 2004 (Figure 9), consécutive à un apport en pluie qui a relativement rafraîchi l'atmosphère (ONM, Annaba 2012).

3.1.1.4. La demande biochimique en oxygène (DBO_5)

La consommation en oxygène dissous, par les micro organismes aérobies, nécessaire à la dégradation des matières organiques biodégradables est importante et varie de manière notable, de $8,46 \text{ mg.L}^{-1}$ à $92,9 \text{ mg.L}^{-1}$ (cf. tableau 1).

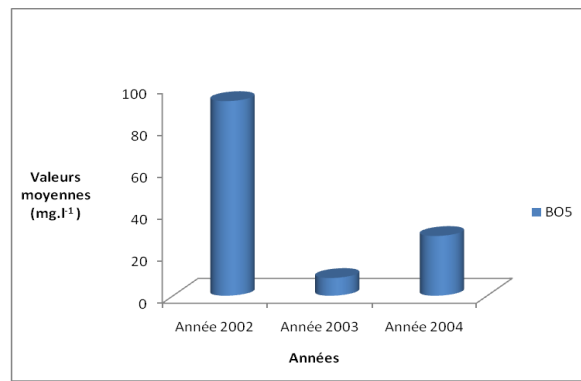


Figure 10. Valeurs moyennes annuelles de la DBO₅ (années 2002–2004)

Selon la figure 10, l'année 2002 a marqué la valeur la plus élevée (92,9 mg.L⁻¹). Durant l'année 2003, nous observons une chute drastique de la DBO₅ (8,46 mg.L⁻¹). En 2004, la valeur a augmenté de façon relativement notable (29 mg.L⁻¹) (cf. tableau 1). Malgré ces différences significatives des valeurs de la DBO₅ d'une année à l'autre, elle reste bien supérieure aux normes de qualité retenues. L'eau est altérée, présente une très mauvaise aptitude à la biologie et aux usages (production d'eau potable et aquaculture) vis-à-vis du SEQ–Eau et sujette à une pollution excessive d'après l'ABHCSM.

Selon Ramade (1998), la DBO₅ constitue une mesure de la pollution des eaux par les matières organiques. Elle traduit, d'après Rodier (2009), les phénomènes d'autoépuration naturelle dans les eaux superficielles résultent de la dégradation des charges organiques polluantes sous l'action de micro-organismes. Il en résulte une consommation d'oxygène qui s'exprime par la demande biochimique en oxygène ou DBO₅. La dégradation des matières organiques, biodégradables, requiert une importante consommation d'oxygène dissous dont la conséquence est une déplétion de la teneur en oxygène des eaux. Cette désoxygénation des eaux peut aboutir avec le temps à une anaérobiose généralisée caractéristique des systèmes aquatiques eutrophes (Rodier, 2009).

Dans notre cas, nous constatons que les valeurs élevées en DBO₅ reflètent une pollution importante de l'eau par les matières organiques fermentescibles, particulièrement durant l'année 2002 (Figure 10). La chute significative des valeurs de la DBO₅ au cours de l'année 2003 et 2004, n'exprime pas forcément, une amélioration des conditions du milieu et une meilleure dégradation des matières organiques. Cette hypothèse est à écarter car les valeurs de la DBO₅ reste toujours supérieures aux diverses normes retenues. Cette diminution de la DBO₅ peut être expliqué par l'inhibition de l'activité des micro-organismes, qui peut avoir pour cause

l'asphyxie des eaux et/ou la présence de substances toxiques dans le milieu, issues des effluents anthropiques (domestiques, agricoles et industriels). Les teneurs excessivement élevées en NH_4^+ et en PO_4^{3-} traduisent une mauvaise dégradation des matières organiques. Les teneurs faibles en azote oxydée (NO_2^- et NO_3^-) viennent conforter l'hypothèse de l'asphyxie des eaux.

Enfin, nous pouvons avancer que le pouvoir autoépurateur du milieu récepteur diminue au fur et à mesure que les années passent.

3. 1. 1. 5. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est proportionnelle au degré de minéralisation des eaux et varie avec la température. Les variations de ce descripteur reflète une évolution des conditions hydrogéologiques ou environnementales du milieu aquatique.

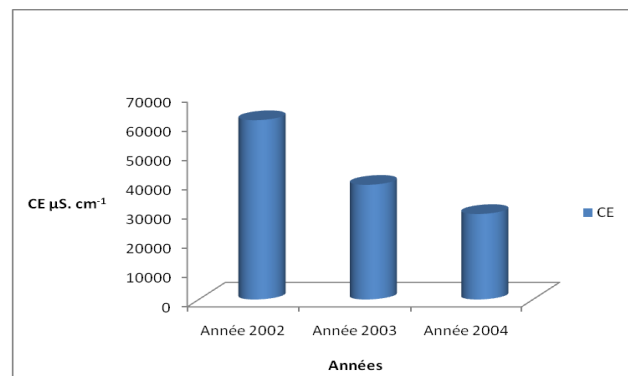


Figure 11. Valeurs moyennes annuelles de la CE (années 2002–2004)

Les valeurs de la CE varient de manière importante d'une année à l'autre (Figure 11). Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au cours de l'année 2002 ($61377,03 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) (cf. tableau 1). Ensuite, nous observons une diminution progressive durant les années 2003 et 2004. Néanmoins, les valeurs obtenues dépassent largement les normes et mettent en évidence une situation anormale du cours d'eau. Selon le SEQ–Eau, l'eau de l'oued est altérée et a une très mauvaise aptitude aux usages (production d'eau potable).

Les valeurs de la CE, nous permettent d'apprécier la concentration en sels minéraux nutritifs du milieu aquatique. L'eutrophisation est un processus évolutif de vieillissement du milieu limnique. Elle est caractérisée par un enrichissement en sels nutritifs (P et N) du milieu limnique, qui est à l'origine d'une prolifération démesurée d'algues. La prolifération du phytoplancton est à l'origine d'un accroissement de la turbidité et de la demande biochimique en oxygène (DBO_5). La mort des algues provoquant une désoxygénation croissante et désastreuse des eaux, jusqu'à désoxygénation totale du milieu. L'asphyxie de l'eau aura pour

conséquence, une diffusion de produits toxiques (H_2S , NH_3 et CH_4) et de sels minéraux (Fe^{2+} , Mn^{2+} et PO_4^{3-}) (Gaujous, 1995 ; Ramade, 1998 ; Savary 2003 ; Ramade 2008 et Rodier, 2009). Les valeurs de la CE obtenues au cours des années d'étude, mettent bien en relief une hyperfertilisation des eaux de l'oued Bouhamara aval en sels nutritifs (NH_4^+ et PO_4^{3-}). La conséquence de cette importante fertilisation est l'eutrophisation voire la dystrophisation ou l'hyperculture de l'oued.

3. 1. 1. 6. La minéralisation

La minéralisation traduit la teneur global en espèces minérales, généralement ionisées. Elle est proportionnelle à la conductivité électrique.

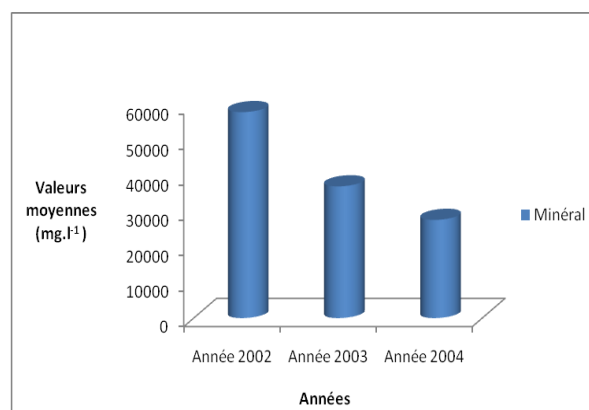


Figure 12. Valeurs moyennes annuelles de la minéralisation (années 2002–2004)

Les valeurs de la minéralisation sont relativement élevées d'une année à l'autre (Figure 12). La valeur la plus importante (58252 mg.L^{-1}) est observée durant l'année 2002 (cf. tableau 1). malgré la diminution progressive notée au cours des années suivantes, la minéralisation reste élevée et ses valeurs excèdent les normes. Selon le SEQ–Eau, l'eau est altérée et montre une très mauvaise aptitude aux usages (production d'eau potable).

La minéralisation est très liée à la CE car elle désigne la teneur totale d'une eau en sels minéraux dissous (Ramade, 1998 et Rodier, 2009). Elle désigne aussi, le processus biogéochimique transformant des matières organiques en substances minérales, essentiellement des sels minéraux au travers de divers processus de dégradation. Ces derniers ont lieu tant en milieu oxydant que réducteur (Ramade 1998 et Ramade, 2008).

Les valeurs de la minéralisation obtenues appuyent l'hypothèse de l'hyperfertilisation du milieu en sels nutritifs. La diminution de la minéralisation au fil du temps peut refléter une baisse du processus de dégradation de la matière organique. Ce qui peut expliquer les teneurs élevées en NH_4^+ et la régression du pouvoir autoépurateur (DBO_5) de l'oued.

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

3. 1. 1.7. La salinité

Comme la CE et la minéralisation, la salinité fluctue de manière appréciable d'une année à l'autre (Figure 13). Les taux obtenus oscillent entre 9,4 ‰ à 23,1 ‰ (cf. tableau 1).

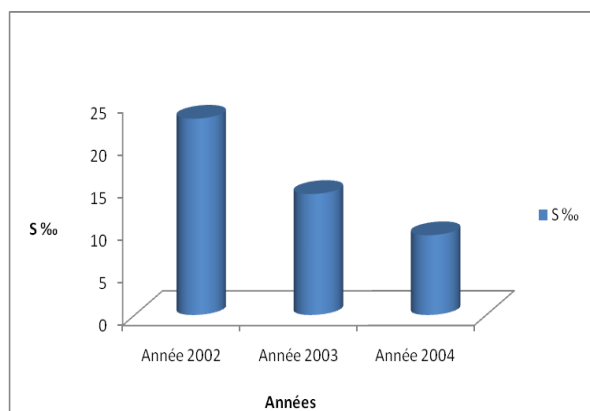


Figure 13. Valeurs moyennes annuelles de la salinité (années 2002–2004)

La valeur la plus élevée (23,1 ‰) a été enregistrée au cours de l'année 2002 (cf. Figure 13). Une diminution progressive de la salinité est observée durant les années 2003 et 2004 suite à des précipitations un peu plus étoffées : 715,3 mm pour l'année 2003 et 837,7 mm pour l'année 2004 (ONM d'Annaba, 2012).

Comme la CE et la minéralisation, la salinité représente la teneur en sels, principalement NaCl (Ramade, 1998).

En se référant aux descripteurs les plus déclassant, nous avons pu classer l'eau comme suit :

Tableau 2. Qualité de l'eau de l'oued Bouhamra aval par rapport aux descripteurs physico-chimiques

Descripteurs Physico-chimiques	SEQ-Eau	ABHCSM (2002)	Rodier (2005)	Rodier (2009)
Ammonium (NH ₄ ⁺)		Médiocre	2 X supérieure	7 X supérieure
Nitrites (NO ₂ ⁻)		Dans la norme	Dans la norme	Dans la norme
Nitrates (NO ₃ ⁻)		Dans la norme	Dans la norme	Dans la norme
Phosphates (PO ₄ ³⁻)		Pollution excessive	6 X supérieure	8 X supérieure
Température (T°C)		Dans la norme	Dans la norme	Dans la norme
DBO ₅		Pollution excessive	19 X supérieure	13 X supérieure
Conductivité (CE)		–	61 X supérieure	31 X supérieure
Minéralisation		–	–	49 X supérieure
Salinité (S ‰)	–	–	–	–

Vert : bonne ; orange : mauvaise ; rouge : très mauvaise ; DBO₅ : demande biochimique en oxygène durant 5 jours d'incubation ; – : pas de normes ; ABHCSM (2002) : normes algériennes établies par l'agence de bassin hydrographique Constantinois–Seybouse–Mellegue ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; Rodier (2005–2009) : les normes de qualité pour les eaux superficielles françaises.

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Selon le SEQ–Eau et les normes de qualité des eaux superficielles algériennes et françaises, nous pouvons dire que l'eau de l'oued Bouhamara aval est mauvaise à très mauvaise. Les teneurs en PO_4^{3-} et en NH_4^+ sont très élevées ainsi que les valeurs de la DBO_5 , ce qui témoigne de la présence d'une pollution organique accrue (cf. tableau 2).

Les valeurs élevées de la minéralisation et de la CE attestent d'un enrichissement de l'eau de l'oued en sels minéraux nutritifs, essentiellement les PO_4^{3-} et l' NH_4^+ .

Les ions PO_4^{3-} contenus dans les eaux de surface peuvent être d'origine naturelle (produits de décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux), mais à l'heure actuelle, leur présence dans les eaux est essentiellement due aux rejets, domestiques (polyphosphates des détergents), agricoles (engrais, pesticides), voire industriels (agroalimentaires, laveries, ateliers de traitement de surface..) (Savary, 2003). Il existe une excellente corrélation entre la teneur en phosphore et la productivité primaire des écosystèmes limniques (Ramade, 1989). Des teneurs supérieures à $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$ favorisent la prolifération des algues qui conduisent à l'eutrophisation (dystrophisation) des lacs, des cours d'eau...(Savary, 2003). Le développement démesuré des algues, réduit le passage de la lumière, accroît la demande biochimique en oxygène (DBO_5). La mort des algues provoque une désoxygénation (asphyxie du milieu aquatique) croissante et désastreuse du milieu limnique (Ramade, 1998 ; Rodier, 2009). La vie aquatique subit une véritable dégradation qui peut compromettre l'utilisation de ces eaux (Savary, 2003). Dans ces conditions d'anaérobiose totale, l'activité microbiologique aérobie (DBO_5) est nettement défavorisée. La matière organique est partiellement décomposée, d'où les teneurs élevées en NH_4^+ . Le processus de fermentation prend alors le dessus, et le dégagement de gaz nocifs (H_2S , CH_4 et NH_3) parachève la vie aquatique.

Enfin, nous pouvons avancer que l'eau de l'oued Bouhamara aval est de très mauvaise qualité pour la vie biologique ainsi que pour les usages (production d'eau potable et aquaculture). Elle est, en outre, sujette à une pollution organique excessive consécutive à une hypereutrophisation de l'eau.

3. 1. 2. La Station de Bouhamra amont

Les concentrations des paramètres physico-chimiques de l'eau fluctuent de manière notable durant l'année d'étude 2003–2004, (cf. tableau 1).

3. 1. 2. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-)

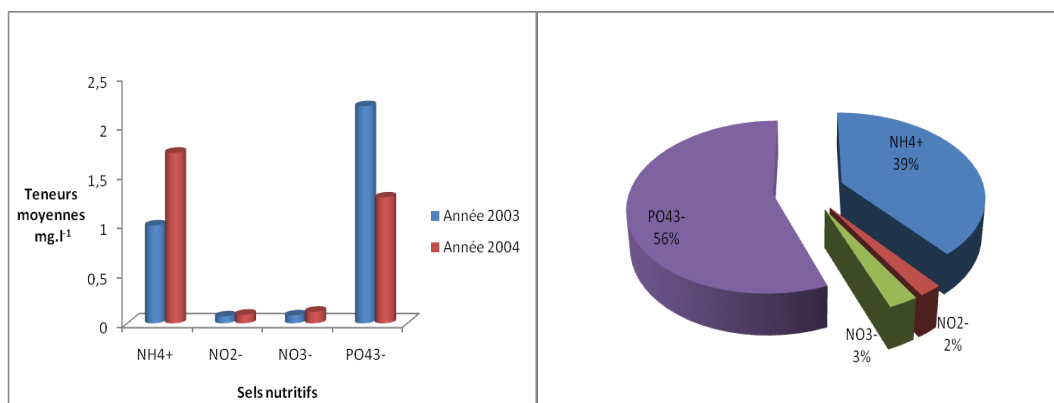


Figure 14. Teneurs moyennes annuelles des nutriments (année 2003–2004)

Figure 15. Pourcentages moyens annuels des nutriments (année 2003–2004)

Nous observons des fluctuations importantes des teneurs en nutriments durant l'année 2003–2004 (Figure 14).

Au cours de l'année 2003, la teneur en azote ammoniacal (NH_4^+) est élevée. Elle représente 39 % du total des nutriments (Figure 15) et 89 % de la fraction azotée (Figure 16). Sa concentration équivaut le double de la norme algérienne et le SEQ–Eau (cf. tableau 1). L'eau est de qualité médiocre (ABHCSM, 2009). Elle est altérée et montre une aptitude passable à la biologie et mauvaise aux usages (production d'eau potable) (SEQ–Eau, 2003).

Lors de l'année 2004, la teneur en NH_4^+ a doublé par rapport à l'année précédente (cf. Tableau 1). Ce qui suppose un accroissement des rejets dû à la croissance socio-économique effrénée que vit la ville d'Annaba. La norme algérienne, le SEQ–Eau et les normes des eaux superficielles françaises sont largement dépassées (cf. Tableau 1).

La fraction de l'azote oxydé (NO_2^- , NO_3^-) représente 5 % des nutriments (Figure 15) et 11 % de la matière azotée (cf. Figure 16). Les teneurs sont faibles pendant toute l'année et sont relativement constantes (Figure 14).

Nous notons une très légère hausse de la teneur en NO_3^- , durant l'année 2004, au détriment de l'azote nitreux (NO_2^-) (Figure 14). Cependant, dans tous les cas les concentrations en azote oxydé restent bien en dessous des normes retenues (cf. Tableau 1).

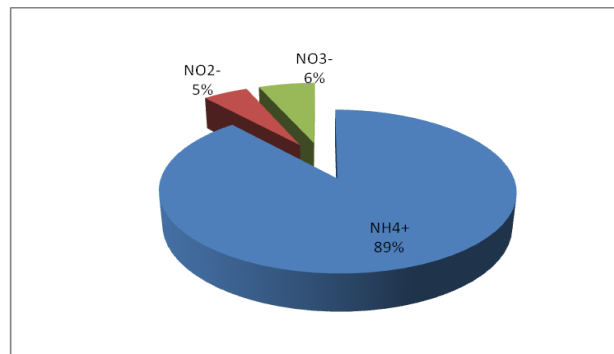


Figure 16. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (année 2003–2004)

Ces teneurs élevées en azote ammoniacal témoignent d'une mauvaise dégradation de l'azote organique. Le processus de nitrification est probablement freiné suite à un déficit en oxygène. Cette hypothèse peut être confirmée par les faibles teneurs en azote oxydé trouvées.

La station de l'oued Bouhamra amont subit une pollution organique importante suite aux conditions d'anoxie qui y règnent.

3. 1. 2. 2. les phosphates (PO_4^{3-})

Les PO_4^{3-} constituent 56 % du total des sels nutritifs (Figure 15). Les teneurs enregistrées durant l'année 2003 sont spectaculaires (Figure 14) et excèdent même les teneurs en NH_4^+ (cf. Tableau 1). Les concentrations trouvées au cours de cette année sont 3 à 4 fois supérieures aux limites de qualité fixées pour les eaux de surface (algériennes et françaises) et par le SEQ–Eau. L'eau de l'oued est détériorée et a une très mauvaise aptitude à la vie aquatique (SEQ–Eau, 2003) et sujette à une pollution excessive (ABHCSM, 2002).

Les teneurs ont chuté presque de moitié au cours de l'année 2004 (cf. Tableau 1 et Figure 14). Malheureusement, elles restent toujours supérieures aux normes de qualité relatives aux eaux de surface et au SEQ–Eau (cf. Tableau 1). La partie amont de l'oued Bouhamra est de mauvaise aptitude à la biologie.

Sachant que la partie amont de l'oued reçoit essentiellement, les rejets urbains domestiques et dans une moindre mesure les rejets industriels du complexe d'Asmidal. Nous pouvons attribuer, à priori, ces concentrations relativement élevées en phosphates aux rejets domestiques riches en détergents.

Les PO_4^{3-} sont plus abondants que l' NH_4^+ dans l'eau de l'oued Bouhamra amont.

3. 1. 2. 3. La température

Les températures enregistrées varient de 15 °C à 17,25 °C (cf. Tableau 1 et Figure 17).

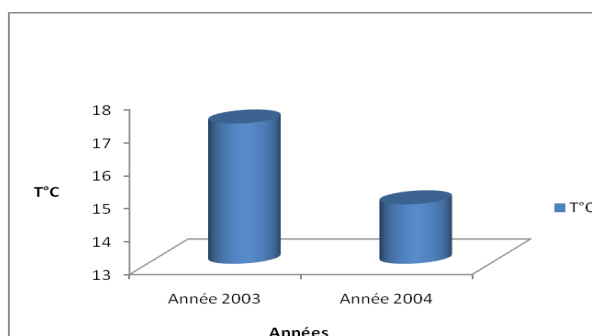


Figure 17. Fluctuations moyennes annuelles des températures (année 2003–2004)

Les températures trouvées restent dans les normes du SEQ–Eau et celles des eaux superficielles françaises (cf. Tableau 1). Cependant nous remarquons que les températures sont plus élevées, au cours de l’année 2003 que l’année 2004 (Figure 17).

3. 1. 2. 4. La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

Une consommation importante en oxygène est notée. Les valeurs obtenues varient de 35 mg.L⁻¹ à 54,29 mg.L⁻¹ (cf. Tableau 1).

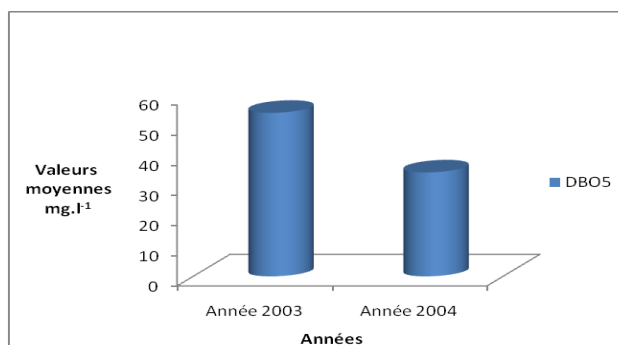


Figure 18. Fluctuations moyennes annuelles de la DBO₅ (année 2003–2004)

Les valeurs de la DBO₅ sont très élevées durant toute l’année (2003–2004) (cf. Tableau 1). L’année 2003 a enregistré les valeurs les plus élevées (Figure 18). Ces dernières sont 9 fois supérieures, aux limites du SEQ–Eau et 8 à 11 fois supérieures, aux normes des eaux de surface françaises et algériennes. L’eau est souillée, de très mauvaise aptitude à la vie biologique et aux usages (production d’eau potable et aquaculture).

L’année 2004 a enregistré des valeurs moindres par rapport à l’année précédente (Figure 18). Cependant, ces valeurs excèdent largement les limites fixées pour les eaux superficielles et celles du SEQ–Eau. L’eau est détériorée, présente une très mauvaise aptitude à la biologie et aux usages (production d’eau potable et aquaculture) (SEQ–Eau, 2003). Une pollution excessive caractérise l’oued (ABHCSM, 2002).

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Nous remarquons que l'activité microbiologique régresse avec le temps, provoquant une dégradation incomplète des matières organiques et leur accumulation dans l'oued.

3. 1. 2. 5. La conductivité électrique (CE)

La teneur en sels dissous est appréciable et fluctue de $5963,88 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ à $6819,93 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (cf. Tableau 1).

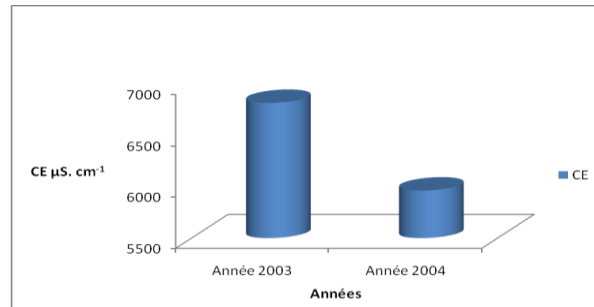


Figure 19. Variations moyennes annuelles de la CE (année 2003–2004)

Les valeurs les plus élevées de la CE ont été enregistrées durant l'année 2003 (Figure 19). Ces valeurs représentent le double de la limite recommandée par le SEQ–Eau et sont 3 à 7 fois supérieures aux normes fixées pour les eaux superficielles françaises. L'eau est dégradée et de très mauvaise aptitude aux usages (production d'eau potable) (SEQ–Eau, 2003).

Malgré, une diminution nette de la CE, au cours de l'année 2004 (Figure 19), les valeurs restent quand même élevées (cf. Tableau 1). Cette diminution des teneurs en sels nutritifs pourrait être attribuée soit à un apport de précipitations (837,7 mm), qui a favorisé leur dilution et leur assimilation par la biomasse aquatique. Soit à une carence en oxygène provoquant le ralentissement de la minéralisation des matières organiques.

3. 1. 2. 6. La minéralisation

La minéralisation évolue de la même manière que la CE, la concentration en sels dissous est notable et fluctue de $5425,74 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ à $5784,26 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (cf. Tableau 1).

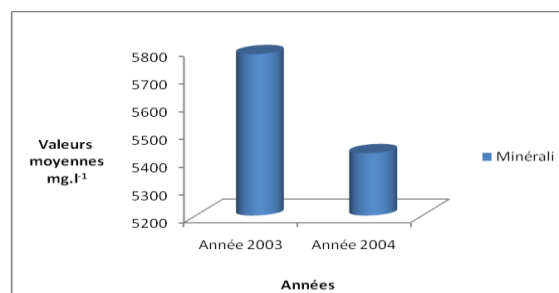


Figure 20. Variations moyennes annuelles de la minéralisation (année 2003–2004)

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

D'après la figure 20, nous observons que l'année 2003 a enregistré la valeur la plus élevée (cf. Tableau 1). En 2004, la minéralisation a diminué de manière remarquable.

Néanmoins, les valeurs obtenues au long de l'année restent bien supérieures aux limites fixées par le SEQ–Eau et celles recommandées pour les eaux superficielles françaises (cf. Tableau 1). L'eau est détériorée et de très mauvaise aptitude aux usages (production d'eau potable) (SEQ–Eau, 2003).

Cette baisse de la minéralisation au fil du temps peut mettre en relief la détérioration des conditions du milieu suite à l'affaiblissement du pouvoir auto épurateur de l'oued.

3. 1. 2. 7. La salinité

Comme la CE et la minéralisation la salinité diminue avec le temps (Figure 21).

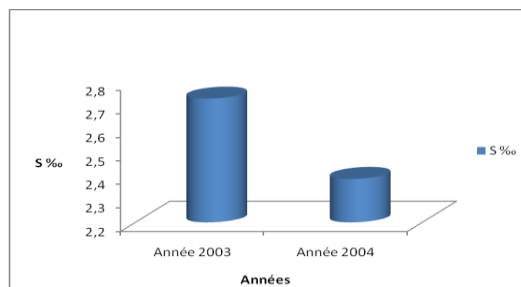


Figure 21. Variations moyennes annuelles de la salinité (année 2003–2004)

La valeur la plus élevée (2,73 ‰) a été obtenue durant l'année 2003 (cf. Tableau 1). Cependant, nous ne pouvons rien avancer du point de vue qualité de l'eau, faute de normes.

Enfin, sur la base des descripteurs physico–chimiques les plus déclassant, nous avons pu classer l'eau de la partie amont de l'oued comme suit :

Tableau 3. Qualité de l'eau de l'oued Bouhamra amont par rapport aux descripteurs physico–chimiques

Descripteurs Physico-chimiques	SEQ–Eau	ABHCSM (2002)	Rodier (2005)	Rodier (2009)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	Jaune	Médiocre	1 X supérieure	4 X supérieure
Nitrites (NO ₂ ⁻)	Verte	Dans les normes	Dans les normes	Dans les normes
Nitrates (NO ₃ ⁻)	Verte	Dans les normes	Dans les normes	Dans les normes
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	Rouge	Pollution excessive	3 X supérieure	4 X supérieure
Température (T°C)	Verte	Dans les normes	Dans les normes	Dans les normes
DBO ₅	Rouge	Pollution excessive	11 X supérieure	8 X supérieure
Conductivité (CE)	Rouge	–	7 X supérieure	3 X supérieure
Minéralisation	Rouge	–	–	5 X supérieure
Salinité (S ‰)	–	–	–	–

Vert : bonne ; jaune : passable ; orange : mauvaise ; rouge : très mauvaise ; DBO₅ : demande biochimique en oxygène durant 5 jours d'incubation ; – : pas de normes ; ABHCSM (2002) : normes algériennes établies par l'agence de bassin hydrographique Constantinois–Seybouse–Mellegue ; SEQ–Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; Rodier (2005-2009) : les normes de qualité des eaux superficielles françaises.

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

En se référant au SEQ–Eau et aux limites de qualité des eaux superficielles, nous pouvons dire que l'eau de l'oued Bouhamra amont est polluée et de très mauvaise aptitude à la vie aquatique. Les paramètres physico-chimiques (DBO_5 , PO_4^{3-} , NH_4^+ , CE et minéralisation) attestent d'une dystrophisation ou hyper eutrophisation de l'oued.

La dystrophisation se traduit dans un premier stade par une augmentation de la teneur des eaux en nutriments (PO_4^{3-} , NH_4^+), conséquence directe de la pollution, mais provoquée aussi par la biodégradation des matières organiques fermentescibles rejetées par les effluents urbains dans le milieu limnique. La décomposition ou la minéralisation des matières organiques putrides, par les bactéries aérobies, provoque l'apparition d'une demande biologique en oxygène (DBO), dite primaire, et enrichit le milieu en nutriments (CE et minéralisation élevées). L'hyper fertilisation du milieu limnique aura pour conséquence probable l'eutrophisation des eaux.

De ce dysfonctionnement de l'écosystème va résulter en particulier une diminution de la teneur en oxygène dissous, dans les eaux profondes. Ce déficit en oxygène est dû à la dégradation aérobie de la matière organique, correspondant à la biomasse algale morte (DBO secondaire), qui va se déposer à la surface du sédiment.

Il en résulte l'apparition d'une oxycline (chimiocline), zone de transition brusque dans un biotope limnique séparant les eaux superficielles bien oxygénées et les eaux profondes ayant une carence en cet élément voire réductrices.

A terme (taux en oxygène inférieur à 3 mg.L^{-1}), on observera donc une disparition de toute vie animale en dessous de la zone euphotique par suite de la désoxygénation des eaux.

Au dernier stade de la dystrophisation (taux en oxygène égal à 0 mg.L^{-1}), les couches profondes deviendront le siège de fermentations anaérobies qui dégagent du méthane (CH_4) et surtout du NH_3 et du H_2S tandis que la chimiocline remontera vers la surface, rendant l'essentiel du volume d'eau lacustre azoïque (Ramade, 1998). Les épisodes de crises d'eutrophie sont marqués par la formation de dépôts de sulfure ferreux noirâtre dans les sédiments. À long terme, l'eutrophisation est la cause du comblement des biotopes lacustres, résultat ultime de leur inéluctable vieillissement (Ramade, 2008).

Tous ces phénomènes de dégradation vont s'amplifier d'autant plus que l'oued Bouhamra amont a un faciès lentique.

En conclusion générale, nous pouvons dire que l'ensemble de l'oued est pollué (pollution organique accrue) et dystrophe suite à un apport en nutriments, principalement le phosphore et l'azote ammoniacal.

Cette pollution est plus accentuée à l'aval de l'oued qu'en amont.

Dans la partie amont, les sels nutritifs, essentiellement les phosphates et dans une moindre mesure l'ammonium, semblent avoir pour source essentielle les déversements des eaux usées des agglomérations de la plaine ouest d'Annaba.

En sus de l'apport des eaux usées urbaines de la plaine ouest de la ville, la partie aval de l'oued reçoit les rejets d'eaux résiduaires du complexe de fabrication des engrais phosphatés (Asmidal) et les rejets de l'abattoir, situé à quelques mètres de l'oued. Ce qui peut expliquer les valeurs élevées de la DBO₅, de la CE et de la minéralisation (cf. Tableaux 1, 2 et 3).

La salinité relativement élevée de la partie aval est probablement due à l'intrusion marine.

Enfin, l'oued Bouhamra est dystrophe et pollué. Cette dégradation importante de l'eau peut avoir des conséquences préjudiciables sur la vie aquatique, d'autant plus que l'oued a un faciès lentique. Cela peut aussi avoir des répercussions sur l'avenir socio-économique de l'oued.

3. 1. 3. L'oued Seybouse

Un suivi des descripteurs physico-chimiques de l'oued Seybouse a été effectué durant deux années (2002-2004). Les prélèvements d'eau ont été faits au niveau de la Seybouse maritime (interface) où convergent tous les rejets urbains (agricoles, industriels et domestiques), avant de déboucher dans le Golfe d'Annaba. Les résultats obtenus montrent des variations importantes des concentrations des divers descripteurs, durant toute la période de l'étude (cf. Tableau 4).

CHAPITRE 3. Résultats et discussion des variations moyennes annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Tableau 4. Résultats moyens annuels des descripteurs physico-chimiques de l'eau de l'oued Seybouse

Descripteurs P.C.	Concentrations			Min-Max	ABHCSM (2002)	SEQ-Eau (2003)	Rodier (2005)	Rodier (2009)
	Année 2002	Année 2003	Année 2004					
NH ₄ ⁺ (mg.l ⁻¹)	1,63	1,51	1,4	1,4 – 1,63	0,5	0,5	1,5 - 4	0,5 – 1
NO ₂ ⁻ (mg.l ⁻¹)	0,09	0,13	0,10	0,09 – 0,13	0,3	0,3	-	0,5
NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)	0,04	0,3	0,34	0,04 – 0,34	25	10	50	50
PO ₄ ³⁻ (mg.l ⁻¹)	0,75	0,33	0,3	0,3 – 0,75	0,5	0,5	0,7	0,5
T°C	20,6	19,02	14,6	14,6 – 20,6	-	25,5	22 – 25	25
DBO ₅ (mg.l ⁻¹)	65,00	31,00	16,00	16 - 65	5	6	<5 - <7	7
CE (μS.cm ⁻¹)	21037,76	11936,15	7230,36	7230,36 – 21037,76	-	3000	1000	2000
Minéral (mg.l ⁻¹)	19966,56	11065,03	6381,35	6381,35 – 19966,56	-	3000	-	1200
S ‰	7,97*	4,63*	2,9*	2,9 – 7,97	-	-	-	-

Descripteurs P.C. : descripteurs physico-chimiques ; NH₄⁺ : ammonium ; NO₂⁻ : nitrites ; NO₃⁻ : nitrates ; PO₄³⁻ : phosphates ; T°C : température en degré Celsius ; DBO₅ : demande biochimique en oxygène après cinq jours d'incubation ; CE : conductivité électrique ; Minéral : minéralisation ; S ‰ : salinité pour mille ; chiffres avec * : pas de normes ; - : pas de normes ; chiffre en gras : dépasse la norme ; Min-Max : valeurs minimales et maximales ; ABHCSM (2002) : normes algériennes établies par l'agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; normes de qualité des eaux douces superficielles (Rodier, 2005) ; normes de qualité des eaux de surface (Rodier et al., 2009).

Les résultats acquis révèlent une fluctuation importante des sels dissous dans l'eau. Les concentrations fluctuent de 0,04 mg.L⁻¹ à 1,63 mg.L⁻¹ (cf. Tableau 4).

3. 1. 3. 1. La fraction azotée (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻)

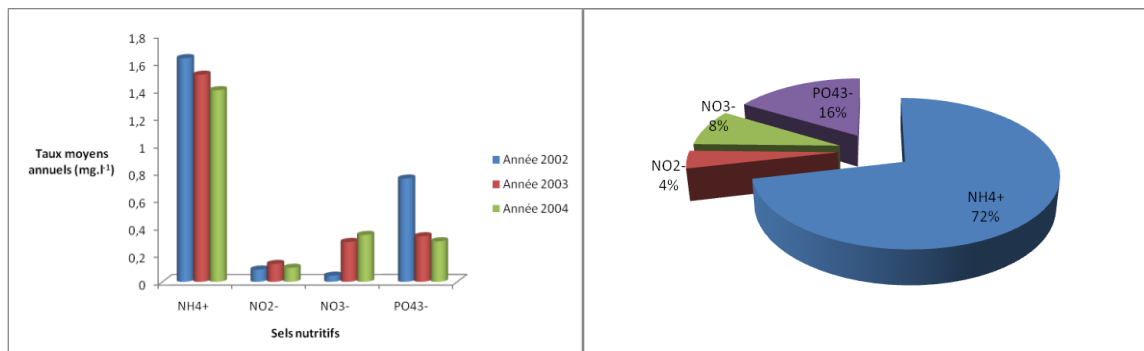


Figure 22. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (années 2002–2004)

Figure 23. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (années 2002–2004)

L'ammonium semble être l'élément minéral dominant tout au long des deux années d'étude. Les concentrations les plus élevées sont enregistrées durant l'année 2002 (cf. Figure 22). L'année 2002 est une année sèche et chaude. Les précipitations moyennes annuelles enregistrées sont de 699,5 mm et les températures moyennes annuelles sont de 25°C (ONM d'Annaba, 2012). De faibles précipitations ainsi que des températures relativement élevées, auront pour effet la diminution du taux d'oxygène dissous dans milieu limnique. Ces conditions d'anaérobiose sont à l'origine d'une décomposition incomplète de la matière organique d'où les concentrations élevées en NH₄⁺. Au cours de l'année 2003, nous constatons que l'NH₄⁺ est toujours présent et dominant (cf. Figure 22) mais sa teneur est plus faible que celle de l'année précédente (cf. Tableau 4). L'explication peut être l'apport en précipitations un peu plus étoffée (715,3 mm) qui a favorisé le processus de nitrification. La concentration relativement élevée en NO₃⁻, au cours de la même année, vient appuyer cette hypothèse (cf. Tableau 4 et Figure 22). Pendant l'année 2004, l'ammonium prédomine également mais son taux paraît moindre en comparaison avec l'année 2002 et l'année 2003 (cf. Figure 22). Cette année a enregistré les précipitations moyennes annuelles les plus élevées (837,7 mm). Cet apport d'eau a eu pour effet probable l'oxygénation du milieu et par voie de conséquence de favoriser le processus de nitrification, d'où la concentration moindre en NH₄⁺.

L'ammonium représente environ 72 % du total des sels nutritifs de la Seybouse (cf. Figure 23) et 85 % de la fraction azotée (cf. Figure 24).

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

En outre, ses concentrations dépassent toutes les normes retenues (cf. Tableau 4). L'eau de la Seybouse est altérée par l' NH_4^+ , de qualité passable (ABHCSM, 2002), d'aptitude passable à la biologie et présente une mauvaise aptitude aux usages (production d'eau potable) selon le SEQ-Eau (2003).

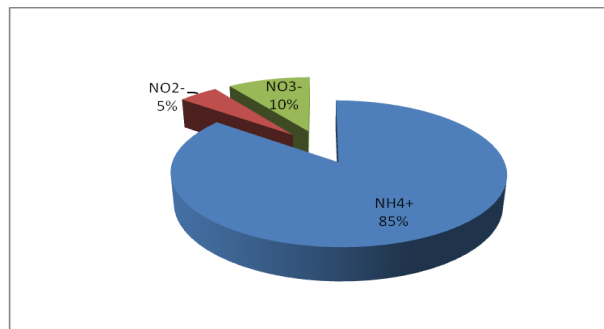


Figure 24. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (années 2002-2004)

La fraction de l'azote oxydé (NO_2^- et NO_3^-) fluctue également de manière notable. Généralement le taux en NO_3^- est supérieur à celui des NO_2^- , excepté pour l'année 2002 (cf. Figure 22) où la teneur relativement élevée en NO_2^- peut révéler les conditions réductrices du milieu, suite à un déficit en pluie. Nous observons une nette augmentation du taux de NO_3^- durant les années 2003 et 2004 (cf. Figure 22). Ce qui peut attester d'une amélioration relative des conditions de l'oued et un gain en oxygène dissous successif à une chute de pluie (715,3 mm en 2003 et 837,7 mm en 2004). Les nitrates constituent 10 % de la fraction azotée (cf. Figure 24) et 8 % du total en nutriments (cf. Figure 23).

Cependant ses taux restent très faibles tout au long des années d'étude et sont bien en dessous de toutes les limites de qualité retenues (cf. Tableau 4).

Les teneurs en ions nitreux paraissent constantes, avec une légère hausse pour l'année 2003 (cf. Figure 22). Globalement, leurs taux sont relativement faibles car ils se forment transitoirement, lors des réactions de nitrification en hiver. Durant l'année 2003 et l'année 2004, les teneurs en ions nitreux sont relativement plus élevées avec un taux un peu plus faible en NH_4^+ (cf. Figure 22). Ceci peut refléter une meilleure oxygénation du milieu, qui a eu pour conséquence une légère oxydation de l'azote ammoniacal. Les ions NO_2^- représente environ 5 % de la fraction azotée et 4 % du total des éléments nutritifs dissous (cf. Figures 24 et 23).

Enfin ses taux sont très faibles et restent bien en dessous des normes durant toute la période d'étude (cf. Tableau 4).

3. 1. 3. 2. Les phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates viennent en seconde position après l'azote ammoniacal et représentent environ 16 % de la charge totale en nutriments (cf. Figure 23). L'année 2002 a enregistré un taux en PO_4^{3-} relativement important (cf. Figure 22), fluctuant en moyenne entre 0,3 et 0,75 mg.L^{-1} (cf. Tableau 4). L'eau est de qualité passable selon l'ABHCM (2009) et d'après le SEQ-Eau (2003), elle est altérée et présente une aptitude passable à la biologie. Ensuite, le taux a chuté de manière drastique durant les années 2003 et 2004 (cf. Figure 22) consécutivement à une pluviosité relativement importante, conduisant vraisemblablement, à sa dilution par un débit de l'oued plus important et son assimilation par la biomasse aquatique.

Ainsi il apparaît que l' NH_4^+ prédomine durant les deux années d'étude mais avec une légère diminution de son taux au fil du temps. Il confère à l'eau de la Seybouse une qualité passable par rapport à la biologie et une mauvaise qualité par rapport à la production d'eau potable (ABHCSM, 2009 et SEQ-Eau, 2003). La fraction de l'azote oxydé (NO_2^- et NO_3^-) reste faible tout au long de l'étude, ce qui peut mettre en relief les conditions réductrices du milieu et l'inhibition du processus de nitrification. Le taux important en NH_4^+ témoigne d'une mauvaise et incomplète dégradation de la matière organique. Les teneurs élevées en PO_4^{3-} viennent appuyer cette hypothèse et classent l'eau de la Seybouse de qualité passable à la vie biologique (ABHCSM, 2009 et SEQ-Eau 2003).

3. 1. 3. 3. Les températures

Les valeurs des températures moyennes annuelles varient de 14,6 °C à 20,6 °C (cf. Tableau 4).

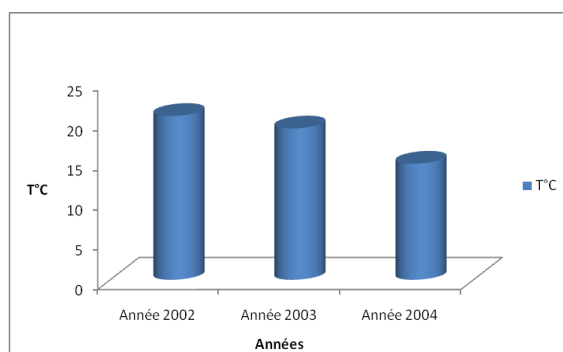


Figure 25. Valeurs moyennes annuelles des températures (années 2002–2004)

Les années 2002 et 2003 sont relativement chaudes et sèches (ONM d'Annaba, 2012). Cependant l'année 2004 a enregistré les températures moyennes les plus basses (cf. Figure 25) suite à un apport en précipitations (837,7 mm), qui a eu pour effet de rafraîchir l'atmosphère

ambiante. Néanmoins, les valeurs des températures restent en dessous des normes retenues (cf. Tableau 4).

3. 1. 3. 4. La demande biologique en oxygène (DBO₅)

La consommation d'oxygène par les micro organismes aérobies est très élevée et varie de 16 mg.L⁻¹ à 65 mg.L⁻¹. Ce qui témoigne d'une grande charge en matières organiques biodégradables.

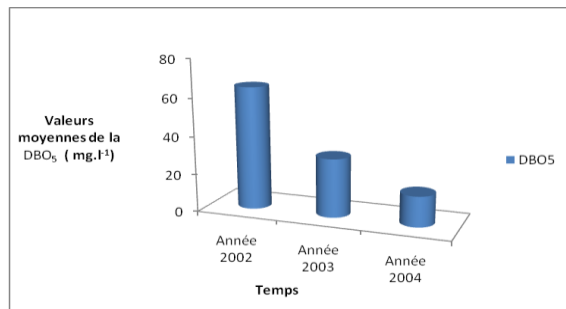


Figure 26. Valeurs moyennes annuelles de la DBO₅ (années 2002–2004)

La DBO₅ fluctuent de manière remarquable d'une année à l'autre (cf. Figure 26). Elles excèdent dans tous les cas, les normes préconisées retenues (cf. Tableau 4). Cette consommation importante d'oxygène reflète, vraisemblablement la présence d'une pollution organique excessive (ABHCSM, 2002). L'eau est de qualité très mauvaise à la vie biologique ainsi qu'aux usages (aquaculture et production d'eau potable) (SEQ-EAU, 2003).

En outre, nous observons que les valeurs de la DBO₅ diminuent de façon significative au fil du temps (cf. Figure 26). Ce qui peut refléter une baisse du pouvoir auto épurateur du milieu suite à l'inhibition progressive de l'activité bactérienne par divers intrants et/ou par un manque en oxygène.

3. 1. 3. 5. La conductivité électrique (CE)

Les valeurs de la conductivité électrique varient de façon considérable de 7230,36 μS.cm⁻¹ à 21037,76 μS.cm⁻¹ (cf. Tableau 4).

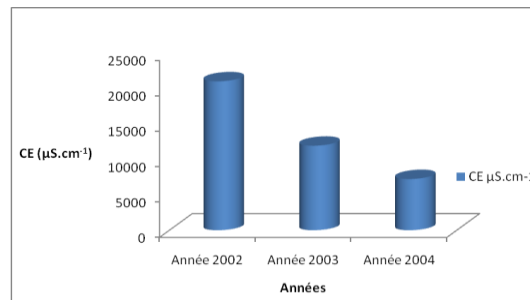


Figure 27. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité (années 2002–2004)

Selon la figure 27, les conductivités électriques les plus élevées ont été rencontrées durant l'année 2002, consécutivement aux températures relativement élevées et au manque de pluie. Cette situation a eu pour conséquence la concentration des nutriments dans le milieu, d'où leurs teneurs très élevées.

Par opposition, l'apport de précipitations, un peu plus important, au cours des années suivantes, a favorisé leur dilution et donc leur solubilité. Les nutriments sont ainsi devenus plus assimilables par les organismes aquatiques d'où leurs taux moindres.

Cependant, durant toute la période d'étude, les valeurs de la CE sont restées très élevées et dépassent de loin toutes les normes recommandées. Selon le SEQ-EAU (2003), l'eau de la Seybouse est altérée, présente une très mauvaise aptitude aux usages (la production d'eau potable).

3. 1. 3. 6. La minéralisation

Elle présente également des valeurs très élevées qui varient de 6381,35 mg.L⁻¹ à 19966,56 mg.L⁻¹ (cf. Tableau 4).

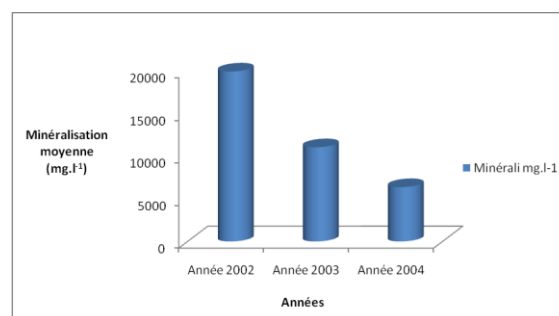


Figure 28. Valeurs moyennes annuelles de la minéralisation (années 2002–2004)

Les valeurs élevées de la minéralisation (cf. Tableau 4) viennent appuyer les teneurs importantes en sels dissous dans la Seybouse. Ces teneurs ont tendance à diminuer d'une année à l'autre (cf. Figure 28), ce qui peut mettre en relief une mauvaise décomposition de la matière organique et la perte de l'homéostasie du milieu aquatique.

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Toutes les valeurs trouvées sont bien supérieures aux limites préconisées pour les eaux superficielles et le SEQ-EAU (2003). Selon ce dernier, l'eau de la Seybouse est altérée et montre une très mauvaise aptitude aux usages (production d'eau potable).

3. 1. 3. 7. La salinité

La salinité de la seybouse varie du simple (2,9 ‰) au triple (7,97 ‰) (cf. Tableau 4).

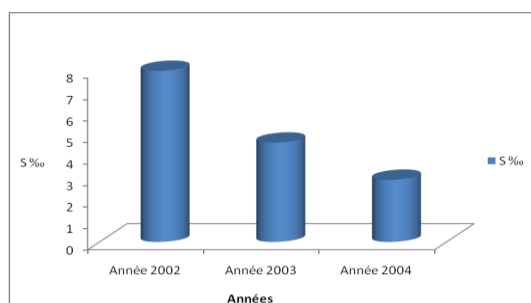


Figure 29. Valeurs moyennes annuelles de la salinité (années 2002–2004)

Les pourcentages moyens de la salinité ont tendance à diminuer avec le temps (cf. Figure 29) et suivent la même évolution que la minéralisation et la CE, auxquelles ils sont intimement liés.

Faute de normes, nous ne pouvons rien avancer sur la qualité de l'eau vis-à-vis de ce descripteur (cf. Tableau 4).

Sur la base des descripteurs les plus déclassants, nous avons pu classer l'eau de la Seybouse comme suit :

Tableau 5. Qualité de l'eau de l'oued Seybouse par rapport aux divers descripteurs physico-chimiques

Descripteurs Physico-chimiques	SEQ-Eau	ABHCSM (2002)	Rodier (2005)	Rodier (2009)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	Jaune	Passable	1 x supérieur	2 x supérieur
Nitrites (NO ₂ ⁻)	Vert	Dans la norme	Dans la norme	Dans la norme
Nitrates (NO ₃ ⁻)	Bleu	Dans la norme	Dans la norme	Dans la norme
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	Jaune	Passable	1 x supérieur	2 x supérieur
Température (T°C)	Vert	–	Dans la norme	Dans la norme
DBO ₅	Rouge	Pollution excessive	13 x supérieur	9 x supérieur
Conductivité (CE)	Rouge	–	21 x supérieur	11 x supérieur
Minéralisation	Rouge	–	–	17 x supérieur
Salinité (S ‰)	–	–	–	–

Bleu : très bonne ; vert : bonne ; jaune : passable ; orange : mauvaise ; rouge : très mauvaise ; DBO₅: demande biochimique en oxygène durant 5 jours d'incubation ; – : pas de normes ; ABHCSM (2002): normes algériennes établies par l'agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; Rodier (2005-2009) : les normes de qualité des eaux superficielles françaises.

L'eau de la Seybouse maritime est détériorée et sujette à une pollution organique accrue.

Selon le SEQ–Eau, la Seybouse est principalement altérée par l’azote ammoniacal et les phosphates. Ces derniers lui confèrent une aptitude passable à la biologie et la rende inadéquate à la production d’eau potable. Cet enrichissement de l’eau par ces sels nutritifs est bien confirmé par la conductivité et la minéralisation qui sont très élevées et attribuent à l’eau une très mauvaise qualité par rapport aux usages, particulièrement à la production d’eau potable. L’hyperfertilisation de l’eau a pour conséquence inéluctable une prolifération démesurée de la biomasse végétale (algues). Une fois mortes, cette matière organique putride nécessite, pour sa dégradation, une consommation importante d’oxygène (DBO₅ très élevée) conduisant à terme à une anoxie du milieu aquatique et dégagement de gaz toxiques fatales pour les organismes aquatiques. La DBO₅ confère à l’eau de la Seybouse une très mauvaise aptitude à la vie biologique et aux usages (production d’eau potable et aquaculture).

Par rapport à l’ABHCSM, la Seybouse maritime présente une qualité passable vis-à-vis de l’ammonium et du phosphore. Elle montre aussi une pollution organique excessive mise en évidence par une DBO₅ très importante.

Les normes des eaux superficielles viennent appuyer l’hypothèse de l’enrichissement de l’eau en sels minéraux dissous et en matières organiques.

Pour conclure, nous pouvons dire que l’eau de la Seybouse maritime est eutrophe, polluée, inapte à la vie biologique et impropre aux usages (production d’eau potable et aquaculture).

3. 1. 4. Les stations du complexe d’Asmidal

Trois effluents du complexe d’Asmidal ont été choisis :

1. Le bassin principal (Asmidal B.P.) qui véhicule les eaux de refroidissement. À l’origine ces eaux sont marines. Elles sont pompées pour refroidir les différents circuits du complexe. Une fois utilisées, elles sont rejetées dans le littoral. Le suivi des paramètres physico–chimiques s’est étendu sur deux années (2002–2004).
2. Le bassin annexe (Asmidal annexe) reçoit essentiellement les eaux résiduaires issues de la fabrication des engrais phosphatés, de l’ammoniac, de l’acide nitrique, de l’ammonitrate et des détergents. Le suivi des paramètres physico–chimiques a été fait sur une année (2003–2004).
3. Un troisième effluent diffus du complexe, situé plus vers l’est (Asmidal Est) a été sélectionné. Le suivi de ses paramètres physico–chimiques s’est étendu sur une année (2003–2004).

3. 1. 4. 1. La station Asmidal B.P.

Le suivi des descripteurs physico-chimiques des eaux de refroidissement du bassin principal du complexe d'Asmidal a été effectué durant deux années (2002-2004). Ces eaux marines, une fois utilisées, sont diversées dans le Golfe d'Annaba sans traitement préalable. Les résultats obtenus montrent des variations relativement importantes des concentrations des divers descripteurs, durant toute la période de l'étude (cf. Tableau 6).

CHAPITRE 3. Résultats et discussion des variations moyennes annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Tableau 6. Résultats moyens annuels des descripteurs physico-chimiques de l'eau des stations du complexe d'Asmidal

Descripteurs P.C.	Concentrations							Min-Max	CQEL (1993)	GPES (2001)
	Année 2002	Année 2003			Année 2004					
	As B.P.	As B.P.	As anx	As Est	As B.P.	As anx	As Est			
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	0,76	1,6	1,60	1,15	2,00	1,11	2,35	0,76 – 2,35	0,02 - 0,05	0,1 – 0,15
NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,01*	0,01*	0,07*	0,14*	0,01*	0,03*	0,01*	0,01 – 0,14	-	-
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,13	0,18	0,22	0,23	0,5	0,42	0,03	0,03 – 0,5	0,5 - 1	5 – 50
PO ₄ ³⁻ (mg.L ⁻¹)	0,24	0,43	1,59	0,50	0,78	1,28	0,05	0,05 – 1,59	0,03 – 0,06	0,1 – 0,2
T°C	26,2	25,57	22,00	26	21,4	15,00	25,00	15 – 26,2	9 à 20	< 20
CE (µS.cm ⁻¹)	92587,2	68930,44	85825,4	59476,43	96251,5	60903,4	56149,7	56149,7 – 96251,5	-	23000 – 55000
Minéral (mg.L ⁻¹)	87872,85*	65420,65*	81455,33*	56448,02*	91350,55*	57802,3*	53290,7*	53290,7- 91350,55	-	-
S ‰	37,7	36,33	33,2	23,8	35,46	34,4	22,5	22,5 – 37,7	15 - 38	15 – 38

Descripteurs P.C. : descripteurs physico-chimiques ; Asmidal B.P. : As B.P. ; Asmidal annexe : As anx ; Asmidal est : As est ; NH₄⁺ : ammonium ; NO₂⁻ : nitrites ; NO₃⁻ : nitrates ; PO₄³⁻ : phosphates ; T°C : température en degré Celsius ; CE : conductivité électrique ; Minéral : minéralisation ; S ‰ : salinité pour mille ; chiffre* : pas de norme ; - : pas de normes ; chiffre en gras : dépasse la norme ; Min-Max : valeurs minimales et maximales ; CQEL (1993) : classe de qualité des eaux littorales ; GPES (2001) : grille provisoire des lectures des eaux saumâtres (agence française de l'eau, 2001).

Les concentrations en sels dissous, de la station d'Asmidal B.P., varient de manière significative, de 0,01 mg.L⁻¹ à 2 mg.L⁻¹ (cf. Tableau 6).

3. 1. 4. 1. 1. La fraction azotée (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻)

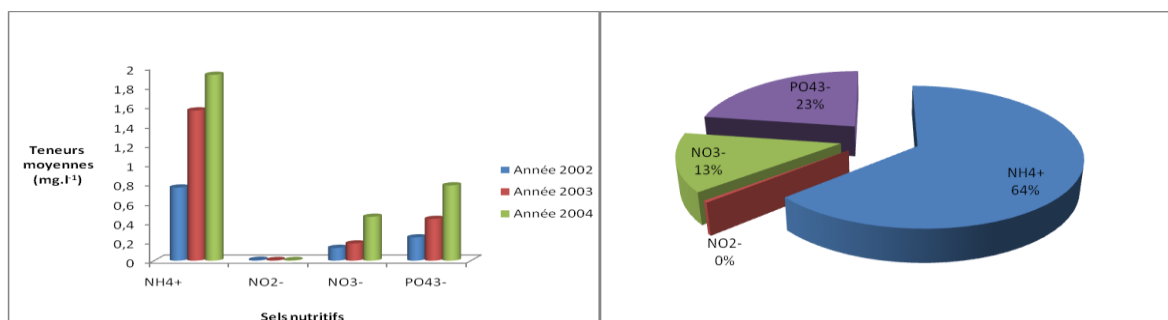


Figure 30. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (années 2002–2004)

Figure 31. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (années 2002–2004)

D'après la figure 30, nous observons de manière générale que les concentrations en sels nutritifs augmentent avec le temps de façon relativement remarquable. L'azote ammoniacal est l'élément minéral le plus dominant, il constitue 64 % des nutriments et 82 % de la fraction azotée (Figures 31 et 32). Ses concentrations varient de 0,76 mg.L⁻¹ à 2 mg.L⁻¹ et augmentent au fil du temps de manière significative. De l'année 2002 à l'année 2003, la teneur en ammonium a pratiquement doublé et elle a presque triplé, durant l'année 2004. En outre, ses concentrations dépassent, de loin, toutes les normes retenues (cf. Tableau 6). Les eaux marines déversées dans le littoral sont de mauvaise qualité (CQEL, 1993 et GPES, 2001).

Les nitrates constituent 13 % du total des sels nutritifs et 17 % de la fraction azotée (cf. Figures 31 et 32). Ses concentrations augmentent également, dans le temps (cf. Figure 30). Au cours de l'année 2004, ses concentrations ont plus que triplé (cf. Tableau 6). Cependant, ils restent dans les limites de qualité retenues.

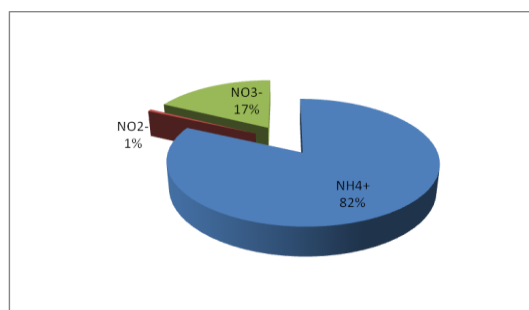


Figure 32. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (années 2002–2004)

Les concentrations en nitrites restent très négligeables par rapport aux autres nutriments (cf. Figure 30). Ils représentent 0 % du total des sels dissous et 1 % de la fraction azotée (cf. Figures

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

31 et 32). Faute de normes, nous ne pouvons rien dire sur la qualité des eaux vis-à-vis de ce paramètre (cf. Tableau 6).

3. 1. 4. 1. 2. Les phosphates

Ils occupent le second rang après l'azote ammoniacal (cf. Figure 30). Ils constituent 23 % du total des sels nutritifs (cf. Figure 31). Ses concentrations ont plus que doublées, au fil du temps, et dépassent largement les normes retenues (cf. Tableau 6). Les eaux de refroidissement sont de mauvaise qualité (CQEL, 1993 et GPES, 2001).

3. 1. 4. 1. 3. La température

Les températures des eaux marines de refroidissement varient de 21,4 °C 26,2 °C (cf. Tableau 6).

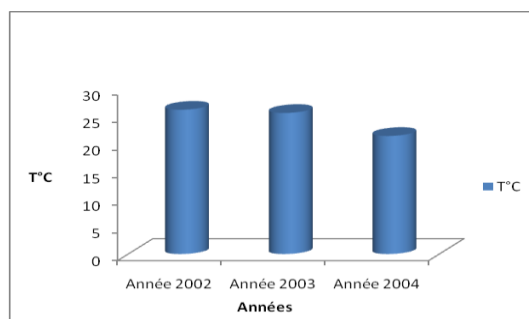


Figure 33. Valeurs moyennes annuelles des températures (années 2002–2004)

Les températures semblent être constantes durant les années 2002 et 2003, cependant nous notons que l'année 2004 a enregistré une légère baisse (cf. Figure 33). Leurs valeurs sont élevées, durant toute la période d'étude, et outrepassent les limites de qualité des eaux marines et saumâtres (cf. Tableau 6). D'après la CQEL (1993), les eaux sont classées hors classe, et selon la GPES (2001), les eaux sont de mauvaises qualité.

3. 1. 4. 1. 4. La conductivité électrique

Présente également des valeurs très élevées variant de 68930,44 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ à 96251,5 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (cf. Tableau 6).

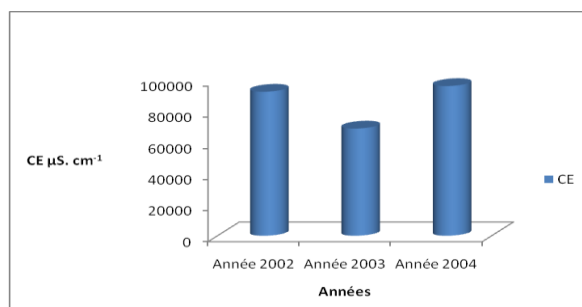


Figure 34. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité électrique (années 2002–2004)

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Malgré une légère diminution des valeurs de la conductivité observées au cours de l'année 2003, nous pouvons dire qu'elle augmente au fur et à mesure que le temps passe (cf. Figure 34). Les valeurs les plus élevées ont été obtenues au cours des années 2002 et 2004. Les eaux marines sont classés de mauvaise qualité par rapport à la GPES (2001).

3. 1. 4. 1. 5. La minéralisation

Comme la conductivité électrique, les valeurs de la minéralisation sont très élevées et fluctuent de 65420,65 mg.L⁻¹ à 91350,55 mg.L⁻¹ (cf. Tableau 6).

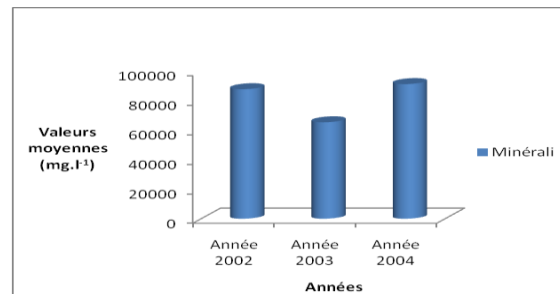


Figure 35. Valeurs moyennes annuelles de la minéralisation (années 2002–2004)

Les valeurs de la minéralisation, comme les divers descripteurs vus antérieurement, présentent une hausse avec le temps en dépit d'une relative baisse en 2003 (cf. Figure 35).

Néanmoins, nous ne pouvons pas qualifier l'eau par rapport à ce descripteur, vu l'absence de normes.

3. 1. 4. 1. 6. La salinité

Elle varie de 35,46 ‰ à 37,7 ‰ (cf. Tableau 6).

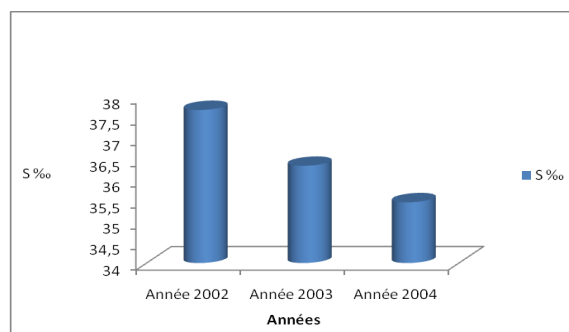


Figure 36. Pourcentages moyens annuels de la salinité (années 2002–2004)

Contrairement aux autres descripteurs, la salinité a tendance à diminuer dans le temps (cf. Figure 36). Cependant, elle reste dans les limites fixées pour les eaux marines (CQEL, 1993).

En se basant sur le descripteur le plus pénalisant, nous avons pu classer les eaux marines de refroidissement, comme suit :

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Tableau 7. Qualité de l'eau d'Asmidal B.P. par rapport aux divers descripteurs physico-chimiques

Descripteurs Physico-chimiques	CQEL (1993)	GPES (2001)
Ammonium (NH_4^+)	Mauvaise (40 x supérieure)	Mauvaise (13 x supérieure)
Nitrites (NO_2^-)	-	-
Nitrates (NO_3^-)	Dans la norme	Dans la norme
Phosphates (PO_4^{3-})	Mauvaise (13 x supérieure)	Mauvaise (4 x supérieure)
Température ($^{\circ}\text{C}$)	Hors Classe (+ 6°C)	Mauvaise (+ 6°C)
Conductivité (CE)	-	Mauvaise (2 x supérieure)
Minéralisation	-	-
Salinité (S ‰)	Dans la norme	Dans la norme

CQEL (1993) : La grille CQEL (classe de qualité des eaux littorales) qui se rapporte à la qualité générale des eaux de mer établie en 1993 par le groupe CQEL pour le compte du Ministère de l'Environnement Français ; GPES (2001) : grille provisoire des lectures des eaux saumâtres (agence française de l'eau, 2001) ; - : pas de normes ; + 6°C : supérieure de 6°C par rapport à la norme.

Les eaux marines, une fois utilisées pour le refroidissement des différents circuits du complexe d'Asmidal, présentent une mauvaise qualité. Elles sont principalement souillées par l' NH_4^+ et les PO_4^{3-} . Les conductivités excessivement élevées sont favorisées par les températures élevées de ces eaux, en plus de leur richesse en nutriments. Sachant que la concentration en sels nutritifs ne fait qu'augmenter avec le temps, ceci aura vraisemblablement pour effet l'hyperfertilisation du proche littoral, qui peut être à l'amont du phénomène d'eutrophisation.

Le rejet d'eau chaude dont la température excède de 6°C la température normale, va probablement causer un choc thermique considérable. Ce dernier va favoriser la mort des poissons sténothermes (espèces ayant un faible intervalle de tolérance pour la température et sont sensibles aux variations de quelques degrés), de certaines espèces polluosensibles et le développement de certaines autres espèces opportunistes. Ce qui peut atténuer la biodiversité du milieu aquatique (Rodier, 2009 ; Ramade, 1998).

Pour conclure, nous pouvons dire que le proche littoral d'Annaba subit une pollution chimique et thermique suite aux déversements d'eau chaude du complexe d'Asmidal.

3. 1. 4. 2. La station d'Asmidal annexe

Les concentrations en sels nutritifs sont relativement importantes et varient de $0,03 \text{ mg.L}^{-1}$ à $1,60 \text{ mg.L}^{-1}$ (cf. Tableau 6).

4. 1. 4. 2. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-)

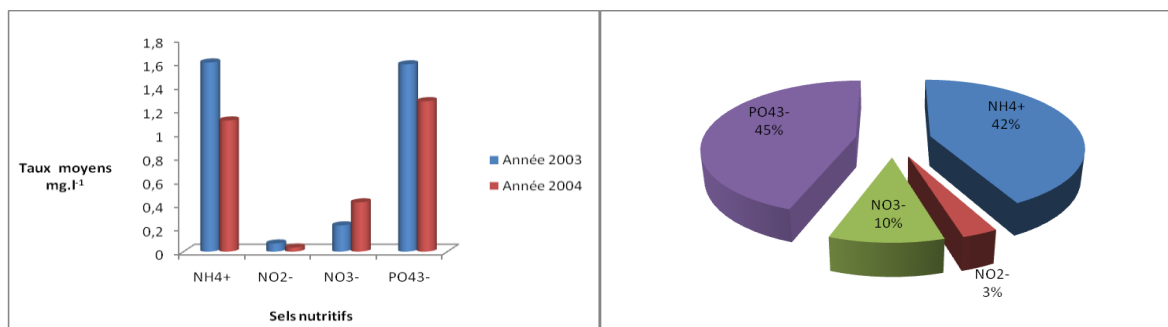


Figure 37. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (année 2003–2004)

Figure 38. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (année 2003–2004)

D'après la Figure 37, nous observons que les taux en azote ammoniacal sont relativement importants, particulièrement au cours de l'année 2003. En 2004, le taux a baissé de façon plus ou moins notable. Ceci peut être dû à un ralentissement, momentané, de la production du complexe. Néanmoins, les concentrations restent toujours bien élevées en comparaison aux normes retenues et confère à l'eau qui s'écoule dans le littoral une qualité mauvaise (CQEL, 1993 et GPES, 2001). L'ammonium constitue 42 % du total des nutriments et 76 % de la fraction azotée (cf. Figures 38 et 39).

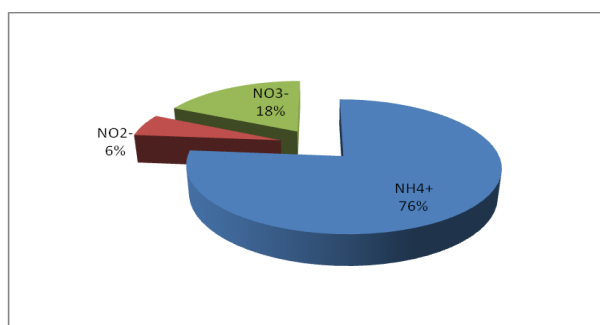


Figure 39. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (année 2003–2004)

L'année 2004 a enregistré des teneurs en nitrates plus élevées (le double) que l'année précédente (cf. Figure 37), ce qui peut être dû à un débit plus important d'eaux résiduaire rejetées. Ils représentent 10 % des nutriments et 18 % de la matière azotée (cf. Figure 39).

Cependant l'eau reste de bonne qualité eu regard des nitrates (CQEL, 1993 et GPES, 2001).

Les teneurs en ions nitreux restent faibles et forment le tiers de l'azote oxydé (cf. Figures 37 et 39). Ce qui semble normal car le bassin est à ciel ouvert et si le débit de l'eau est important, l'eau est bien oxygénée. Cette hypothèse est confirmée par le taux relativement plus élevée en

nitrites au cours de l'année 2004. Les nitrites constituent 3 % des sels nutritifs et 6 % de la matière azotée (cf. Figures 38 et 39).

3. 1. 4. 2. 2. Les phosphates

La concentration en phosphates équivaut celle de l'ammonium au cours de l'année 2003 (cf. Tableau 6). Ils constituent 45 % des sels nutritifs dissous (cf. Figures 38). Lors de l'année 2004, la concentration en PO_4^{3-} a dépassé celle de NH_4^+ (cf. Figures 37). La dominance des phosphates dans cette station peut être expliquée par le fait, que les eaux véhiculées par le bassin annexe sont issues, principalement, de la fabrication des détergents et des engrais phosphatés.

Ses concentrations sont très élevées et excèdent de loin les normes recommandées pour les eaux marines ou saumâtres (cf. Tableau 6). L'eau résiduaire d'Asmidal annexe est de mauvaise qualité (CQEL, 1993 et GPES, 2001).

3. 1. 4. 2. 3. La température

Les valeurs de la température fluctuent entre 15 °C et 22 °C (cf. Tableau 6).

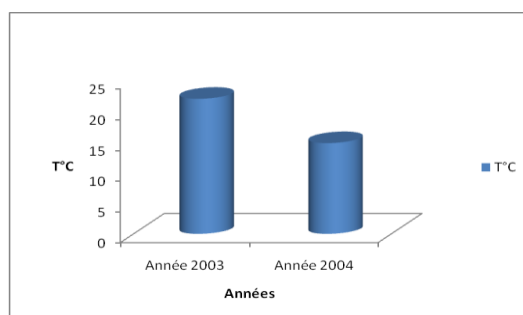


Figure 40. Valeurs moyennes annuelles de la température (année 2003–2004)

Selon la figure 40, les températures les plus élevées ont été observées durant l'année 2003, qui est une année relativement chaude (ONM d'Annaba, 2012). L'année 2004, montre une diminution de la température suite à un apport de pluies, qui a eu pour conséquence un rafraîchissement de l'air ambiant (ONM d'Annaba, 2012).

À l'égard des températures obtenues durant l'année 2003, l'eau est classée hors classe, (CQEL, 1993) et de qualité moyenne par rapport à la GPES (2001).

3. 1. 4. 2. 4. La conductivité électrique

Ses valeurs sont élevées et varient de $60903,4 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ à $85825,4 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (cf. Tableau 6).

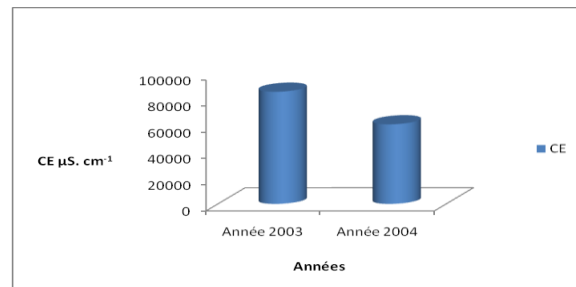


Figure. 41. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité électrique (année 2003–2004)

Influencée prioritairement par les températures élevées, durant l'année 2003, les valeurs de la conductivité électrique sont importantes. Une baisse notable est observée en 2004, qui peut traduire une dilution des sels, suite à un apport de précipitation et un débit plus important des eaux résiduaires. L'eau est de mauvaise qualité à l'égard de ce paramètre (GPES, 2001).

3. 1. 4. 2. 5. La minéralisation

Ses valeurs sont relativement élevées et varient de 57802,3 mg.L⁻¹ à 81455,33 mg.L⁻¹ (cf. Tableau 6).

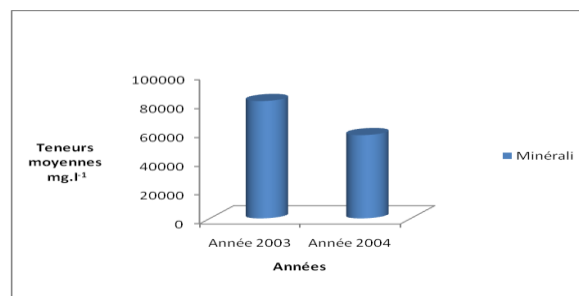


Figure 42. Valeurs moyennes annuelles de la minéralisation (année 2003–2004)

Les eaux résiduaires d'Asmidal annexe sont très riches en sels minéraux dissous. Les concentrations les plus élevées en sels nutritifs ont été trouvées lors de l'année 2003. Les températures relativement élevées et le manque des précipitations ont eu pour effet une concentration en sels nutritifs. À l'opposé, l'année 2004, consécutivement à un apport d'eau relativement élevé et des températures moindres a permis la dilution des sels, d'où des teneurs moindres (cf. Figure 42).

3. 1. 4. 2. 6. La salinité

La salinité des eaux du bassin annexe d'Asmidal, varie de 33,2 ‰ à 34,4 ‰ (cf. Tableau 6).

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

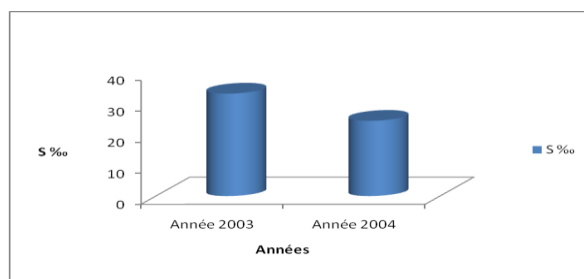


Figure 43. Valeurs moyennes annuelles de la salinité (année 2003–2004)

La salinité semble être constante et varie peu avec le temps (cf. Figure 43). Cependant, elle reste dans les normes préconisées par la CQEL (1993) et GPES (2001). L'eau est de bonne qualité par rapport à ce descripteur.

Sur la base des descripteurs les plus pénalisants, l'eau du bassin annexe d'Asmidal a été classée comme suit :

Tableau 8. Qualité de l'eau d'Asmidal annexe par rapport aux divers descripteurs physico-chimiques

Descripteurs Physico-chimiques	CQEL (1993)	GPES (2001)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	Mauvaise (32 x supérieure)	Mauvaise (11 x supérieure)
Nitrites (NO ₂ ⁻)	-	-
Nitrates (NO ₃ ⁻)	Dans la norme	Dans la norme
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	Mauvaise (27 x supérieure)	Mauvaise (8 x supérieure)
Température (T°C)	Hors classe (+ 2°C)	Moyenne
Conductivité (CE)	-	Mauvaise (2 x supérieure)
Minéralisation	-	-
Salinité (S ‰)	Dans la norme	Dans la norme

CQEL (1993) : La grille CQEL (classe de qualité des eaux littorales) qui se rapporte à la qualité générale des eaux de mer établie en 1993 par le groupe CQEL pour le compte du Ministère de l'Environnement Français ; GPES (2001) : grille provisoire des lectures des eaux saumâtres (agence française de l'eau, 2001) ; - : pas de normes ; + 2°C : supérieure de 2°C par rapport à la norme.

Les eaux résiduaires d'Asmidal annexe sont très riches en sels nutritifs (NH₄⁺ et PO₄³⁻), cet enrichissement en nutriment est traduit par une conductivité élevée, qui confère à l'eau une mauvaise qualité.

Il est aussi intéressant de souligner que les PO₄³⁻ sont dominants (45 % du total des nutriments) dans l'eau d'Asmidal annexe. Cette situation reflète une des activités du complexe qui est la fabrication des engrais phosphatés.

Le phosphore joue un rôle important dans le développement des algues et des bactéries ; il est susceptible de favoriser leur multiplication et contribue ainsi à l'eutrophisation des eaux (Rodier, 2009).

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

En conclusion, nous pouvons avancer que les eaux résiduaires d'Asmidal annexe contribuent principalement à l'enrichissement du proche littoral par les phosphates et l'ammonium, dans une moindre mesure. Ces effluents peuvent être à l'origine d'une fertilisation du littoral, qui aboutira probablement à une eutrophisation de ses eaux. Le phénomène d'eutrophisation sera d'autant plus accentué par la température, relativement élevée des effluents, qui sera fatale pour les espèces sensibles tels que : le plancton, les poissons sténothermes, etc.

3. 1. 4. 3. La station d'Asmidal Est

Cet émissaire diffus du complexe d'Asmidal présente une variation relativement importante des sels dissous. Les concentrations trouvées varient de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ à $2,35 \text{ mg.L}^{-1}$ (cf. Tableau 6).

4. 1. 4. 3. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-)

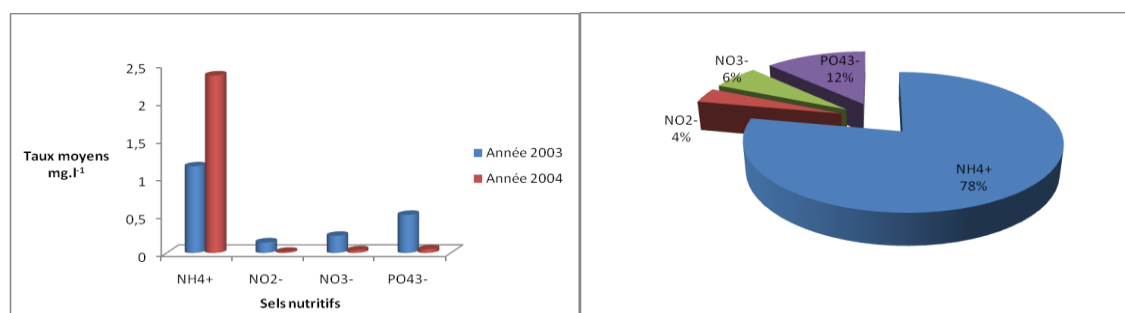


Figure 44. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (année 2003–2004)

Figure 45. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (année 2003–2004)

L'azote ammoniacal est omniprésent et domine durant toute l'année (cf. Figure 44). Ses concentrations ont même doublées au cours de l'année 2004, ce qui peut témoigner de rejets plus riches en ammonium, issus du complexe, ou à une accumulation dans le site de matières organiques partiellement dégradées. Cette station détient le record pour ce qui est de la teneur en NH_4^+ . Ce dernier représente 78 % du total des nutriments et 89 % des matières azotées (cf. Figures 45 et 46). Toutes les concentrations trouvées dépassent de loin les limites fixées pour les eaux marines ou les eaux saumâtres (cf. Tableau 6). L'eau est de qualité mauvaise (CQEL, 1993 et GPES, 2001).

Contrairement à l'azote ammoniacal, les concentrations en azote oxydé (NO_2^- , NO_3^-) restent faibles, tout au long de l'année (cf. Figure 44). Néanmoins, il semble intéressant de noter que les concentrations les plus élevées en nitrites sont aussi observées dans cette station. Ce qui peut refléter les conditions réductrices du milieu et appuyer l'hypothèse d'une incomplète dégradation des matières organique, à l'origine des teneurs importantes en ammonium. L'oxyde nitreux présente 4 % du total des éléments biogènes et des matières azotées (cf. Figures 45 et 46). Les taux en nitrates restent faibles et mettent en évidence les conditions réductrices du

milieu, qui ont tendance à s'accroître au fil du temps (cf. Figure 44). Ils constituent 6 % des éléments biogènes et 7 % des matières azotées (cf. Figures 45 et 46). À l'égard des limites de qualité retenues, ils restent bien en dessous des normes des eaux marines et estuariennes.

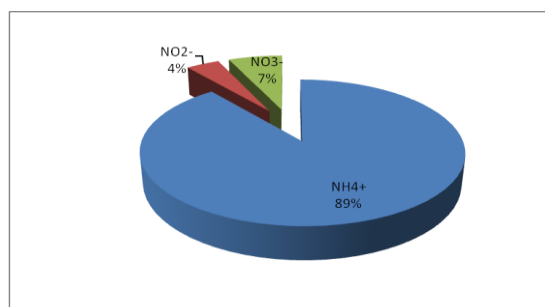


Figure 46. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (année 2003–2004)

3. 1. 4. 3. 2. Les phosphates

Selon la Figure 44, les teneurs en phosphates restent relativement faibles et varient de 0,05 mg.L⁻¹ à 0,5 mg.L⁻¹ (cf. Tableau 6). Ils forment 12 % des éléments biogènes (cf. Figure 45). De manière globale, les concentrations les plus faibles en phosphates ont été trouvées dans cette station. Cette situation vient encore confirmer les conditions réductrices du milieu car en période d'asphyxie les phosphates présents dans le sédiment (matières organiques mortes qui constituent un pool d'orthophosphates), se solubilisent fournissant ainsi de l'oxygène et le phosphore indispensables aux organismes aquatiques (Khaled-Khodja, 2002 ; Khaled-Khodja, 1998).

L'eau est de mauvaise qualité selon la CQEL (1993) et de qualité moyenne par rapport à la GPES (2001).

3. 1. 4. 3. 3. La température

Les températures trouvées sont relativement élevées et varient de 25 °C à 26 °C (cf. Tableau 6).

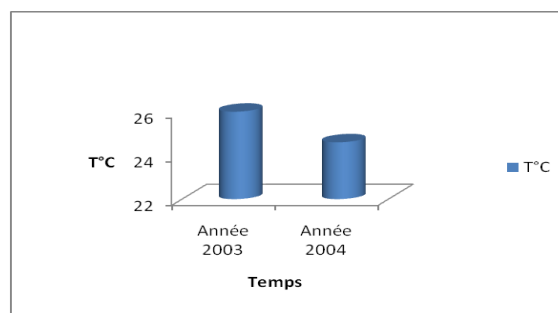


Figure 47. Valeurs moyennes annuelles des températures (année 2003–2004)

Les valeurs de la température restent élevées durant toute la période d'étude (cf. Figure 47). Ceci vient encore appuyer l'hypothèse de l'asphyxie des eaux, suite à un déficit en oxygène

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

dissous, qui inhibe l'activité des micro organismes et par conséquent la dégradation de la matière organique. Eu égard de ce descripteur, l'eau est qualifiée de hors classe selon la CQEL (1993) et de mauvaise qualité à l'égard de la GPES (2001).

3. 1. 4. 3. 4. La conductivité électrique

Tributaires de la température, les valeurs de la conductivité fluctuent de $56149,7 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ à $59476,43 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (cf. Tableau 6).

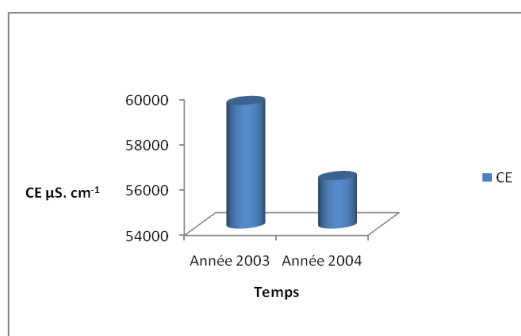


Figure 48. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité (année 2003–2004)

La figure 48 montre que la conductivité la plus élevée était trouvée au cours de l'année 2003, qui est une année chaude et sèche (ONM d'Annaba, 2012). Ce qui a probablement conduit à une concentration en sels dissous. L'année 2004, plus humide et plus fraîche, a favorisé les phénomènes d'ionisation, donc la dilution des nutriments et leur éventuelle assimilation par les organismes aquatiques, d'où des valeurs relativement faibles.

À l'égard de la GPES (2001), l'eau est de mauvaise qualité.

3. 1. 4. 3. 5. La minéralisation

Elle est relativement élevée et ses valeurs varient de $53290,7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ à $56448,02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (cf. Tableau 6).

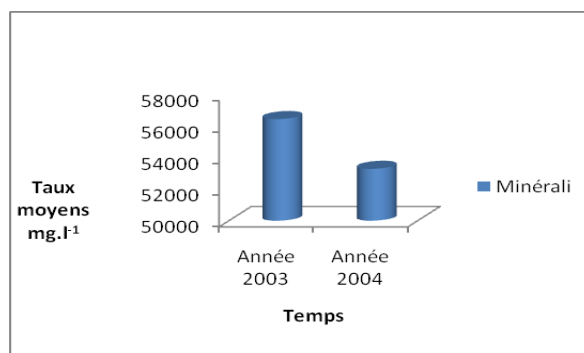


Figure 49. Valeurs moyennes annuelles de la minéralisation (année 2003–2004)

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Elle suit également, la conductivité. L'apport en eau durant l'année 2004 a éventuellement provoqué la dilution des éléments biogènes et leur assimilation probable par la biomasse aquatique.

3. 1. 4. 3. 6. La salinité

Les taux de salinité varient de 22,5 ‰ à 23,8 ‰ (cf. Tableau 6).

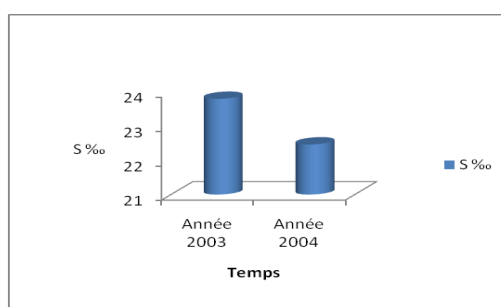


Figure 50. Les taux moyens annuels de la salinité (année 2003–2004)

Comme pour la conductivité et la minéralisation, la salinité a baissé durant l'année 2004, suite à un apport éventuel en eau (cf. Figure 50).

Ses valeurs restent dans les normes et confèrent à l'eau une qualité moyenne (CQEL, 1993) et une très bonne qualité par rapport à la GPES (2001).

Nous tenons à préciser que cette station constitue une zone de mélange des eaux marines littorales et des eaux résiduaires du complexe d'Asmidal. Elle appartient au domaine polyhalin ($18 \leq \text{salinité} < 30$) (Beupoil, 1999).

Sur la base des descripteurs les plus déclassants l'eau d'Asmidal Est a été classée comme suit :

Tableau 9. Qualité de l'eau d'Asmidal Est par rapport aux divers descripteurs physico-chimiques

Descripteurs Physico-chimiques	CQEL (1993)	GPES (2001)
Ammonium (NH_4^+)	Mauvaise (47 x supérieure)	Mauvaise (16 x supérieure)
Nitrites (NO_2^-)	-	-
Nitrates (NO_3^-)	Dans la norme	Dans la norme
Phosphates (PO_4^{3-})	Mauvaise (8 x supérieure)	Mauvaise (3 x supérieure)
Température ($^{\circ}\text{C}$)	Hors classe (+ 6 $^{\circ}\text{C}$)	Mauvaise
Conductivité (CE)	-	Mauvaise (1x supérieure)
Minéralisation	-	-
Salinité (S ‰)	Dans la norme	Dans la norme

CQEL (1993) : La grille CQEL (classe de qualité des eaux littorales) qui se rapporte à la qualité générale des eaux de mer établie en 1993 par le groupe CQEL pour le compte du Ministère de l'Environnement Français ; GPES (2001) : grille provisoire des lectures des eaux saumâtres (agence française de l'eau, 2001) ; - : pas de normes ; + 6 $^{\circ}\text{C}$: supérieure de 6 $^{\circ}\text{C}$ par rapport à la norme.

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

L'eau d'Asmidal Est est de mauvaise qualité par rapport aux nutriments, principalement l' NH_4^+ dont la concentration dépasse celle des deux autres stations. Une conductivité également élevée a été trouvée. Cette dernière est favorisée par la température élevée et la richesse de l'eau en sels dissous. Une hausse de 6 °C, par rapport à la normale, est à l'origine d'une pollution thermique de l'eau, qui peut avoir des conséquences néfastes sur les organismes aquatiques. Un déficit important en oxygène des eaux, peut induire des processus de fermentation et de dégagement de gaz toxiques, causant un apport supplémentaire de matières organiques mortes. En conclusion, nous pouvons dire que l'eau de cette station subit une pollution organique et une pollution thermique qui créent des conditions d'anaérobiose générale, typiques du phénomène d'eutrophisation.

La comparaison de la qualité des eaux des différentes stations du complexe d'Asmidal est résumée dans le tableau n° 10.

Tableau 10. Qualité des eaux des différentes stations dun complexe d'Asmidal

Descripteurs Stations	NH_4^+	PO_4^{3-}	T°C	CE
Asmid B.P.	Mauvaise (40 x sup)	Mauvaise (13 x sup)	HC (+6 °C)	Mauvaise (2x sup)
Asmid anx	Mauvaise (32 x sup)	Mauvaise (27 x sup)	HC (+ 2 °C)	Mauvaise (2 x sup)
Asmid Est	Mauvaise (47 x sup)	Mauvaise (8 x sup)	HC (+6 °C)	Mauvaise (1 x sup)

Asmid B.P. : Asmidal bassin principal ; Asmid anx : Asmidal bassin annexe ; Asmid Est : Asmidal du côté est ; HC : hors classe ; sup : supérieure;

Selon le tableau 10, nous pouvons dire que tous les effluents du complexe d'Asmidal, qui sont rejetés directement en mer, sont de mauvaise qualité, riches en sels dissous et ont des températures élevées.

Asmidal Est est la station la plus riche en azote ammoniacal, ce qui peut être expliquée par des taux importants en matières organiques, partiellement dégradées suite à des épisodes d'asphyxie soutenus par des températures élevées.

Asmidal annexe renferme les taux de PO_4^{3-} les plus élevées confirmant ainsi l'activité du complexe (la production des engrais phosphatés).

Asmidal B.P. enregistre principalement, des températures élevées des eaux suite au refroidissement de ses divers circuits de production.

Enfin, du point de vue minéralisation, les eaux d'Asmidal B.P. et Asmidal annexe sont les plus riches en sels dissous.

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Le complexe d'Asmidal contribue de manière significative à la fertilisation du littoral d'Annaba, principalement par l'apport d'azote (NH_4^+) et de phosphore (PO_4^{3-}), qui aboutira probablement à un développement démesuré des algues éphémères dont la décomposition nécessite une grande consommation d'oxygène dissous, conduisant à l'anoxie du milieu et la mort des organismes aquatiques. Circonstances typiques du phénomène de dystrophisation qui seront en outre maintenues par la température élevée de l'eau.

3. 1. 5. La station de la plage de Jouanville

Un suivi bimensuel des descripteurs physico-chimiques des eaux marines de la plage de Jouanville, où sont déversés directement les effluents liquides du complexe de fabrication d'engrais chimiques (engrais phosphatés, les superphosphates et autres), a été effectué durant l'année 2002 –2003. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau qui suit :

Tableau 11. Résultats moyens annuels des descripteurs physico-chimiques de la plage de Jouanville

Descripteurs P. C.	Concentrations		CQEL (1993)	GPES (2001)
	Année 2002	Année 2003		
NH_4^+ (mg.L ⁻¹)	0,8	1,6	0,02 – 0,05	0,1 – 0,15
NO_2^- (mg.L ⁻¹)	0,03*	0,04*	-	-
NO_3^- (mg.L ⁻¹)	0,11	0,43	0,5 – 1	5 – 50
PO_4^{3-} (mg.L ⁻¹)	0,8	0,39	0,03 – 0,06	0,1 – 0,2
T°C	20	19	9 à 20	< 20
CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	79327,47	65103,3	-	23000 – 55000
Minéral (mg.L ⁻¹)	75288,3*	61788,36*	-	-
S ‰	32,35	35	15 – 38	15 – 38

Descripteurs P.C. : descripteurs physico-chimiques ; NH_4^+ : ammonium ; NO_2^- : nitrites ; NO_3^- : nitrates ; PO_4^{3-} : phosphates ; T°C : température en degré Celsius ; CE : conductivité électrique ; Minéral : minéralisation ; S ‰ : salinité pour mille ; chiffre* : pas de norme ; - : pas de normes ; chiffre en gras : dépasse la norme ; CQEL (1993) : classe de qualité des eaux littorales ; GPES (2001) : grille provisoire des lectures des eaux saumâtres utilisée par la CQEL (agence française de l'eau, 2001).

De manière générale, les concentrations des différents descripteurs varient de 0,03 mg.L⁻¹ à 79327,47 mg.L⁻¹ (cf. Tableau 11).

3. 1. 5. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-)

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

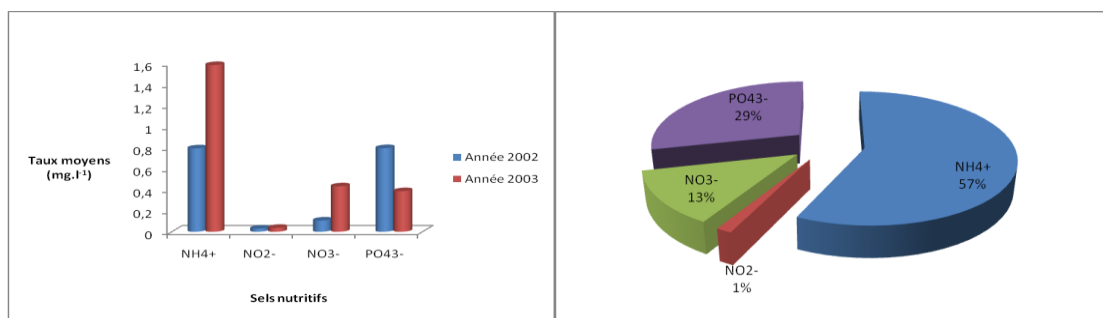


Figure 51. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (année 2003–2004)

Figure 52. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (année 2003–2004)

La figure 51 montre que les concentrations en azote ammoniacal sont relativement importantes et particulièrement durant l'année 2003. Cette hausse peut être attribuée à une activité plus importante du complexe. Cependant, dans tous les cas de figures, les taux en NH₄⁺ restent très élevés et dépassent largement les limites préconisées par la CQEL (cf. Tableau 11). L'eau est de très mauvaise qualité et reflète une pollution excessive (GPES, 2001). L'ammonium constitue à lui seul plus de la moitié (57 %) du total des sels nutritifs (cf. Figure 52) et présente 80 % de la Fraction azotée (cf. figure 53).

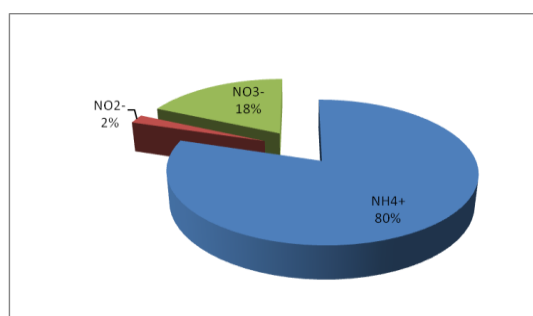


Figure 53. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (année 2003–2004)

De façon générale, les concentrations en azote oxydé (NO₂⁻, NO₃⁻) sont faibles avec une dominance des NO₃⁻. Ces derniers ont vu leur concentration quadruplée durant l'année 2003 (cf. Figure 51), ce qui peut refléter une oxydation épisodique de l'azote ammoniacal. Néanmoins, ils restent dans les limites fixées par la CQEL et GPES. Ils constituent 13 % du total des sels nutritifs (cf. Figure 52) et 18 % de la fraction azotée (cf. Figure 53).

L'azote nitreux reste relativement très faible dans les eaux marines, tout le long de l'année d'étude (cf. Figure 51). Il forme 1 % des sels biogènes (cf. Figure 52) et 2 % de la fraction azotée (cf. Figure 53).

3. 1. 5. 2. Les phosphates

Leurs concentrations restent très élevés dans les eaux marines (cf. Tableau 11) durant toute la période d'étude. Leur source la plus probable est la fabrication des engrais phosphatés et les superphosphates ainsi que les détergents. Ils constituent 29 % des sels dissous (cf. Figure 52).

Leurs concentrations dépassent de loin les normes recommandées par la CQEL (cf. Tableau 11). Ils attribuent à l'eau une très mauvaise qualité témoignant d'une pollution excessive des eaux marines (GPES, 2001).

Enfin, nous pouvons avancer que les effluents directs du complexe d'Asmidal enrichissent le proche littoral principalement en NH_4^+ et en PO_4^{3-} dont les taux dépassent, de façon remarquable, les limites fixées par la CQEL et la GPES. Les eaux sont de très mauvaise qualité suite à une pollution chimique excessive.

3. 1. 5. 3. La température

Les valeurs des températures mesurées des eaux de Jouanville varient de 19°C à 20°C (cf. Tableau 11).

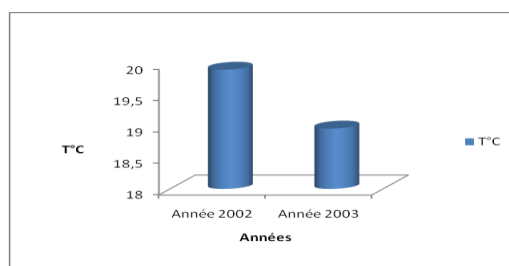


Figure 54. Valeurs moyennes annuelles des températures (année 2003–2004)

Les températures confèrent à l'eau une qualité moyenne, ce qui traduit une éventuelle pollution thermique (GPES, 2001). Cette dernière est probablement due aux lâchés d'eaux chaudes par le complexe.

3. 1. 5. 4. La conductivité électrique (CE)

Les mesures de la CE fluctuent entre une valeur minimale de 65103,3 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ à une valeur maximale de 79327,47 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (cf. Tableau 11).

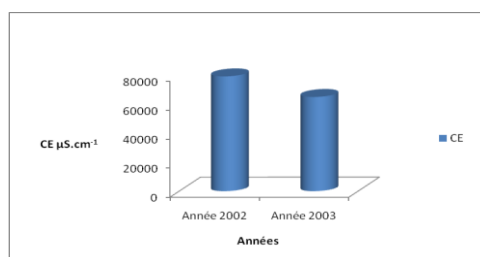


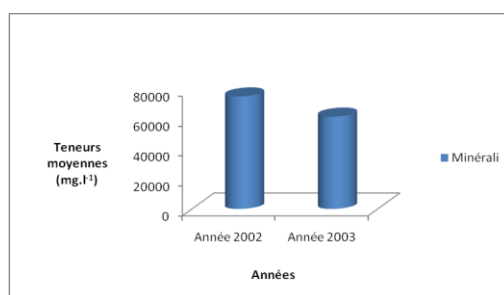
Figure 55. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité (année 2003–2004)

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Les valeurs moyennes de la conductivité sont très élevées (cf. Figure 55) et dépassent largement la limite de $30\,000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ pour les eaux de mer (Rodier, 2009). D'après la GPES, l'eau est de très mauvaise qualité et présente une pollution chimique excessive. Les valeurs importantes de la conductivité ($> 1000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) mettent ainsi en relief une minéralisation élevée des eaux marines (Rodier, 2009). Cet excès en sels dissous peut être dû à des apports exogènes.

3. 1. 5. 5. La minéralisation

Comme la CE, les valeurs de la minéralisation sont également très élevées et fluctuent de $61788,36\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ à $75288,3\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (cf. Tableau 11 et Figure 56).



Figur 56. Valeurs moyennes anuelles de la minéralisation (année 2003–2004)

Les valeurs élevées en sels dissous peuvent témoigner d'une fertilisation importante des eaux marines issue principalement, des effluents liquides du complexe d'Asmidal.

En outre, les conditions climatiques enregistrées au cours de l'année 2002, qui est une année marquée par une sécheresse importante et des températures élevées, ont favorisé les phénomènes de concentration des sels dissous.

3. 1. 5. 6. La salinité

Les valeurs de la salinité mesurées varient entre $32,35\ ‰$ à $35\ ‰$ (cf. Tableau 11).

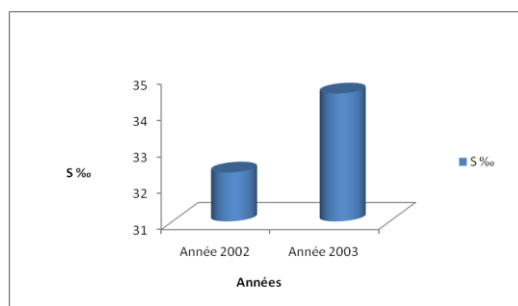


Figure 57. Valeurs moyennes anuelles de la salinité (année 2003–2004)

Les valeurs rencontrées semblent être dans les limites requises pour les eaux marines, selon la CQEL et la GPES.

En se basant sur les descripteurs les plus pénalisants, nous avons pu classer les eaux de la plage de Jouanoville, comme suit :

CHAPITRE 3. Résultats et discussions des variations annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Tableau 12. Qualité des eaux marines de la plage de Jouanoville par rapport aux divers descripteurs physico-chimiques

Descripteurs Physico-chimiques	CQEL (1993)	GPES (2001)
Ammonium (NH ₄ ⁺)	Très mauvaise (32 X supérieure)	Très mauvaise (11 X supérieure)
Nitrites (NO ₂ ⁻)	-	-
Nitrates (NO ₃ ⁻)	Dans la norme	Dans la norme
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	Très mauvaise (13 X supérieure)	Très mauvaise (4 X supérieure)
Température (T°C)	Dans la norme	Moyenne (pollution nette)
Conductivité (CE)	-	Très mauvaise (1 X supérieure)
Minéralisation	-	-
Salinité (S ‰)	Dans la norme	Dans la norme

CQEL (1993) : La grille CQEL (classe de qualité des eaux littorales) qui se rapporte à la qualité générale des eaux de mer établie en 1993 par le groupe CQEL pour le compte du Ministère de l'Environnement Français ; GPES (2001) : grille provisoire des lectures des eaux saumâtres utilisée par la CQEL (agence française de l'eau, 2001). ; - : pas de normes.

Les eaux marines de la plage de Jouanoville subissent une pollution chimique intense, suite aux rejets directs du complexe d'Asmidal. Les valeurs élevées de la CE appuient l'hypothèse de l'enrichissement des eaux marines en sels dissous. À priori, Les sel nutritifs incriminés sont, principalement, l'NH₄⁺ et les PO₄³⁻, qui confèrent une très mauvaise qualité à ces eaux.

En outre, il semblerait que ces eaux littorales subissent une pollution thermique nette, consécutive aux rejets d'eaux chaudes par le complexe chimique.

3. 1. 6. La station de l'oued Mafregh

Loin de toute activité anthropique, cette station est prise comme témoin du bon état écologique d'un hydrosystème. Issu de la confluence de l'oued Bounamoussa et de l'oued El Kébir, l'oued Mafregh forme un petit estuaire qui se jette dans la méditerranée.

Un suivi bimensuel des descripteurs physico-chimiques de l'eau a été réalisé lors de l'année 2003-2004. Les résultats moyens obtenus sont regroupés dans le tableau qui suit :

CHAPITRE 3. Résultats et discussion des variations moyennes annuelles des divers descripteurs physico-chimiques et biochimiques

Tableau 13. Résultats moyens annuels des descripteurs physico-chimiques de l'eau de l'oued Mafregh

Descripteurs P.C.	Concentrations		ABHCSM (2002)	SEQ-Eau (2003)	Rodier (2005)	Rodier (2009)
	Année 2003	Année 2004				
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	0,08	0,13	0,5	0,5	1,5 - 4	0,5 - 1
NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,04	0,03	0,3	0,3	-	0,5
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,1	0,1	25	10	50	50
PO ₄ ³⁻ (mg.L ⁻¹)	0,49	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5
T°C	19,4	17	-	25,5	22 - 25	25
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	33,4	9	5	6	<5 - <7	7
CE (μS.cm ⁻¹)	13029,4	2254,2	-	3000	1000	2000
Minéral (mg.L ⁻¹)	13191	2516	-	3000	-	1200

Descripteurs P.C. : descripteurs physico-chimiques ; NH₄⁺ : ammonium ; NO₂⁻ : nitrites ; NO₃⁻ : nitrates ; PO₄³⁻ : phosphates ; T°C : température en degré Celsius ; DBO₅ : demande biochimique en oxygène après cinq jours d'incubation ; CE : conductivité électrique ; Minéral : minéralisation ; S ‰ : salinité pour mille ; chiffres avec * : pas de normes ; - : pas de normes ; chiffre en gras : dépasse la norme ; ABHCSM (2002) : normes algériennes établies par l'agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; normes de qualité des eaux douces superficielles (Rodier, 2005) ; normes de qualité des eaux de surface (Rodier et al., 2009).

Les concentrations des résultats analytiques de l'oued Mafregh fluctuent de $0,03 \text{ mg.L}^{-1}$ à 13191 mg.L^{-1} (cf. Tableau 13).

3. 1. 6. 1. La fraction azotée (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-)

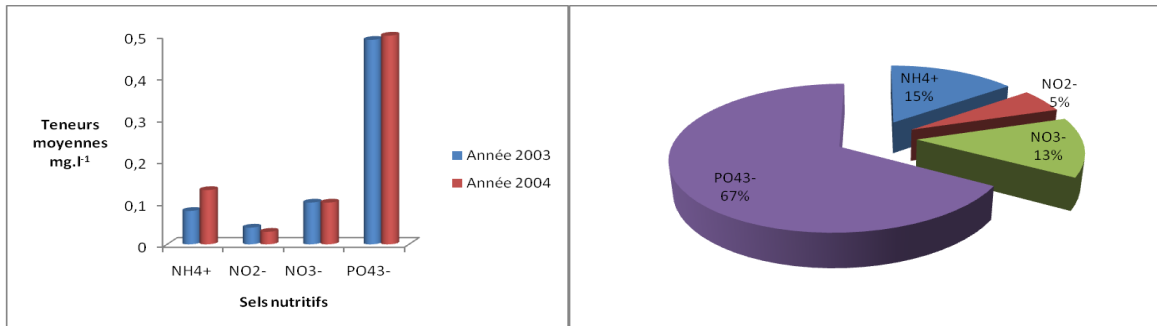


Figure 58. Teneurs moyennes annuelles des sels nutritifs (année 2003-2004)

Figure 59. Pourcentages moyens annuels des sels nutritifs (année 2003-2004)

Globalement, les teneurs en éléments azotés sont faibles et restent en dessous de toutes les normes retenues (cf. Tableau 13). Les teneurs en azote ammoniacal sont faibles durant toute l'année d'étude (cf. Figure 58) et sont inférieures aux limites de qualité préconisées. L'eau est de bonne qualité par rapport aux normes de l'ABHCSM, et présente une excellente aptitude à la biologie et aux usages (production d'eau potable et l'aquaculture) vis-à-vis du SEQ-Eau. L'ammonium constitue 15 % des sels biogènes (cf. Figure 59) et 44 % de la fraction azotée (cf. Figure 60).

D'après la Figure 58, nous remarquons que les taux en NH_4^+ et en NO_3^- sont relativement proportionnels, ce qui semble témoigner d'une bonne nitrification (ou une bonne oxydation) de l'azote ammoniacal en NO_3^- par les micro-organismes aquatiques. Les faibles concentrations en NO_2^- (cf. Tableau 13) mettent en évidence la courte étape transitoire, au cours de laquelle l'azote ammoniacal est rapidement oxydé en NO_3^- , suite à une bonne oxygénation du milieu limnique. Les trois formes d'azote semblent être en équilibre, ce qui traduit des conditions normales du milieu aquatique et un bon pouvoir autoépurateur. Les pourcentages obtenus de la fraction azotée viennent conforter cette hypothèse : l'azote ammoniacal constitue 44 %, les NO_3^- forment 40 % de l'azote et enfin les NO_2^- , naturellement faibles dans les eaux de surface, présente 16 % (cf. Figure 60).

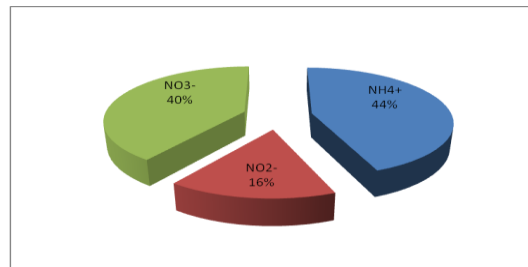


Figure 60. Pourcentages moyens annuels de la fraction azotée (année 2003–2004)

Enfin, la fraction d'azote oxydée reste, elle aussi dans toutes les limites de qualité retenues et confère à l'eau une qualité excellente pour l'aptitude à la biologie et aux divers usages.

3. 1. 6. 2. Les phosphates

La figure 58 illustre une dominance significative des phosphates dans l'eau de l'oued, qui constituent 67 % des sels dissous biogènes (cf. Figure 59). Cependant leurs concentrations restent dans les limites de toutes les normes recommandées (cf. Tableau 13). L'eau est de bonne qualité par rapport aux normes algériennes et présente une bonne aptitude à la biologie eu égard du SEQ-Eau.

Les concentrations des sels nutritifs dans l'eau de la Mafregh sont dans les normes nationales et internationales préconisées. Un équilibre entre les différentes formes d'azote est mis en relief, témoignant ainsi d'une bonne activité microbiologique, consécutive à une bonne oxygénation des eaux.

3. 1. 6. 3. La température

Elle varie de 17 °C à 19,4 °C (cf. Tableau 13). L'année 2004 a apportée des pluies relativement abondantes (ONM d'Annaba, 2012), ce qui a eu pour effet de rafraîchir l'atmosphère et baisser la température de l'air (cf. Figure 61).

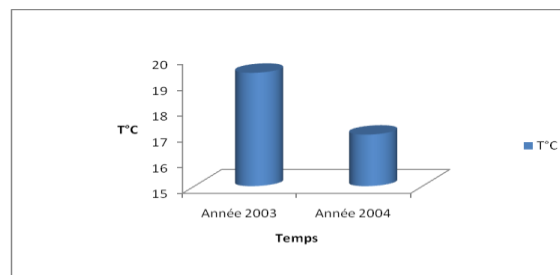


Figure 61. Valeurs moyennes annuelles des températures (année 2003–2004)

Les températures enregistrées au cours de l'année d'étude sont dans les normes et attribuent à l'eau une excellente aptitude à la vie biologique (SEQ-Eau, 2003).

3. 1. 6. 4. La demande biologique en oxygène (DBO₅)

Les valeurs moyennes de la DBO₅ oscillent entre 9 mg.L⁻¹ et 33,4 mg.L⁻¹ (cf. Tableau 13).

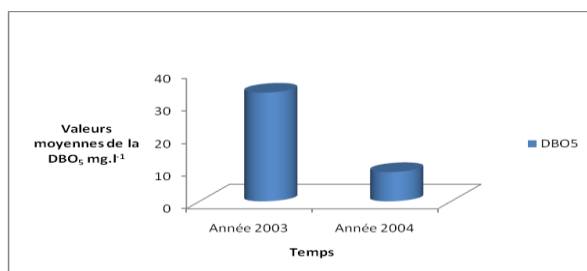


Figure 62. Valeurs moyennes annuelles de la DBO₅ (année 2003–2004)

L'eau de l'oued Mafregh montre une charge importante en matières organiques principalement au cours de l'année 2003 (33,4 mg.L⁻¹). Cependant cette charge élevée en matières organiques tend à diminuer de manière drastique au cours de l'année 2004, témoignant ainsi d'une bonne capacité autoépuratrice du milieu limnique (cf. Figure 62).

Les teneurs élevées en matières organiques, de l'oued Mafregh, peuvent être expliquées par la situation géographique de l'oued. Avant de se rencontrer, les oueds Bounamoussa et El kébir parcourent de longues distances et traversent plusieurs espaces marécageux, riches en végétation, dont le marais de la Mekada. En outre, l'oued El kébir, qui prend sa source en Tunisie, reçoit plusieurs affluents importants tels que : les oueds Messida, Bourdim, Guergour...et dessine de nombreux méandres et draine les eaux de nombreux marécages ou fagnes, s'étendant largement sur ses rives. La rencontre de l'oued Bounamoussa et l'oued El kébir dans garaet el Mekada donne naissance à l'oued Mafregh, seul exutoire vers la Méditerranée (Khaled-Khodja, 1998).

Selon le SEQ-Eau, l'eau de l'oued présente des valeurs relativement élevées en matières organiques biodégradables, ce qui confère à l'eau une mauvaise aptitude à la biologie. Cependant, cette situation paraît être temporaire car l'année 2004 a enregistré une diminution nette de la charge organique, reflétant ainsi une bonne dégradation de la matière organique tributaire d'une bonne capacité autoépuratrice du milieu limnique.

3. 1. 6. 5. La conductivité électrique (CE)

Les valeurs moyennes des CE sont élevées et varient de 2254,2 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ à 13029,4 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (cf. Tableau 13).

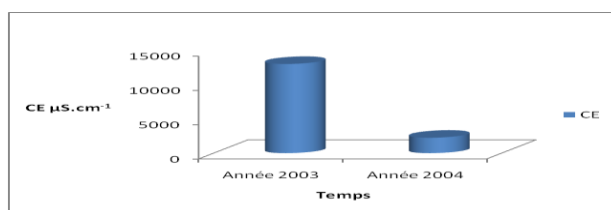


Figure 63. Valeurs moyennes annuelles de la conductivité électrique (année 2003–2004)

La figure 63 montre que les valeurs de la conductivité sont élevées, principalement durant l'année 2003. Mais une baisse significative des valeurs est observée au cours de l'année 2004.

Les valeurs élevées des sels dissous peuvent être attribuées à une intrusion marine et /ou à un enrichissement en sels nutritifs suite à la dégradation de la matière organique. Lors de l'année 2004, nous constatons que la concentration en nutriments a diminué de façon remarquable. Cette baisse notable de la CE est vraisemblablement due au fait, que l'année 2004 a enregistré des précipitations plus étoffées que l'année 2003. Ce qui a permis une bonne dilution des sels, et faciliter ainsi leur assimilation par la biomasse aquatique.

Les valeurs de la CE n'influence pas l'aptitude de l'eau à la biologie mais peuvent occasionner des difficultés pour la production d'eau potable (SEQ-Eau, 2003) ou l'irrigation (Rodier, 2009).

3. 1. 6. 6. La minéralisation

Les valeurs de la minéralisation sont aussi élevées par rapport aux limites retenues. Les concentrations moyennes en sels dissous varient de 2516 mg.L⁻¹ à 3191 mg.L⁻¹ (cf. Tableau 13).

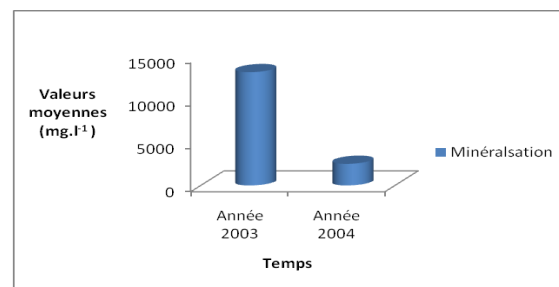


Figure 64. Valeurs moyennes annuelles de la minéralisation (année 2003–2004)

Comme la conductivité électrique, la minéralisation met en relief des teneurs importantes en sels dissous durant l'année 2003. Cependant la situation s'est beaucoup améliorée durant l'année 2004 (cf. Figure 64).

Enfin, nous pouvons avancer sur la base de ce qui a été vu antérieurement, que l'eau de l'oued Mafregh présente globalement, une excellente aptitude à la biologie. Il est toutefois, important de noter que l'oued peut être sujet à une pollution organique temporaire (DBO₅, CE et Minéralisation). Mais cette situation épisodique n'a pas l'air de persister, grâce au pouvoir autoépurateur du milieu naturel et des conditions climatiques plus clémentes (apport en précipitations), qui aura vite fait de rétablir l'équilibre entre le flux de la matière et de l'énergie.

Ce chapitre est subdivisé en deux parties distinctes :

- La première partie s'articule autour de l'interprétation des résultats relatifs aux variations moyennes saisonnières des multi résidus de pesticides (micropolluants organiques) trouvés, durant l'année 2009-2010, dans l'eau et les sédiments des quatre principales sources de pollution de la baie d'Annaba.
- La deuxième partie se focalise sur l'interprétation des variations moyennes saisonnières des éléments traces métalliques (micropolluants minéraux), rencontrés au cours de l'année 2009 - 2010, dans les eaux et les sédiments des quatre principales sources de rejets anthropiques au Golfe.

L'analyse des multi résidus de pesticides dans les eaux et les sédiments des stations sélectionnées (oued Bouhamra, oued Seybouse, Asmidal annexe et Asmidal B.P.) a révélé la présence d'une contamination relativement importante par les micropolluants organiques.

Les références prises en terme d'évaluation de la qualité de l'eau et des sédiments des oueds Bouhamra et la Seybouse (eaux douces) se baseront sur :

- Le système français d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau) préconisée par les agences de l'eau (2003) pour les eaux brutes (version 2).
- La circulaire du 7 mai 2007 DCE/23 définissant les "normes de qualité environnementales provisoires (NQEp)" pour les eaux superficielles françaises (Rodier, 2009).

En outre, nous tenons à préciser que les teneurs des micropolluants organiques trouvées dans l'eau des stations marines (Asmidal B.P. et Asmidal annexe) sont comparées au SEQ "Littoral" (Système de classification pour l'évaluation de la qualité des eaux littorales : grille d'aptitude aux usages et à la biologie, IFREMER 2002) qui oriente pour les contaminants organiques vers la prise en compte des NQEp.

La qualité des sédiments marins est évaluée à partir de deux grilles :

- la grille établie par le Groupe d'Étude et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement : GEODE (arrêté interministériel du 14 juin 2000, J.O.10.80).
- la grille d'évaluation du niveau de contamination chimique sur le littoral français fournie par le réseau national d'observation (RNO, IFREMER 1993).

4. 1. Variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques rencontrés dans l'eau des diverses stations

65 molécules ont été mises en évidence dans les eaux des différentes stations dont la teneur varie de $0,001 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $3,66 \mu\text{g.L}^{-1}$.

4. 1. 1. Analyse des pesticides

4. 1. 1. 1. Les concentrations en insecticides organochlorés

Sur un total de 15 pesticides organochlorés dosés (Aldrine, Alpha HCH, Beta HCH, Chlorothalonil, Delta HCH, Dieldrine, Endosulfan sulfate, Endrine, HCB, Heptachlore époxyde, Lindane, op' DDT, pp' DDD, pp' DDE, pp' DDT) par CPG/MS, deux ont été mis en évidence dans les eaux des diverses stations (cf. tableau 14). Leurs concentrations varient de $0,005 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,062 \mu\text{g.L}^{-1}$.

CHAPITRE 4. Résultats et discussion des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Tableau 14. Les insecticides organochlorés trouvés dans l'eau des diverses stations au cours des quatre campagnes

Organochlorés	Concentrations en µg.l ⁻¹																SEQ-Eau	NQE _p
	Octobre 2009				février 2010				mai 2010				août 2010					
	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP		
Alpha HCH					0,005												-	0,02
Lindane	0,062	0,007	0,005	0,006													0,01	0,02

B : station de l'oued Bouhamra ; S : station de l'oued Seybouse ; As anx : station d'Asmidal annexe ; As BP : station d'Asmidal bassin principal ; chiffre en gras : dépasse la norme ; - : pas de ormes ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQE_p : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

4. 1. 1. 1. 1. Station de l'oued Bouhamra

Au cours de la période automnale, un insecticide organo chloré, le lindane a été mis en évidence dans l'eau de l'oued (cf. tableau 14). Sa concentration est 6 fois supérieure à la limite préconisée par le SEQ-Eau et confère ainsi, à l'eau une aptitude passable à la vie biologique. Par rapport aux NQEp, sa concentration équivaut le triple de la norme, ce qui témoigne du mauvais potentiel biologique de l'eau.

L'Alpha HCH a été signalé durant la saison hivernale et reste dans les normes NQEp (cf. tableau 14).

4. 1. 1. 1. 2. Station de l'oued Seybouse

Dans l'oued du lindane a également été mis en évidence mais sa concentration reste dans les normes préconisées par le SEQ-Eau et les NQEp (cf. tableau 14).

4. 1. 1. 1. 3. Station d'Asmidal annexe

La concentration en lindane de l'eau est dans la norme recommandée par les NQEp (cf. tableau 14).

4. 1. 1. 1. 4. Station d'Asmidal B.P.

La concentration en lindane de l'eau de ce bassin reste dans la norme préconisée par les NQEp (cf. tableau 14).

Sur ce qui a été vu, précédemment, nous pouvons dire que l'oued Bouhamra a la concentration la plus élevée en lindane et dépasse largement les normes. Sa valeur est environ 10 fois supérieure aux concentrations enregistrées dans les autres stations. Les concentrations en lindane restent dans la norme du SEQ-Eau et les NQEp pour la Seybouse, Asmidal annexe et Asmidal B.P.

Nous tenons à signaler également, que le lindane est une substance radiée de l'annexe I de la directive 91/414/CE, depuis l'année 2002. En outre, l'Alpha HCH et le lindane figurent dans l'annexe X de la DCE. Ils sont classés comme substances prioritaires dangereuses. La comparaison des teneurs de ces substances toxiques avec les normes est résumée dans le tableau 15.

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Tableau 15. Comparaison des teneurs en insecticides organochlorés des diverses stations avec les normes

Substances prioritaires dangereuses Stations	Alpha HCH		Lindane	
	SEQ-Eau	NQEp	SEQ-Eau	NQEp
Oued Bouhamra	-	Dans la norme	6 fois supérieure	3 fois supérieure
Oued Seybouse	Abs	Abs	Dans la norme	Dans la norme
Asmidal annexe	Abs	Abs		Dans la norme
Asmidal B.P.	Abs	Abs		Dans la norme

- : pas de norme ; Abs : absent ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQEp : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

D'après le tableau 15, nous remarquons que l'oued Bouhamra renferme deux insecticides organochlorés, particulièrement dangereux. Les concentrations en lindane sont bien supérieures aux normes admises dans cet oued, contrairement aux trois autres stations.

En se basant sur les différentes concentrations trouvées, nous avons pu établir la classification des eaux dans le tableau suivant :

Tableau 16. Qualité des eaux des diverses stations par rapport aux insecticides organochlorés

Normes Stations	SEQ-Eau				NQEp			
	oct 09	fév 01	mai 01	août 01	oct 09	fév 01	mai 01	août 01
Bouhamra		Abs	Abs	Abs		Abs	Abs	Abs
Seybouse		Abs	Abs	Abs		Abs	Abs	Abs
Asmid annexe	-	-	-	-		Abs	Abs	Abs
Asmid B.P.	-	-	-	-		Abs	Abs	Abs

Le code couleur pour le SEQ-Eau est : rouge = très mauvaise ; orange : mauvaise, jaune : passable ; vert : bonne ; bleu : très bonne ; Le code couleur pour les NQEp est : rouge = mauvaise ; orange : médiocre, jaune : moyenne ; bleu : très bonne ; - : pas de normes ; Abs : absence ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQEp : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

Nous observons que l'eau de l'oued Bouhamra est contaminée par les insecticides organochlorés, particulièrement le lindane. Elle présente donc, une aptitude passable à la biologie, selon le SEQ-Eau et un mauvais potentiel biologique vis-à-vis aux NQEp.

Les insecticides organochlorés dans les autres stations restent dans les limites préconisées. Les eaux présentent donc, une bonne aptitude à la biologie.

4. 1. 1. 2. Les concentrations en insecticides organophosphorés

Sur un total de 12 insecticides organophosphorés dosés (Azinphos éthyl, Azinphos méthyl, Chlorfenvinphos, Chlorpyriphos, Diazinon, Dichlorvos, Ethion, Ethoprofos, Malathion, Méthyl parathion, Parathion éthyl, Phosdrine), deux ont été mis en évidence dans les eaux de deux stations (cf. tableau 17). Leurs concentrations varient de 0,015 $\mu\text{g.L}^{-1}$ à 0,084 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

CHAPITRE 4. Résultats et discussion des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Tableau 17. Les insecticides organophosphorés trouvés dans l'eau des diverses stations au cours des quatre campagnes

Organophosphorés	Concentrations en µg.l ⁻¹																SEQ-Eau	NQE _p
	Octobre 2009				février 2010				mai 2010				août 2010					
	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP		
Dichlorvos	0,084																-	0,001
Malathion	0,018	0,015															-	0,01

B : station de l'oued Bouhamra ; S : station de l'oued Seybouse ; As anx : station d'Asmidal annexe ; As BP : station d'Asmidal bassin principal ; - : pas de normes ; chiffre en gras : dépasse la norme ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQE_p : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

4. 1. 1. 2. 1. Station de l'oued Bouhamra

L'eau de cet oued renferme du dichlorvos et du malathion qui ont été trouvés durant la campagne d'octobre (cf. tableau 17).

Nous constatons que les concentrations des deux pesticides organophosphorés dépassent largement les NQEp. L'eau a un mauvais potentiel biologique.

4. 1. 1. 2. 2. Station de l'oued Seybouse

Le malathion a été mis en évidence dans l'eau de la Seybouse durant la période automnale (cf. tableau 17). Sa concentration est supérieure aux NQEp. L'eau a un mauvais potentiel biologique.

Enfin, nous pouvons avancer que les insecticides organophosphorés ont été trouvés que dans deux stations, durant la saison automnale. Leurs concentrations sont relativement élevées, particulièrement dans l'oued Bouhamra, et dépassent les NQEp (cf. tableau 18).

Le dichlorvos et le malathion sont deux substances qui ont été radiées durant l'année 2008, de l'annexe I de la directive 91/414/CE. Ils appartiennent aussi à la famille des substances pertinentes (liste II de la directive 76/464, hors métaux).

La comparaison des teneurs en ces substances dangereuses pour le milieu aquatique aux NQEp est illustrée dans le tableau qui suit :

Tableau 18. Comparaison des teneurs en insecticides organophosphorés, rencontrés dans les oueds Bouhamra et la Seybouse aux NQEp.

Substances pertinentes	NQEp	
	Oued Bouhamra	Oued Seybouse
Dichlorvos	84 fois supérieure	Abs
Malathion	2 fois supérieure	2 fois supérieure

NQEp : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009) ; Abs : absent.

L'oued Bouhamra est principalement contaminé par le dichlorvos et le malathion tandis que la Seybouse est altéré par le malathion.

En se basant sur l'insecticide le plus déclassant dans les deux stations, nous avons pu évaluer la qualité des eaux comme suit :

Tableau 19. Qualité des eaux des oueds Bouhamra et la Seybouse par rapport aux insecticides organophosphorés

Normes Stations	NQEp			
	oct 09	fév 01	mai 01	août 01
Oued Bouhamra		Abs	Abs	Abs
Oued Seybouse		Abs	Abs	Abs

Selon les NQEp, nous observons que les eaux des deux stations sont contaminées par les insecticides organophosphorés et présentent un mauvais potentiel biologique.

4. 1. 1. 3. Les concentrations en herbicides

Sur un total de 78 herbicides dosés par CPG/MS (cf. annexe II), 28 herbicides ont été mis en évidence dans les eaux des diverses stations. Les concentrations trouvées fluctuent de $0,002 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,054 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 20).

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Tableau 20. Les herbicides trouvés dans l'eau des diverses stations au cours des quatre campagnes

Herbicides	Concentrations en µg.l ⁻¹																SEQ-Eau	NQE _p
	Octobre 2009				février 2010				mai 2010				août 2010					
	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP		
Bentazone				0,005													190	70
Bromacile		0,022*												0,022*			-	-
Bromoxynil			0,013*														-	-
Dicamba	0,027																3,9	-
Dichlorprop					0,007		0,005										0,5	1,6
Dinoterbe		0,013		0,010*								0,005*					0,003	-
Diuron		0,009	0,004	0,005			0,011			0,003	0,007	0,007		0,010	0,012		0,2	0,2
Dimethachlor			0,008*														-	-
2,4-D	0,027	0,027		0,008					0,029	0,075							0,0001	1,5
Flazasulfuron									0,008*	0,008*	0,008*	0,009*					-	-
Flufenacet			0,005*														-	-
Fluroxypir						0,006				0,011	0,012	0,006					-	0,30
Iodosulfuron méthyle sodium												0,002*		0,032*			-	-
Isoproturon	0,003																0,2	0,3
Isoxaben			0,005*														-	-
2 Hydroxy atrazine							0,003										0,2	0,6
Lenacil										0,021*	0,020*	0,020*					-	-
Linuron					0,004												0,5	1
2,4-MCPA			0,005														-	0,1
Mésosulfuron méthyle									0,013*	0,007*		0,010*	0,054*	0,010*		0,006*	-	-
Mesotrione									0,039*		0,038*						-	-
Methabenzthiazuron							0,006										8,4	-
Metoxuron										0,005*	0,006*	0,005*					-	-
Métribuzine										0,038*							-	-
Metobromuron					0,004*												-	-
Nicosulfuron			0,010*						0,019*	0,024*	0,025*	0,024*					-	-
Propyzamide	0,005*																-	-
Terbutryne		0,005								0,004							0,3	-

B : station de l'oued Bouhamra ; S : station de l'oued Seybouse ; As anx : station d'Asmidal annexe ; As BP : station d'Asmidal bassin principal ; chiffre avec * : pas de norme ; - : pas de normes ; chiffre en gras : dépasse la norme ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQE_p : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier,2009).

4. 1. 1. 3. 1. Station de l'oued Bouhamra

Quatre herbicides ont été détectés dans l'oued, au cours de la saison automnale. Leurs concentrations varient de $0,003 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,027 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 20). La plupart des herbicides sont dans les normes, sauf le 2,4-D qui dépasse largement la limite du SEQ-Eau et attribue à l'eau une mauvaise aptitude à la biologie.

Au cours de la saison hivernale, trois herbicides ont été trouvés dont les concentrations fluctuent entre $0,004 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,007 \mu\text{g.L}^{-1}$. Cependant, ils restent dans les normes (cf. tableau 20).

Cinq herbicides ont été détectés lors de la campagne de mai (cf. tableau 20). Leurs concentrations fluctuent de $0,008 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,039 \mu\text{g.L}^{-1}$. Le 2,4-D dépasse de loin la limite préconisée par le SEQ-Eau et classe l'eau comme mauvaise à la vie biologique.

Un seul herbicide a été détecté lors de la saison estivale (cf. tableau 20).

4. 1. 1. 3. 2. Station de l'oued Seybouse

Lors de la saison automnale, cinq herbicides ont été détectés. Leurs concentrations varient de $0,005 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,027 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 20). Deux herbicides dépassent largement le SEQ-Eau, à savoir le dinoterbe et le 2,4-D. L'eau est ainsi classée comme passable à mauvaise pour la vie aquatique.

Un seul herbicide a été signalé au cours de la période hivernale et reste dans les NQEp (cf. tableau 20).

Dix herbicides ont été mis en évidence au cours de la saison printanière. Leurs concentrations fluctuent de $0,003 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,075 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 20). Un herbicide, le 2,4-D, dépasse largement la limite recommandée par la SEQ-Eau. L'eau est d'aptitude mauvaise à la biologie.

Pendant la saison estivale, quatre herbicides ont été détectés. Leurs concentrations varient de $0,010 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,032 \mu\text{g.L}^{-1}$. Le diuron reste dans les limites des deux normes (cf. tableau 20).

4. 1. 1. 3. 3. Station d'Asmidal annexe

Sept herbicides ont été retrouvés dans l'eau de ce petit bassin durant la période automnale. Leurs concentrations varient de $0,004 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,013 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 20). Le diuron et le 2,4-MCPA sont dans les limites des NQEp.

Lors de la saison hivernale, quatre herbicides ont été détectés. Leurs concentrations varient de $0,003 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,011 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 20). Les concentrations trouvées restent dans les normes (NQEp).

Sept herbicides ont été mis en évidence dans l'eau lors de la saison printanière. Les concentrations fluctuent de $0,006 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,038 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 20). Cependant pour la plupart des concentrations trouvées, nous n'avons pas de normes, mis à part le diuron et le fluroxypir, qui restent dans les limites des NQEp.

Un seul herbicide (le diuron) est mis en évidence lors de la campagne d'août et il est dans les NQEp.

4. 1. 1. 3. 4. Station d'Asmidal B.P.

Pendant la période automnale, quatre herbicides ont été détectés dans l'eau. Les concentrations varient de $0,005 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,010 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 20). Ils restent dans les NQEp.

Neuf herbicides ont été trouvés, lors de la saison printanière. Leurs concentrations varient de $0,002 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,024 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 20). Le diuron et le fluroxypir restent dans les NQEp.

Au cours de la saison estivale, un seul herbicide a été signalé (cf. tableau 20).

Enfin, nous pouvons dire que beaucoup d'herbicides ont été trouvés dans les eaux des diverses stations, le long des quatre campagnes. Malheureusement, la majorité des herbicides n'ont pas de normes. C'est pourquoi, il est difficile de conclure.

Cependant, nous pouvons exploiter les limites de qualité des eaux brutes pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (Décret français n° 2001-1220 : JO 22 décembre 2001), que pour l'eau de l'oued Seybouse. Cette limite est de $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ pour les substances individualisées et de $5 \mu\text{g.L}^{-1}$ pour la somme des pesticides. Tous les herbicides rencontrés à la Seybouse sont en dessous de ces normes.

Nous tenons, également à signaler la mise en évidence, dans les eaux des diverses stations, d'un certain nombre d'herbicides radiés de l'annexe I de la directive 91/414/CE. Nous citerons : le bromacile, le dichlorprop, le dinoterbe, le methabenzthiazuron, le metobromuron et la terbutryne.

En outre, le diuron et l'isoproturon figurent dans l'annexe X de la Directive 2000/60/CE, comme étant des substances prioritaires. Le 2,4-D, le dichlorprop, le linuron, le fluroxypir, 2,4-MCPA et le bentazone font partie des substances pertinentes du programme national français de réduction des substances dangereuses (tableau 7 de l'arrêté du 20 avril 2005).

La comparaison des teneurs de ces substances dangereuses, pour le milieu limnique, avec les normes du SEQ-Eau et les NQEp, est illustrée dans le tableau 21.

Tableau 21. Comparaison des teneurs en herbicides rencontrés dans les différentes stations aux normes du SEQ–Eau et aux NQEp

Normes Substances		SEQ-Eau		NQEp			
		Bouh	Seyb	Bouh	Seyb	As anx	As B. P.
Substances prioritaires	Diuron		DN		DN	DN	DN
	Isoproturon	DN		DN			
Substances pertinentes	Bentazone						DN
	Dichlorprop	DN		DN		DN	
	Fluroxypir		-		DN	DN	DN
	Linuron	DN		DN			
	2,4-D	290 fois sup	750 fois sup	DN	DN		DN
	2,4-MCPA					DN	

Bouh : oued Bouhamra ; Seyb : oued Seybouse, As anx : Asmidal annexe ; As B.P. : Asmidal bassin principal ; 2,4-D : L'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique ; 2,4-MCPA : acide 2-méthyl-4 chlorophénoxyacétique ; DN : dans la norme ; sup : supérieure ; - : pas de norme ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQEp : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

Nous observons que des substances dangereuses pour l'environnement existent dans toutes les stations. Cependant, elles restent dans les normes sauf le 2,4-D, qui a des concentrations très élevées par rapport au SEQ–Eau. L'oued Seybouse renferme des teneurs importantes en 2,4-D provenant probablement, des activités agricoles largement répandues sur ses rives.

L'oued Bouhamra est aussi altéré par le 2,4-D.

Enfin, sur la base des limites recommandées par la SEQ–Eau et les NQEp, et le paramètre le plus déclassant, nous avons pu classer les eaux des différentes stations comme suit :

Tableau 22. Qualité des eaux des diverses stations par rapport aux herbicides

Normes Stations	SEQ-Eau				NQE _p			
	Oct 09	fév 01	mai 01	août 01	Oct 09	fév 01	mai 01	août 01
Bouhamra				-				-
Seybouse								-
Asmid annexe	-	-	-	-				
Asmid B.P.	-	-	-	-	-	Abs	-	-

Le code couleur pour le SEQ-Eau est : rouge = très mauvaise ; orange : mauvaise, jaune : passable ; vert : bonne ; bleu : très bonne ; Le code couleur pour les NQE_p est : rouge = mauvaise ; orange : médiocre, jaune : moyenne ; bleu : très bonne ; - : pas de normes ; Abs : absence ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQE_p : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

Par rapport au SEQ-Eau, les eaux de l'oued Bouhamra et la Seybouse sont contaminées par les herbicides, principalement au cours de la saison automnale et de la saison printanière.

4. 1. 1. 4. Les concentrations en fongicides et divers

Sur un total de 26 fongicides et 40 pesticides dosés (cf. annexe II), 11 pesticides ont été trouvés dans les eaux des diverses stations (6 fongicides, 4 insecticides et un molluscicide). Les concentrations obtenues varient de 0,005 µg.L⁻¹ à 0,223 µg.L⁻¹ (cf. tableau 23).

CHAPITRE 4. Résultats et discussion des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Tableau 23. Les Fongicides et autres pesticides trouvés dans l'eau des diverses stations au cours des quatre campagnes

Fongicides et autres	Concentrations en µg.l ⁻¹																SEQ-Eau	NQE _p
	Octobre 2009				février 2010				mai 2010				août 2010					
	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP		
Azoxystrobine					0,013*	0,013*	0,013*										-	-
Carbendazime	0,025								0,007	0,005			0,046	0,024			0,007	-
Flusilazole									0,032								1	
Imidacloprid										0,006*							-	-
Lambda-cyhalothrine													0,12*				-	-
Métalaxyle										0,017*							-	-
Méthaldéhyde			0,079*	0,074*													-	-
Perméthrine													0,189*				-	-
Piperonyl butoxyde		0,008*											0,223*				-	-
Propamocarb HCl											0,020*		0,016*	0,008*			-	-
Propiconazole	0,008*									0,011*							-	-

B : station de l'oued Bouhamra ; S : station de l'oued Seybouse ; As anx : station d'Asmidal annexe ; As BP : station d'Asmidal bassin principal ; chiffre avec * : pas de norme ; - : pas de normes ; chiffres en gras : dépasse la norme ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQE_p : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

4. 1. 1. 4. 1. Station de l'oued Bouhamra

Au cours de la période automnale, deux fongicides ont été mis en évidence. Leurs concentrations varient de $0,008 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,025 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 23). Le carbendazime vaut plus que le triple de la norme, recommandée par le SEQ-Eau, et attribue à l'eau une aptitude passable à la biologie.

Un fongicide a été mis en évidence lors de la période hivernale (cf. tableau 23).

Les deux fongicides présents durant la saison printanière ont des concentrations qui varient de $0,007 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,032 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 23). Ils sont dans les limites préconisées par le SEQ-Eau.

Durant la saison estivale deux fongicides (le carbendazime et le propamocarb HCl) et trois insecticides (lambda cyhalothrine, perméthrine et piperonyl butoxyde) ont été mis en évidence. Les concentrations fluctuent de $0,016 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,223 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 23). Cependant le carbendazime a une concentration 7 fois supérieure à la norme du SEQ-Eau. L'eau est d'aptitude passable à la biologie.

4. 1. 1. 4. 2. Station de l'oued Seybouse

Pendant la campagne d'octobre un insecticide, le Piperonyl butoxyde (adjuvant) a été trouvé (cf. tableau 23).

L'azoxystrobine a été mis en évidence durant la saison hivernale.

Lors de la période printanière un insecticide (imidacloprid) et trois fongicides (carbendazime, métalaxyle et propiconazole) ont été mis en relief. Les concentrations fluctuent de $0,005 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,017 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 23). Le carbendazime reste dans la limite du SEQ-Eau.

Deux fongicides ont été trouvés au cours de la saison estivale. Les concentrations varient de $0,008 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,024 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 23). Le carbendazime a une concentration trois fois supérieure à la limite du SEQ-Eau. L'eau est de qualité passable à la vie biologique.

Nous remarquons la présence dans cet oued du métalaxyle, qui est un fongicide radié de l'annexe I de la directive 91/414/CE.

4. 1. 1. 4. 3. Station d'Asmidal annexe

Un molluscicide (méthaldéhyde) a été détecté dans l'eau de cette station au cours de la campagne automnale (cf. tableau 23).

Deux fongicides (azoxystrobine et propamocarb HCl) ont été signalés, l'un au cours de la période hivernale et l'autre durant la période printanière (cf. tableau 23).

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

4. 1. 1. 4. 4. Station d'Asmidal B.P.

Un molluscicide (méthaldéhyde) a été détecté au cours de la saison automnale (cf. tableau 23).

En dernier, nous pouvons avancer que quelques fongicides et divers pesticides ont été mis en évidence dans les eaux des différentes stations. Faute de normes pour les pesticides, nous nous sommes basés que sur les normes disponibles pour les fongicides afin de classer les eaux des deux stations. Le fongicide le plus déclassant a été pris en considération (cf. tableau 24).

Tableau 24. Qualité des eaux des diverses stations par rapport aux fongicides

Normes Stations	SEQ-Eau				NQE _p			
	oct 09	fév 01	mai 01	août 01	oct 09	fév 01	mai 01	août 01
Bouhamra		-			-	-	-	-
Seybouse	-	-			-	-	-	-
Asmid annexe	-	-	-	-	-	-	-	Abs
Asmid B.P.	-	-	-	-	-	Abs	Abs	Abs

jaune : passable ; vert : bonne ; bleu : très bonne ; - : pas de normes ; Abs : absence ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQE_p : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

Les eaux de l'oued Bouhamra et la Seybouse sont altérées par les fongicides principalement durant la saison estivale. Néanmoins, nous remarquons que les concentrations en fongicides dans l'oued Bouhamra sont plus élevées que celles de la Seybouse.

Pour conclure, nous avons établi, sur la base de tous les résultats obtenus, pour les diverses stations, durant les quatre campagnes, le tableau de classification suivant :

Tableau 25. Qualité des eaux des diverses stations par rapport aux différents paramètres, au cours des quatre campagnes

Familles	SEQ-Eau		NQE _p			
	B	S	B	S	As anx	As BP
Organochlorés						
Organophosphorés	-	-			Abs	Abs
Herbicides						
Fongicides et autres			-	-	-	-

B : station de l'oued Bouhamra ; S : station de l'oued Seybouse ; As anx : station d'Asmidal annexe ; As BP : station d'Asmidal bassin principal ; - : pas de normes ; Abs : absence ; Le code couleur pour le SEQ-Eau est : rouge = très mauvaise ; orange : mauvaise, jaune : passable ; vert : bonne ; bleu : très bonne ; Le code couleur pour les NQE_p est : rouge = mauvaise ; orange : médiocre, jaune : moyenne ; bleu : très bonne ;

SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQE_p : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009). HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques ; Σ PCB : somme des polychlorobiphényles.

Les stations les plus polluées sont respectivement : l'oued Bouhamra et l'oued Seybouse.

Cette altération est principalement due aux insecticides organophosphorés et organochlorés, aux herbicides, et enfin aux fongicides.

Selon le SEQ–Eau, nous pouvons dire que :

- L'eau de l'oued Bouhamra est la plus polluée. Elle est altérée principalement par les herbicides, les insecticides organochlorés et les fongicides. Son eau est d'aptitude mauvaise à la vie biologique.
- L'eau de l'oued Seybouse est sujette à une altération par les herbicides et les fongicides. L'eau est d'aptitude mauvaise à la vie biologique.

Selon les NQEp, nous pouvons avancer ce qui suit :

- L'eau de l'oued Bouhamra est la plus polluée et elle est altérée principalement, par les insecticides organochlorés et les insecticides organophosphorés. L'eau a un mauvais potentiel biologique.
- Vient ensuite l'eau de la Seybouse qui subit une altération par les insecticides organophosphorés. L'eau est de mauvaise qualité pour la vie aquatique.
- Asmidal annexe et Asmidal bassin principal (B.P.) semblent être exemptes d'une contamination par les pesticides et présentent donc, un bon potentiel biologique.

Les teneurs en polluants dans les eaux diffèrent d'une station à l'autre et d'une saison à l'autre :

- Dans l'oued Bouhamra, les fongicides ont enregistré les teneurs les plus élevées durant la saison estivale. Les insecticides organochlorés et organophosphorés, au cours de la saison automnale. Les herbicides durant la saison printanière.
- Dans l'oued Seybouse, les teneurs les plus élevées en insecticides organophosphorés ont été trouvées au cours de la période automnale. Les concentrations les plus élevées en herbicides durant la saison printanière. Enfin, la saison estivale a enregistré les teneurs les plus élevées en fongicides.

En dernier lieu, nous pouvons dire que les insecticides organochlorés et organophosphorés sont plus abondants au cours de la saison automnale. Les herbicides durant la saison printanière et les fongicides durant la saison estivale. Ce qui semble bien coïncider avec les périodes d'épandage des produits phytosanitaires dans les diverses pratiques agricoles.

4. 2. Variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques rencontrés dans les sédiments des diverses stations

29 molécules ont été mises en évidence dans les sédiments des différentes stations. Leurs concentrations varient de 0,3 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ à 107,3 $\mu\text{g.kg}^{-1}$.

4. 2. 1. Analyse des pesticides

4. 2. 1. 1. Les concentrations en insecticides organo chlorés et autres pesticides

Sur un total de 15 insecticides organochlorés, 12 insecticides organophosphorés et 11 autres insecticides dosés, 6 seulement ont été mis en évidence dans les sédiments des diverses stations (3 organochlorés et 3 insecticides appartenant à la famille des Pyréthrinoides). Les concentrations fluctuent de $1,4 \mu\text{g.kg}^{-1}$ à $9,66 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (cf. tableau 26).

CHAPITRE 4. Résultats et discussion des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Tableau 26. Les insecticides organochlorés et autres pesticides trouvés dans le sédiment des diverses stations au cours des quatre campagnes

organochlorés et autres	Concentrations en $\mu\text{g.kg}^{-1}$																SEQ-Eau
	Octobre 2009				février 2010				mai 2010				août 2010				
	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	
HCB													1,4				45
Lambda-cyhalothryne													4,00*				-
Perméthrine										4,4*							-
Phénothrine	9,66*																-
pp'DDE	2,19				2,5					4,00*			1,9				3,1
pp'DDD	4,24				1,6					2,7			3,8				310

B : station de l'oued Bouhamra ; S : station de l'oued Seybouse ; As anx : station d'Asmidal annexe ; As BP : station d'Asmidal bassin principal ; HCB : hexachlorobenzène ; chiffre avec * : pas de norme ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003).

4. 2. 1. 1. 1. Station de l'oued Bouhamra

Trois insecticides organo-chlorés ont été mis en évidence dans le sédiment de cet oued. Les concentrations varient de $1,4 \mu\text{g.kg}^{-1}$ à $4,24 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (cf. tableau 26).

La période automnale a enregistré les concentrations les plus élevées. Deux insecticides organo-chlorés ont été trouvés dont les concentrations varient de $2,19 \mu\text{g.kg}^{-1}$ à $4,24 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (cf. tableau 26). Cependant, ils restent dans la limite préconisée par le SEQ-Eau. Le sédiment est d'une très bonne à bonne aptitude à la vie biologique.

Deux insecticides organo-chlorés ont été trouvés lors de la période hivernale. Les concentrations fluctuent de $1,6 \mu\text{g.kg}^{-1}$ à $2,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (cf. tableau 26). Les concentrations restent dans la norme du SEQ-Eau. Le sédiment est de très bonne à bonne aptitude pour la biologie.

Trois insecticides organochlorés ont été mis en évidence durant la période estivale. Les concentrations varient de $1,4 \mu\text{g.kg}^{-1}$ à $3,8 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (cf. tableau 26). Ces dernières restent dans la limite fixée par le SEQ-Eau. Le sédiment est d'aptitude très bonne à bonne pour la biologie.

En outre, nous signalons la présence d'autres insecticides dans le sédiment de cet oued : la phénothrine ($9,66 \mu\text{g.kg}^{-1}$), la perméthrine ($4,4 \mu\text{g.kg}^{-1}$) et lambda-cyhalothryne ($4 \mu\text{g.kg}^{-1}$) (cf. tableau 26).

4. 2. 1. 1. 2. Station de l'oued Seybouse

Trois insecticides organo-chlorés ont été mis en évidence dans le sédiment de l'oued, au cours de la période printanière. Les concentrations fluctuent de $2,7 \mu\text{g.kg}^{-1}$ à $4 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (cf. tableau 26). Le pp'DDE dépasse la norme préconisée par le SEQ-Eau. Le sédiment est d'aptitude passable à la biologie.

La perméthrine qui est un insecticide, interdit par l'union européenne (2000/817/CE), a été mis en évidence au cours de la saison printanière dans le sédiment. Sa concentration est de $4,4 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (cf. tableau 26).

À partir des résultats, nous pouvons dire que le sédiment de l'oued Bouhamra présente le plus grand nombre d'insecticides organo-chlorés avec les concentrations les plus élevées. Ces dernières restent néanmoins, en deçà de la norme préconisée par le SEQ-Eau.

Les insecticides organo-chlorés ont été détectés dans le sédiment de l'oued Seybouse que pendant la période printanière. Le sédiment est qualifié d'aptitude passable à la vie biologique.

En se basant sur les différentes concentrations des insecticides trouvées, nous avons pu établir la classification des sédiments des différentes stations comme suit :

Tableau 27. Qualité des sédiments des diverses stations par rapport aux insecticides organochlorés

Stations	Normes	SEQ-Eau
Oued Bouhamra		Vert
Oued Seybouse		Jaune

jaune : passable ; vert : bonne ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003).

Il sort de cette classification, que le sédiment de l'oued Seybouse est contaminé par les insecticides organochlorés, essentiellement des produits de dégradation du DDT. Ces derniers lui attribuent une aptitude passable à la biologie.

Malgré la présence d'un nombre relativement important d'insecticides organochlorés dans l'oued Bouhamra, leurs concentrations restent en deça des limites préconisées par le SEQ-Eau. Le sédiment présente une bonne aptitude à la biologie.

4. 2. 1.2. Les concentrations en herbicides

Sur un total de 78 herbicides dosés (cf. annexe II), seulement 3 ont été mis en évidence dans les sédiments de trois stations (l'oued Seybouse, Asmidal annexe et Asmidal B.P.). Les concentrations varient de $1,1 \mu\text{g.kg}^{-1}$ à $3,9 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (cf. tableau 28).

CHAPITRE 4. Résultats et discussion des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Tableau 28. Les herbicides trouvés dans les sédiments des diverses stations au cours des quatre campagnes

Herbicides	Concentrations en $\mu\text{g.kg}^{-1}$																SEQ-Eau
	Octobre 2009				février 2010				mai 2010				août 2010				
	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	
Benfluraline										3,9*							-
Dichlorprop										3,7*						1,1*	-
Diuron				1,2*													-

B : station de l'oued Bouhamra ; S : station de l'oued Seybouse ; As anx : station d'Asmidal annexe ; As BP : station d'Asmidal bassin principal ; chiffre avec * : pas de la norme ; - : pas de normes ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003).

4. 2. 1. 2. 1. Station de l'oued Seybouse

Deux herbicides (benfluraline et dichlorprop) ont été détectés dans le sédiment de l'oued, au cours de la saison printanière. Leurs concentrations varient de 3,7 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ à 3,9 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (cf. tableau 28).

4. 2. 1. 2. 2. Station d'Asmidal annexe

Le dichlorprop a été mis en évidence lors de la période estivale avec une concentration de 1,1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (cf. tableau 28).

4. 2. 1. 2. 3. Station d'Asmidal B.P.

Le diuron a été mis en évidence lors de la campagne d'octobre. Sa concentration est de 1,2 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (cf. tableau 28).

Trois herbicides, seulement, ont été trouvés dans les sédiments des trois stations. Le sédiment de l'oued Seybouse représente le plus grand nombre d'herbicides avec les concentrations les plus élevées. Vient ensuite, Asmidal B.P. et Asmidal annexe.

Faute de normes, nous n'avons pas pu classer les sédiments des diverses stations vis-à-vis aux herbicides.

La synthèse des résultats obtenus, antérieurement, pour les sédiments des différentes stations, nous a permis d'établir le tableau de de classification suivant :

Tableau 29. Qualité des sédiments des différentes stations au cours des quatre campagnes

Familles	SEQ-Eau			
	O. Bouhamra	O. Seybouse	Asmidal annexe	Asmidal B. P.
Organo-chlorés et autres			Abs	Abs
Herbicides	Abs	-	-	-

jaune : passable, vert : bonne ; - : pas de normes ; Abs : absence ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; O. Bouhamra : oued Bouhamra ; O. Seybouse : oued Seybouse ; Asmidal annexe : Asmidal bassin annexe ; Asmid B.P. : Asmidal bassin principal ; HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques ; PCB : polychlorobiphényles

De manière générale, les sédiments sont relativement contaminés par les insecticides organo-chlorés.

Selon le SEQ-Eau, nous pouvons avancer que :

- Contrairement à l'eau, le sédiment de l'oued Bouhamra semble être à l'abri d'une contamination par les insecticides organo-chlorés et les herbicides.
- Le sédiment de l'oued Seybouse est contaminé par les insecticides organo-chlorés. Il est classé d'aptitude passable à la biologie.

- Enfin, les sédiments d'Asmidal B.P et d'Asmid annexe semblent être de bonne qualité vis-à-vis à la biologie et exempts de toute contamination. Ceci peut être justifié par la nature sableuse des stations, qui permet l'infiltration des éléments chimiques en profondeur.

L'analyse des micropolluants minéraux dans les eaux et les sédiments des quatre stations choisies : oued Bouhamra, oued Seybouse, Asmidal annexe et Asmidal B.P. a révélé la présence d'une contamination relativement importante par les éléments traces métalliques (E.T.M.).

Les références prises en terme d'évaluation de la qualité de l'eau douce, se baseront sur :

- Le système français d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau) préconisée par les agences de l'eau (2003) pour les eaux brutes (version 2).
- La circulaire du 7 mai 2007 DCE/23 définissant les "normes de qualité environnementales provisoires (NQE_p)" pour les eaux superficielles françaises (Rodier, 2009).
- La qualité des sédiments des stations d'eau douce, est estimée sur la base du (SEQ-Eau) préconisée par les agences de l'eau (2003) pour les eaux brutes (version 2).
- La qualité de l'eau des stations marines (Asmidal annexe et Asmidal B.P.) est évaluée par rapport aux NQE_p qui s'appliquent au SEQ "Littoral" (système de classification pour l'évaluation de la qualité des eaux littorales : grille d'aptitude aux usages et à la biologie, IFREMER 2002).
- La qualité des sédiments marins est évaluée à partir de la grille établie par le Groupe d'Étude et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement : GEODE (arrêté interministériel du 14 juin 2000, J.O.10.80).
- Pour finir, les E.T.M. ont été classés selon leur degré de toxicité (substances prioritaires dangereuses, substances prioritaires et substances pertinentes) figurant dans l'annexe X de la directive cadre de l'eau (DCE) et la liste II de la directive 76/464/ CEE.

4. 3. Variations moyennes saisonnières des micropolluants minéraux rencontrés dans les eaux des diverses stations

13 éléments traces métalliques (E.T.M.) ont été dosés pour les stations d'eau douce (l'oued Bouhamra et l'oued Seybouse). 6 micropolluants minéraux ont été dosés pour les eaux salines

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

des stations d'Asmidal (Asmidal annexe et Asmidal B.P.). Les concentrations obtenues varient, de manière générale, de 0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ à 4920 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 30).

CHAPITRE 4. Résultats et discussion des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Tableau 30. Les éléments traces métalliques trouvés dans l'eau des diverses stations au cours des quatre campagnes

E.T.M.	Concentrations en µg.l ⁻¹																SEQ-Eau	NQE _p
	Octobre 2009				février 2010				mai 2010				août 2010					
	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP		
Aluminium (Al)	252,00	280,00			150,00	544,40			3016,00	1652,00			316,00	1266,00			200	200
Arsenic (As)	13,20	8,80	2,42	1,23	10,40	4,80	2,04	2,9	14,80	12,40	2,9	2,04	12,60	5,92	2,85	1,4	10	4,2
Baryum (Ba)	46,00	92,00			34,00	57,40			74,20	75,60			44,80	72,20			700	58
Cadmium (Cd)	0,00	0,00	5,33	0,04	0,00	0,00	2,42	0,00	0,24	0,16	0,72	0,1	0,56	0,00	9,98	0,3	0,04	5
Chrome total (Cr)	0,00	0,00			0,26	0,94			11,34	8,20			1,26	2,92			1,8	3,4
Cuivre (Cu)	4,00	0,00	2,00	3,9	10,20	5,00	3,7	6,68	17,54	5,06	2,94	10,7	4,76	3,26	5,22	3,43	1	1,4
Fer total (Fe)	820,00	600,00			220,00	1054,00			4920,00	3328,00			616,00	2140,00			-	200
Manganèse (Mn)	234,00	116,00			13,80	52,40			191,40	155,60			120,00	154,80			-	50
Nickel (Ni)	3,00	2,80	5,26	1,00	1,00	1,24	2,77	0,48	8,32	5,58	3,4	6,00	1,52	2,06	7,30	1,00	6,2	2,1
Plomb (Pb)	0,00	4,60	2,2	0,63	0,00	2,20	4,9	2,95	30,20	22,80	0,91	0,65	5,12	9,78	4,50	3,00	5,2	0,4
Sélénium (Se)	4,00	6,00			0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	13,42			10	1
Etain (Sn)	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00			10	1,5
Zinc (Zn)	76,00	24,00	52,42	13,19	75,00	32,00	91,00	23,47	99,80	42,40	16,4	14,01	60,60	39,60	105,67	24,00	4,3	7,8

E.T.M. : éléments traces métalliques ; B : station de l'oued Bouhamra ; S : station de l'oued Seybouse ; As anx : station d'Asmidal annexe ; As BP : station d'Asmidal bassin principal ; chiffre en gras : dépasse la norme ; - : pas de norme ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQE_p : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

4. 3. 1. Station de l'oued Bouhamra

De manière générale, les micropolluants minéraux sont présents tout au long des campagnes d'échantillonnage. Leurs concentrations varient de 0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ à 4920 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 30).

Lors de la campagne d'octobre, 9 éléments traces métalliques (E.T.M.) ont été mis en évidence. Leurs concentrations varient de 3 $\mu\text{g.L}^{-1}$ à 820 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Sur les 9 E.T.M. trouvés, 8 dépassent les limites préconisées par le SEQ-Eau et les NQEp. L'eau a une aptitude passable à la biologie vis-à-vis de l'Al, de l'As et du Cu. Elle est aussi, de mauvaise qualité pour l'aptitude à la biologie par rapport au Zn.

Pendant la campagne de février, 9 E.T.M. ont été trouvés. Leurs concentrations se situent entre 0,26 $\mu\text{g.L}^{-1}$ et 220 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 30). Quatre E.T.M. sont supérieurs aux normes de qualité du SEQ-Eau et aux NQEp. L'eau est de mauvaise qualité par rapport à l'aptitude à la vie biologique, eu égard au Zn et au Cu.

11 E.T.M. ont été trouvés lors de la campagne de mai. Les concentrations fluctuent de 0,24 $\mu\text{g.L}^{-1}$ à 4920 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 30). Cette période a enregistré les concentrations les plus élevées. Les 11 E.T.M. rencontrés excèdent les limites fixées par le SEQ-Eau et les NQEp. L'Al, le Cu et le Zn confèrent à l'eau une aptitude très mauvaise par rapport à la biologie.

Lors de la campagne d'août, 11 E.T.M. ont été rencontrés dans l'eau. Leurs concentrations fluctuent de 0,56 $\mu\text{g.L}^{-1}$ à 616 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 30). Sur les 11 E.T.M. trouvés, 8 excèdent les limites préconisées par le SEQ-Eau et les NQEp. L'eau de l'oued Bouhamra est d'aptitude mauvaise à la vie biologique par rapport au Cd et au Zn.

La plupart des E.T.M. trouvés dans l'oued Bouhamra sont toxiques. Certains appartiennent à la première catégorie (substances prioritaires et dangereuses) et à la deuxième catégorie (substances prioritaires) qui figurent dans l'annexe X, de la directive cadre de l'eau (DCE).

Une troisième catégorie (substances pertinentes) issue de la liste II de la directive 76/464/ CEE. Les teneurs des trois catégories d'E.T.M. trouvés dans l'oued Bouhamra sont comparées aux limites préconisées par le SEQ-Eau et les NQEp (cf. tableau 31).

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Tableau 31. Comparaison des teneurs en E.T.M. toxiques, trouvés dans l'oued Bouhamra, avec les normes du SEQ-Eau et les NQEp.

Normes Substances	SEQ-Eau	NQEp
<u>Substances prioritaires dangereuses</u>		
Cadmium (Cd)	14 fois supérieure	Dans la norme
<u>Substances prioritaires</u>		
Nickel (Ni)	1 fois supérieure	4 fois supérieure
Plomb (Pb)	6 fois supérieure	76 fois supérieure
<u>Substances pertinentes</u>		
Arsenic (As)	1 fois supérieure	3 fois supérieure
Baryum (Ba)	Dans la norme	1 fois supérieure
Chrome (Cr)	6 fois supérieures	3 fois supérieures
Cuivre (Cu)	17 fois supérieure	13 fois supérieure
Sélénium (Se)	Dans la norme	4 fois supérieure
Zinc (Zn)	23 fois supérieure	13 fois supérieure

E.T.M. : éléments traces métalliques ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQEp : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

D'après le tableau 31, nous remarquons que l'eau de l'oued Bouhamra est altérée par les E.T.M. qui ont des concentrations élevées. Selon leurs teneurs, les E.T.M. les plus concentrés sont, respectivement, le Pb > le Zn > le Cu > le Cd > le Cr > le Ni > le Se > l'As > le Ba.

En se basant sur les concentrations des E.T.M. trouvés dans l'oued, nous avons pu classer l'eau, comme suit :

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Tableau 32. Qualité des eaux de l'oued Bouhamra par rapport aux E.T.M.

E.T.M.	SEQ-Eau				NQE _p			
	oct 09	fév 01	mai 01	août 01	oct 09	fév 01	mai 01	août 01
Aluminium (Al)	jaune	vert	rouge	jaune	rouge	bleu	rouge	rouge
Arsenic (As)	jaune	jaune	jaune	jaune	rouge	rouge	rouge	rouge
Baryum (Ba)	vert	vert	vert	vert	bleu	bleu	rouge	bleu
Cadmium (Cd)	Abs	Abs	jaune	orange	Abs	Abs	bleu	bleu
Chrome total (Cr)	Abs	vert	jaune	vert	Abs	bleu	rouge	bleu
Cuivre (Cu)	jaune	orange	rouge	jaune	rouge	rouge	rouge	rouge
Fer total (Fe)	-	-	-	-	rouge	rouge	rouge	rouge
Manganèse (Mn)	-	-	-	-	rouge	bleu	rouge	rouge
Nickel (Ni)	vert	vert	jaune	vert	rouge	bleu	rouge	bleu
Plomb (Pb)	Abs	Abs	jaune	jaune	Abs	Abs	rouge	rouge
Sélénium (Se)	vert	Abs	Abs	Abs	rouge	Abs	Abs	Abs
Zinc (Zn)	orange	orange	rouge	orange	rouge	rouge	rouge	rouge

E.T.M. : éléments traces métalliques ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQE_p : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009) ; Abs : absent ; - : pas de normes. Le code couleur pour le SEQ-Eau est : rouge = très mauvaise ; orange = mauvaise, jaune = passable ; vert = bonne ; bleu = très bonne ; Le code couleur pour les NQE_p est : rouge = mauvaise ; orange = médiocre, jaune = moyenne ; bleu = très bonne ;

L'eau de l'oued Bouhamra présente une très mauvaise aptitude à la vie biologique. Une pollution métallique importante y est mise en évidence.

D'après le SEQ-Eau, nous constatons que l'eau de cet oued est prioritairement contaminée par : le Zn > Cu > Al > Cd > As > Pb > Cr > Ni.

D'après les NQE_p, l'eau est principalement polluée par : Fe > Zn > Cu > As > Al > Mn > Pb > Ni > Se > Cr > Ba.

4. 3. 2. Station de l'oued Seybouse

Les E.T.M. sont rencontrés dans l'eau durant les quatre campagnes d'échantillonnage. Les concentrations varient de 0 µg.L⁻¹ à 3328 µg.L⁻¹.

La période automnale a révélé la présence de 9 E.T.M. dont les concentrations fluctuent de 2,80 µg.L⁻¹ à 600 µg.L⁻¹ (cf. tableau 30). Tous les E.T.M. trouvés excèdent les normes recommandées par le SEQ-Eau et les NQE_p. L'eau est d'aptitude passable à la biologie par rapport au Zn et à l'Al et a un mauvais potentiel biologique vis-à-vis du Pb, du Se, du Zn et du Fe.

Au cours de la période hivernale, une dizaine d'E.T.M. ont été mis en évidence. Leurs concentrations fluctuent entre 0,94 µg.L⁻¹ et 1054 µg.L⁻¹ (cf. tableau 30). Sept E.T.M.

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

dépassent les normes. L'eau est de qualité mauvaise à la vie biologique vis-à-vis du Zn, de l'Al, du Pb, du Fe et du Cu.

Les concentrations les plus élevées ont été enregistrées au cours de la période printanière. 11 E.T.M. ont été mis en relief dont les concentrations fluctuent de 0,16 $\mu\text{g.L}^{-1}$ à 3328 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 30). La totalité des E.T.M. trouvés excèdent les normes préconisées par le SEQ-Eau et les NQEp. L'eau est de très mauvaise qualité par rapport à l'aptitude à la biologie, vis-à-vis de l'Al et présente un mauvais potentiel biologique par rapport au Pb, au Fe et au Zn.

Pendant la période estivale, 11 E.T.M. ont été trouvés. Leurs concentrations varient de 2,06 $\mu\text{g.L}^{-1}$ à 2140 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 30). Une dizaine d'E.T.M. dépassent les valeurs recommandées par le SEQ-Eau et les NQEp. Le Se et l'Al confèrent à l'eau de la Seybouse une très mauvaise qualité par rapport à l'aptitude à la biologie.

La majorité des E.T.M. trouvés dans l'oued Seybouse sont toxiques. Certains appartiennent à la première catégorie (substances prioritaires et dangereuses) et la deuxième catégorie (substances prioritaires) qui figurent dans l'annexe X, de la directive cadre de l'eau (DCE).

Les autres appartiennent à la troisième catégorie (substances pertinentes) de la liste II de la directive 76/464/ CEE.

La comparaison des teneurs des trois types d'E.T.M. rencontrés dans l'oued Seybouse avec les valeurs limites préconisées par le SEQ-Eau et les NQEp est résumée dans le tableau 33.

Tableau 33. Comparaison des teneurs en E.T.M. toxiques, trouvés dans l'oued Seybouse, avec les normes du SEQ-Eau et les NQEp.

Normes Substances	SEQ-Eau	NQEp
<u>Substances prioritaires dangereuses</u> Cadmium (Cd)	4 fois supérieure	Dans la norme
<u>Substances prioritaires</u> Nickel (Ni) Plomb (PB)	Dans la norme 4 fois supérieure	3 fois supérieure 57 fois supérieure
<u>Substances pertinentes</u> Arsenic (As) Baryum (Ba) Chrome (Cr) Cuivre (Cu) Sélénium (Se) Zinc (Zn)	1 fois supérieure Dans la norme 5 fois supérieure 5 fois supérieure 1 fois supérieure 10 fois supérieure	3 fois supérieure 2 fois supérieure 2 fois supérieure 4 fois supérieure 13 fois supérieure 5 fois supérieure

E.T.M. : éléments traces métalliques ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQEp : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

La Seybouse subit une pollution métallique importante. Les E.T.M. qui ont les teneurs les plus élevées sont respectivement : Pb > Se > Zn > Cu > Cr > Cd > As > Ni > Ba.

Sur la base des concentrations en E.T.M. rencontrés dans l'oued, nous avons pu classer l'eau comme suit :

Tableau 34. Qualité des eaux de l'oued Seybouse par rapport aux E.T.M.

ETM	SEQ-Eau				NQE _p			
	oct 09	fév 01	mai 01	août 01	oct 09	fév 01	mai 01	août 01
Aluminium (Al)	jaune	orange	rouge	rouge	rouge	rouge	rouge	rouge
Arsenic (As)	vert	vert	jaune	vert	rouge	rouge	rouge	rouge
Baryum (Ba)	vert	vert	vert	vert	rouge	bleu	rouge	rouge
Cadmium (Cd)	Abs	Abs	jaune	Abs	Abs	Abs	bleu	Abs
Chrome total (Cr)	Abs	vert	jaune	jaune	Abs	bleu	rouge	bleu
Cuivre (Cu)	Abs	jaune	jaune	jaune	Abs	rouge	rouge	rouge
Fer total (Fe)	-	-	-	-	rouge	rouge	rouge	rouge
Manganèse (Mn)	-	-	-	-	rouge	rouge	rouge	rouge
Nickel (Ni)	vert	vert	vert	vert	rouge	bleu	rouge	bleu
Plomb (Pb)	vert	vert	jaune	jaune	rouge	rouge	rouge	rouge
Sélénium (Se)	vert	Abs	Abs	rouge	rouge	Abs	Abs	rouge
Zinc (Zn)	jaune	jaune	jaune	jaune	rouge	rouge	rouge	rouge

E.T.M. : éléments traces métalliques ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQE_p : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009) ; - : pas de norme ; Abs : absent.
Le code couleur pour le SEQ-Eau est : rouge = très mauvaise ; orange = mauvaise, jaune = passable ; vert = bonne ; bleu : très bonne ;
Le code couleur pour les NQE_p est : rouge = mauvaise ; orange = médiocre, jaune = moyenne ; bleu = très bonne.

L'eau de l'oued Seybouse semble être très altérée par la présence d'E.T.M. qui lui confère une très mauvaise aptitude à la biologie.

Selon le SEQ-Eau, elle est respectivement polluée par : Al > Se > Zn > Cu > Cr > Pb > Cd > As.

D'après les NQE_p, l'eau de la Seybouse est altérée prioritairement par : Pb > Fe > Al > Zn > As > Mn > Cu > Ba > Se > Ni > Cr.

4. 3. 3. Station d'Asmidal annexe

La présence des E.T.M. dans l'eau de cette station, a été mise en évidence tout au long des quatre campagnes. Généralement, leurs concentrations varient de 0,72 µg.L⁻¹ à 105,67 µg.L⁻¹.

Six E.T.M. ont été trouvés lors de la saison automnale, leurs concentrations fluctuent de 2 µg.L⁻¹ à 52,42 µg.L⁻¹ (cf. tableau 30).

Sur les six E.T.M. rencontrés, cinq excèdent les NQE_p. L'eau a un mauvais potentiel biologique, par rapport au Zn et au Cd.

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Lors de la saison hivernale, six E.T.M. ont été mis en évidence. Leurs concentrations varient de $2,04 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $91 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 30). Cinq E.T.M. excèdent les limites fixées par les NQEp. Le Zn et le Cd confèrent à l'eau un mauvais potentiel vis-à-vis de la vie biologique.

Les concentrations des six E.T.M. trouvés durant la saison printanière, varient de $0,72 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $16,4 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 30). Cinq dépassent les valeurs limites recommandées par les NQEp. Le Cd confère à l'eau de cette station, un mauvais potentiel à la biologie.

La saison estivale a enregistré les concentrations les plus élevées. Ces dernières fluctuent de $2,85 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $105,67 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cf. tableau 30). Cinq des six E.T.M. trouvés excèdent les NQEp retenues. Les concentrations relativement élevées en Cd et en Zn, attribuent à l'eau de cette station un mauvais potentiel biologique.

Tous les E.T.M. trouvés dans Asmidal annexe sont toxiques. Certains appartiennent à la première catégorie (substances prioritaires et dangereuses) et à la deuxième catégorie (substances prioritaires) qui figurent dans l'annexe X, de la directive cadre de l'eau (DCE).

Les autres appartiennent à la troisième catégorie (substances pertinentes) de la liste II de la directive 76/464/ CEE.

La comparaison des teneurs des trois types d'E.T.M. rencontrés dans Asmidal annexe avec les NQEp est résumée dans le tableau 35.

Tableau 35. Comparaison des teneurs en E.T.M. toxiques, trouvés dans Asmidal annexe, avec les NQEp

Substances	Normes	NQEp
<u>Substances prioritaires dangereuses</u>		
Cadmium (Cd)		2 fois supérieure
<u>Substances prioritaires</u>		
Nickel (Ni)		3 fois supérieure
Plomb (Pb)		12 fois supérieure
<u>Substances pertinentes</u>		
Arsenic (As)		Dans la norme
Cuivre (Cu)		4 fois supérieure
Zinc (Zn)		14 fois supérieure

E.T.M. : éléments traces métalliques ; NQEp : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

L'eau d'Asmidal annexe semble être contaminée prioritairement par le Zn > le Pb > le Cu > le Ni > le Cd.

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

En se référant aux concentrations des E.T.M. trouvés, l'eau de cette station est classée comme suit :

Tableau 36. Qualité des eaux de la stations d'Asmidal annexe par rapport aux E.T.M.

E.T.M.	NQE _p			
	oct 09	fév 01	mai 01	août 01
Arsenic (As)	bleu	bleu	bleu	bleu
Cadmium (Cd)	rouge	bleu	bleu	rouge
Cuivre (Cu)	rouge	rouge	rouge	rouge
Nickel (Ni)	rouge	rouge	rouge	rouge
Plomb (Pb)	rouge	rouge	rouge	rouge
Zinc (Zn)	rouge	rouge	rouge	rouge

E.T.M. : éléments traces métalliques ; NQE_p : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009) ; - : pas de norme. Le code couleur pour les NQE_p est : rouge = mauvaise ; orange = médiocre, jaune = moyenne ; bleu = très bonne.

D'après les NQE_p, l'eau de cette station est de mauvaise qualité suite à une contamination relativement importante en Zn > Pb > Cu > Ni > Cd.

4. 3. 4. Station d'Asmidal B.P.

Les E.T.M. sont mis en évidence tout au long des quatre campagnes. De manière générale, les concentrations varient de 0 µg.L⁻¹ à 24 µg.L⁻¹.

Six E.T.M. ont été trouvés au cours de la campagne d'octobre. Leurs concentrations varient de 0,04 µg.L⁻¹ à 13,19 µg.L⁻¹ (cf. tableau 30). La moitié des E.T.M. trouvés excèdent les normes requises par les NQE_p. L'eau a un mauvais potentiel biologique.

Durant la campagne de février, cinq E.T.M. ont été trouvés dont les concentrations fluctuent de 0,48 µg.L⁻¹ à 23,47 µg.L⁻¹ (cf. tableau 30). Trois E.T.M. dépassent les limites fixées par les NQE_p. Un mauvais potentiel biologique est attribué à l'eau.

Au cours de la campagne de mai, six E.T.M. ont été mis en relief. Leurs concentrations varient de 0,1 µg.L⁻¹ à 14,01 µg.L⁻¹ (cf. tableau 30). Plus de la moitié des E.T.M. excèdent les NQE_p, plus particulièrement le Cu. Ce qui confère à l'eau un mauvais potentiel biologique.

Les concentrations trouvées durant la campagne d'août, varient de 0,3 µg.L⁻¹ à 24 µg.L⁻¹ (cf. tableau 30). Trois E.T.M. excèdent les limites préconisées par les NQE_p. L'eau présente un mauvais potentiel à la biologie.

Tous les E.T.M. rencontrés dans Asmidal B.P. sont toxiques. Certains appartiennent à la première catégorie (substances prioritaires et dangereuses) et à la deuxième catégorie (substances prioritaires) qui figurent dans l'annexe X, de la directive cadre de l'eau (DCE).

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Les autres appartiennent à la troisième catégorie (substances pertinentes) de la liste II de la directive 76/464/ CEE.

La comparaison des teneurs des trois types d'E.T.M. rencontrés dans Asmidal B.P. avec les NQEp est résumée dans le tableau 37.

Tableau 37. Comparaison des teneurs en E.T.M. toxiques, trouvés dans Asmidal B.P., avec les NQEp

Substances	Normes	NQEp
Substances prioritaires dangereuses		
Cadmium (Cd)		Dans la norme
Substances prioritaires		
Nickel (Ni)		3 fois supérieure
Plomb (PB)		8 fois supérieure
Substances pertinentes		
Arsenic (As)		Dans la norme
Cuivre (Cu)		8 fois supérieure
Zinc (Zn)		3 fois supérieure

E.T.M. : éléments traces métalliques ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQEp : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009).

Les eaux de refroidissement du bassin principal d'Asmidal sont altérées principalement par le Pb > le Cu > le Zn > le Ni.

Les concentrations en E.T.M. trouvées dans l'eau d'Asmidal B.P. nous ont permis d'établir la classification de l'eau comme suit :

Tableau 38. Qualité des eaux de la stations d'Asmidal B.P. par rapport aux E.T.M.

E.T.M.	NQEp			
	oct 09	Fév 01	Mai 01	août 01
Arsenic (As)				
Cadmium (Cd)		Abs		
Cuivre (Cu)				
Nickel (Ni)				
Plomb (Pb)				
Zinc (Zn)				

E.T.M. : éléments traces métalliques ; rouge : très mauvaise ; orange : mauvaise, jaune : passable ; vert : bonne ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQEp : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009) ; - : pas de norme ; Abs : absent. Le code couleur pour les NQEp est : rouge = mauvaise ; orange : médiocre, jaune : moyenne ; bleu : très bonne.

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

L'eau d'Asmidal B.P. est contaminée par les E.T.M. et présente un mauvais potentiel biologique. Selon les NQEp, l'eau est polluée respectivement par : le Pb > Cu > Zn > Ni.

En se basant sur les E.T.M. les plus déclassant, nous avons pu classer les diverses stations, comme suit :

Tableau 39. Qualité des eaux des diverses stations par rapport aux E.T.M.

Stations	SEQ-Eau				NQEp			
	oct 09	Fév 01	mai 01	août 01	oct 09	Fév 01	mai 01	août 01
Bouhamra	Orange	Orange	Rouge	Orange	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Seybouse	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Asmid annexe	-	-	-	-	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Asmid B.P.	-	-	-	-	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge

E.T.M. : éléments traces métalliques ; rouge : très mauvaise ; orange : mauvaise, jaune : passable ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; NQEp : les normes de qualité environnementales provisoires pour les eaux superficielles (Rodier, 2009). Le code couleur pour le SEQ-Eau est : rouge = très mauvaise ; orange = mauvaise, jaune = passable ; vert = bonne ; bleu = très bonne ; Le code couleur pour les NQEp est : rouge = mauvaise ; orange = médiocre, jaune = moyenne ; bleu = très bonne.

Enfin, nous pouvons dire que les eaux de toutes les stations sont sujettes à une pollution relativement importante, par les E.T.M.

En se basant sur le SEQ-Eau, Les stations les plus polluées sont respectivement : l'oued Bouhamra suivit de l'oued Seybouse. Les eaux des deux oueds ont une très mauvaise aptitude à la vie biologique.

En se référant aux NQEp, nous constatons que toutes les stations d'eaux marines sont polluées et présentent un mauvais potentiel biologique.

En dernier lieu, nous pouvons avancer que les eaux de toutes les stations renferment des concentrations relativement élevées en E.T.M.

Les principaux micropolluants minéraux prioritaires dangereux, prioritaires et pertinents, qui sont à l'origine de la mauvaise qualité des différentes eaux sont principalement :

- Dans l'oued Bouhamra : Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, Ni, Se, As et Ba.
- Dans l'oued Seybouse : Pb, Se, Zn, Cu, Cr, Cd, As, Ni et Ba.
- Dans Asmidal annexe : Zn, Pb, Cu, Ni et Cd.
- Dans Asmidal B.P. : Pb, Cu, Zn et Ni.

4. 4. Variations moyennes saisonnières des micropolluants minéraux rencontrés dans les sédiments des diverses stations

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

10 éléments traces métalliques (E.T.M.) ont été dosés dans les sédiments des quatre stations. Les concentrations obtenues varient, de manière générale, de $0,23 \text{ mg.kg}^{-1}$ à $52238,36 \text{ mg.kg}^{-1}$ (cf. tableau 40).

CHAPITRE 4. Résultats et discussion des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

Tableau 40. Les éléments traces métalliques trouvés dans les sédiments des diverses stations au cours des quatre campagnes

E.T.M.	Concentrations en mg.kg ⁻¹																SEQ-Eau	GÉODE	
	Octobre 2009				février 2010				mai 2010				août 2010					N 1	N 2
	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP	B	S	As anx	As BP			
Al	52238,36*	6063,16*	4409,41*	5543,18*	34324,49*	9050,30*	4926,96*	3821,70*	12619,76*	45300,28*	6253,75*	6125,25*	61056,52*	9321,47*	5797,47*	6950,50*	-	-	-
As	11,36	10,65	21,47	9,63	19,53	11,89	22,73	10,28	23,87	19,07	9,99	14,28	19,65	10,42	9,67	11,12	9,8	25	50
Cd	0,44	0,25	0,51	0,42	0,50	0,33	0,62	0,69	0,56	0,30	0,60	0,80	2,59	0,23	1,04	0,62	1	1,2	2,4
Cr	44,22	16,33	24,97	18,24	43,32	19,33	22,56	20,22	22,01	59,82	24,31	34,77	104,40	19,33	30,27	24,51	43	90	180
Cu	26,00	4,08	9,31	5,96	25,44	5,29	7,63	3,48	5,76	20,96	5,33	7,39	35,97	4,36	5,39	4,32	31	45	90
Fe	24094,00*	14773,00*	39969,00*	14238,00*	26997,49*	15627,84*	29212,26*	12272,21*	15710,92*	28797,79*	16068,93*	21225,92*	33717,93*	11822,17*	16218,35*	11898,17*	-	-	-
Mn	254,87*	202,06*	267,18*	191,16*	403,68*	239,51*	266,37*	203,85*	310,45*	514,53*	269,73*	275,44*	360,91*	233,24*	250,91*	213,51*	-	-	-
Ni	20,16	8,44	22,45	8,41	18,21	10,74	15,61	7,13	11,11	22,24	8,33	14,95	26,72	10,17	10,33	7,23	22	37	74
P	1769,43*	2806,18*	5540,61*	4554,57*	1987,23*	2803,13*	8571,28*	6456,79*	2527,65*	1093,46*	7930,40*	10866,57*	3559,75*	162,94*	10674,60*	5487,88*	-	-	-
Pb	38,71	12,26	23,98	9,88	28,65	11,83	12,66	8,22	16,62	23,19	7,71	19,72	45,20	9,94	12,28	8,73	35	100	200
Zn	90,08	33,53	63,53	39,05	84,51	40,97	49,03	36,29	45,47	81,34	44,46	55,42	185,96	34,94	50,27	42,11	120	276	552

E.T.M. : éléments traces métalliques ; B : station de l'oued Bouhamra ; S : station de l'oued Seybouse ; As anx : station d'Asmidal annexe ; As BP : station d'Asmidal bassin principal ; Aluminium (Al) ; Arsenic (As) ; Cadmium (Cd) ; Chrome total (Cr) ; Cuivre (Cu) ; Fer total (Fe) ; Manganèse (Mn) ; Nickel (Ni) ; Phosphore (P) ; Plomb (Pb) ; Zinc (Zn) ; chiffre en gras : dépasse la norme ; chiffre avec * : pas de norme ; - : pas de norme ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; GÉODE : Groupe d'Étude et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement ; N1 : niveau 1 ; N2 : niveau 2.

Remarque : des valeurs ≤ N1 traduisent une bonne qualité du sédiment ; des valeurs comprises entre N1 et N2 traduisent une qualité passable du sédiment ; des valeurs supérieures à N2 attribuent une mauvaise qualité au sédiment.

4. 4. 1. Station de l'oued Bouhamra

Les micropolluants minéraux sont présents dans le sédiment, tout au long des campagnes d'échantillonnage.

Une dizaine d'éléments traces métalliques (E.T.M.) est mise en évidence, lors de la campagne d'octobre. Les concentrations enregistrées varient de 0,44 mg.kg⁻¹ à 52238,36 mg.kg⁻¹ (cf. tableau 40). Sur les 10 E.T.M. trouvés, 3 dépassent les limites préconisées par le SEQ-Eau. Le sédiment a une aptitude passable à la biologie.

En outre, des concentrations relativement élevées en Al, Fe et Mn sont observés.

Pendant la campagne de février, 10 E.T.M. ont été trouvés. Leurs concentrations varient de 0,50 mg.kg⁻¹ à 34324,49 mg.kg⁻¹ (cf. tableau 40). Tous les E.T.M. sont conformes aux normes de qualité du SEQ-Eau sauf l'As et le Cr qui confèrent au sédiment une aptitude passable à la vie biologique.

Nous remarquons aussi, des concentrations relativement élevées en Al, Fe et Mn.

10 E.T.M. ont été trouvés lors de la campagne de mai. Les concentrations fluctuent de 0,56 mg.kg⁻¹ à 15710,92 mg.kg⁻¹ (cf. tableau 40). Tous les E.T.M. rencontrés sont dans les limites fixées par le SEQ-Eau exception faite de l'As, qui attribue au sédiment une aptitude passable à la biologie.

Nous observons aussi, des concentrations relativement fortes en Al, Fe et Mn.

Les concentrations les plus élevées sont observées lors de la campagne d'août. Les concentrations fluctuent de 2,59 mg.kg⁻¹ à 61056,52 mg.kg⁻¹ (cf. tableau 40). Sur les 10 E.T.M. trouvés, 7 excèdent les limites préconisées par le SEQ-Eau. Le sédiment est d'aptitude passable à la vie biologique.

Des concentrations relativement élevées en Al, Fe et Mn sont aussi mises en évidence.

Enfin, nous soulignons que la plus part des E.T.M. présents dans le sédiment de l'oued figurent dans l'annexe X de la DCE et la liste II de la directive 76/464/ CEE (cf. tableau 43).

En se basant sur les concentrations des E.T.M., nous avons pu classer le sédiment, comme suit :

Tableau 41. Qualité du sédiment de l'oued Bouhamra par rapport aux E.T.M.

E.T.M.	SEQ-Eau			
	oct 09	fév 01	mai 01	août 01
Aluminium (Al)	-	-	-	-
Arsenic (As)				
Cadmium (Cd)				
Chrome total (Cr)				
Cuivre (Cu)				
Fer total (Fe)	-	-	-	-
Manganèse (Mn)	-	-	-	-
Nickel (Ni)				
Plomb (Pb)				
Zinc (Zn)				

E.T.M. : éléments traces métalliques ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; - : pas de normes. Le code couleur pour le SEQ-Eau est : jaune = passable ; vert = bonne.

D'après le SEQ-Eau, nous constatons que le sédiment de l'oued Bouhamra a une aptitude passable à la biologie suite à une contamination métallique. Le sédiment est altéré respectivement par l'As > Cr > Pb > Cd > Zn > Cu > Ni.

4. 4. 2. Station de l'oued Seybouse

Les E.T.M. sont rencontrés dans le sédiment durant les quatre campagnes d'échantillonnage. Les concentrations varient, généralement, de 0,23 mg.kg⁻¹ à 45300,28 mg.kg⁻¹ (cf. tableau 40).

La période automnale a révélée la présence de 10 E.T.M. dont les concentrations fluctuent de 0,25 mg.kg⁻¹ à 14773 mg.kg⁻¹ (cf. tableau 40). Tous les E.T.M. trouvés sont dans les normes recommandées par le SEQ-Eau, exception faite de l'As. Le sédiment est d'aptitude passable à la biologie.

Nous remarquons aussi, des concentrations relativement élevées en Fe, Al et Mn.

Au cours de la période hivernale, les concentrations en E.T.M. varient de 0,33 mg.kg⁻¹ à 15627,84 mg.kg⁻¹ (cf. tableau 40). Un seul E.T.M. (As) dépasse la norme du SEQ-Eau. Le sédiment est de qualité passable à la vie biologique.

Nous notons que les concentrations en Fe, Al et Mn sont relativement élevées.

La période printanière a enregistré les concentrations les plus élevées en E.T.M. Ces dernières varient de 0,3 mg.kg⁻¹ à 45300,28 mg.kg⁻¹. Trois E.T.M. excèdent les limites préconisées par le SEQ-Eau (cf. tableau 40). Le sédiment est d'aptitude passable à la biologie.

Les concentrations en Al, Fe et Mn restent aussi élevées.

CHAPITRE 4. Résultats et discussions des variations moyennes saisonnières des micropolluants organiques et minéraux

10 E.T.M. sont trouvés pendant la période estivale. Leurs concentrations varient de 0,23 mg.kg⁻¹ à 11822,17 mg.kg⁻¹ (cf. tableau 40). L'As dépasse la valeur recommandée par le SEQ-Eau. Le sédiment a une aptitude passable à la biologie.

En sus, nous notons des concentrations relativement élevées en Fe, Al, et Mn.

La plupart des E.T.M. présents figurent dans l'annexe X de la DCE et la liste II de la directive 76/464/ CEE (cf. tableau 43).

Sur la base des concentrations en E.T.M. rencontrés, nous avons pu classer le sédiment comme suit :

Tableau 42. Qualité du sédiment de l'oued Seybouse par rapport aux E.T.M.

E.T.M.	SEQ-Eau			
	oct 09	fév 01	mai 01	août 01
Aluminium (Al)	-	-	-	-
Arsenic (As)	jaune	jaune	jaune	jaune
Cadmiu (Cd)	vert	vert	vert	vert
Chrome total (Cr)	vert	vert	jaune	vert
Cuivre (Cu)	vert	vert	vert	vert
Fer total (Fe)	-	-	-	-
Manganèse (Mn)	-	-	-	-
Nickel (Ni)	vert	vert	jaune	vert
Phosphore (P)	-	-	-	-
Plomb (Pb)	vert	vert	vert	vert
Zinc (Zn)	vert	vert	vert	vert

E.T.M. : éléments traces métalliques ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; - : pas de normes ; Le code couleur pour le SEQ-Eau est : jaune = passable ; vert = bonne.

Le sédiment de l'oued Seybouse est sujet à une contamination métallique. Cette altération peut être attribuée essentiellement à l'As > Cr > Ni.

La comparaison des teneurs des E.T.M. toxiques, rencontrés dans les sédiments des stations d'eaux douces (oued Bouhamra et oued Seybouse), aux limites de qualité fixées par le SEQ-Eau est comme suit :

Tableau 43. Comparaison des teneurs en E.T.M. toxiques, trouvés dans l’oued Bouhamra et l’oued Seybouse, avec les limites fixées par le SEQ-Eau

Normes Substances	SEQ-Eau	
	Oued Bouhamra	Oued Seybouse
Substances prioritaires dangereuses		
Cadmium (Cd)	3 fois supérieure	Dans la norme
Substances prioritaires		
Nickel (Ni)	1 fois supérieure	1 fois supérieure
Plomb (Pb)	1 fois supérieure	Dans la norme
Substances pertinentes		
Arsenic (As)	2 fois supérieure	2 fois supérieure
Chrome (Cr)	2 fois supérieure	1 fois supérieure
Cuivre (Cu)	1 fois supérieure	Dans la norme
Zinc (Zn)	2 fois supérieure	Dans la norme

E.T.M. : éléments traces métalliques ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003).

L’oued Bouhamra est principalement altéré par : Cd > As > Cr > Zn > Pb > Ni > Cu. quand à l’oued Seybouse, il est contaminé par As > Cr > Ni.

4. 4. 3. Station d’Asmidal annexe

Dix E.T.M. ont été signalés tout au long des quatre campagnes dans le sédiment de cette station. Généralement, leurs concentrations varient de 0,51 mg.kg⁻¹ à 39969, 00 mg.kg⁻¹ (cf. tableau 40).

Tous les E.T.M. rencontrés au cours des quatre saisons sont en dessous du niveau 1 (N1) des seuils établis par le GÉODE.

Cependant, nous notons, des concentrations en Fe, Al et Mn relativement élevées.

4. 4. 4. Station d’Asmidal B.P.

Les E.T.M. sont mis en évidence dans le sédiment, tout au long des quatre campagnes. De manière générale, les concentrations varient de 0, 42 mg.kg⁻¹ à 21225,92 mg.kg⁻¹ (cf. tableau 40).

Cependant, toutes les teneurs rencontrées restent en dessous su N1 du GÉODE.

Nous signalons, toutefois, que les concentrations en Fe, Al et Mn sont relativement élevées.

Enfin, en se basant sur les E.T.M. les plus déclassant, nous avons pu classer les diverses stations, comme suit :

Tableau 44. Qualité des sédiments des diverses stations par rapport aux E.T.M.

Stations	SEQ-Eau			
	oct 09	fév 01	mai 01	août 01
O. Bouhamra				
O. Seybouse				

O. Bouhamra : oued Bouhamra ; O. Seybouse : oued Seybouse ; SEQ-Eau : système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau préconisée par les agences de l'eau (2003) ; Le code couleur pour le SEQ-Eau est : jaune = passable.

En conclusion, nous pouvons dire que les sédiments des stations de l'oued Bouhamra et de l'oued Seybouse sont contaminés par les micropolluants minéraux durant toutes les saisons. Cette contamination métallique est plus importante dans la station de l'oued Bouhamra que dans la station de l'oued Seybouse. Les sédiments d'Asmidal annexe et Asmidal B.P. semblent être à l'abri de la contamination métallique.

Les principaux E.T.M. qui sont à l'origine de la mauvaise qualité des sédiments, des stations d'eau douce, sont :

- Dans l'oued Bouhamra : Cd > As > Cr > Zn > Pb > Ni > Cu.
- Dans l'oued Seybouse : As > Cr > Ni.

En dernier lieu, nous tenons à signaler la présence d'Al, de Fe et de Mn dans les sédiments de toutes les stations, durant les quatre campagnes, avec des concentrations relativement élevées.

Faute de normes, nous n'avons pas pu apprécier la qualité des divers sédiments par rapport à ces E.T.M.

L'analyse des données regroupe un ensemble de méthodes statistiques dont les deux principales caractéristiques sont d'être multidimensionnelles et descriptives. Le terme multidimensionnel recouvre lui-même deux aspects. Tout d'abord il implique que l'on dispose de la valeur de plusieurs variables pour chaque individu statistique. Mais au-delà de la disponibilité de nombreuses variables pour chaque individu statistique, c'est la volonté de les étudier simultanément qui caractérise une approche multidimensionnelle (Husson *et al.*, 2009).

Les principales méthodes statistiques d'analyse des données sont : l'Analyse en Composantes Principales (ACP), l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC), l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) et la Méthodes de classification (hiérarchiques et nuées dynamiques).

L'ACP est une méthode d'analyse des données multi variées. Elle cherche à synthétiser et à condenser le maximum d'information contenue dans un tableau de données quantitatives complexes. Elle permet de décrire et d'explorer les relations qui existent entre plusieurs variables simultanément. Elle transforme des variables liées entre elles (dites "corrélées" en statistique) en nouvelles variables décorrélées (ou indépendantes) les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées "composantes principales", ou axes principaux. Elle permet ainsi au praticien de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante. Enfin, elle fournit une représentation graphique se prêtant plus aisément à l'interprétation des résultats qui sont généralement restreints aux deux premiers plans factoriels, sous réserve que ceux-ci expliquent la majeure partie de la variance du nuage des variables initiales (Duquenne, 2012 ; Kouani *et al.* 2007).

Dans cette analyse des données nous utilisons le logiciel R (FactoMineR) qui est un logiciel libre, c'est-à-dire basé sur la coopération de nombreux spécialistes du monde entier. Ce langage propose des instructions de très haut niveau orientées vers le calcul mathématique et statistique. Cela permet de réécrire en quelques lignes les programmes qui autrefois ont nécessité des dizaines ou plutôt des centaines d'instructions. Ces logiciels libres et distribués gratuitement donnent un nouvel élan à cette tendance générale en informatique : facilité de mise en œuvre, puissance et souplesse des calculs (Santos, 2015 ; Husson *et al.*, 2009 ; Dervin, 1988).

5. 1. Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales des données analytiques des eaux et des sédiments, nous a permis d'établir la typologie de la contamination des diverses stations.

5. 1. 1. **Interprétation des graphes de l'ACP des descripteurs physico-chimiques et biochimiques de l'eau**

Sur le plan factoriel $F_1 \times F_2$ de l'ACP, apparait un gradient, révélateur d'un effet GUTTMAN [Dervin, 1988], signifiant qu'un des axes de l'analyse, en l'occurrence l'axe 1, résume l'essentiel de l'information contenue dans le plan factoriel (Fig. 65).

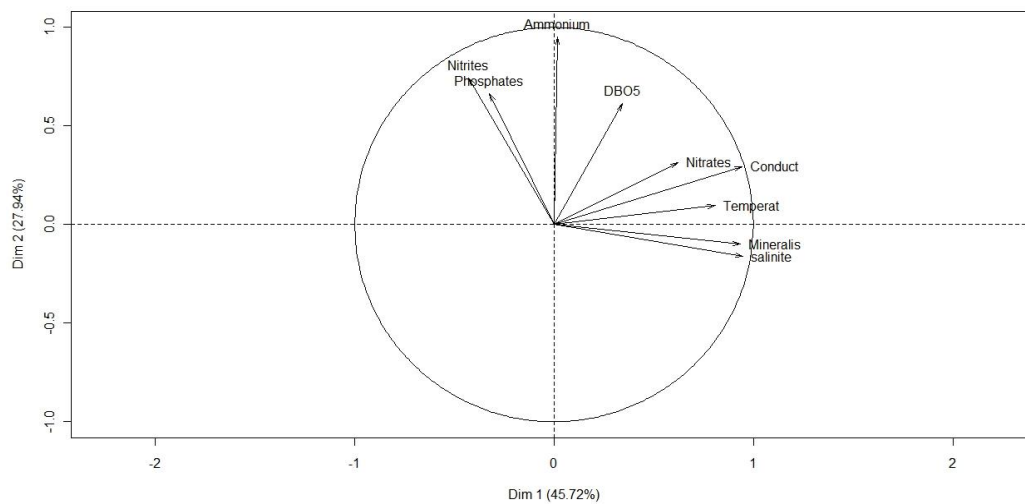


Figure 65. Cercle de corrélation des variables avec les axes $F_1 \times F_2$ de l'ACP

Les taux d'inertie sont en effet de : 45,72 % pour F_1 , 27,94 pour F_2 et 10,42 pour F_3 . Le maximum d'information (84,09 %) est donc contenu dans les trois premiers axes de l'ACP (Tableau. 45). C'est pourquoi, seuls ces axes sont pris en considération dans l'interprétation des graphes.

Tableau 45. Taux d'inertie et valeurs propres des axes de l'ACP

Axes	Valeurs propres	Pourcentages d'inertie	Pourcentages d'inertie cumulés
F_1 (Dim 1)	4,11	45,72	45,72
F_2 (Dim 2)	2,51	27,94	73,66
F_3 (Dim 3)	0,93	10,42	84,09
F_4 (Dim 4)	0,74	8,27	92,36
F_5 (Dim 5)	0,48	5,40	97,76
F_6 (Dim 6)	0,16	1,80	99,57
F_7 (Dim 7)	0,03	0,43	100

Les éléments chimiques qui contribuent le plus à la formation de l'axe 1 (F_1), par ordre décroissant d'importance sont : la salinité, la conductivité électrique, la minéralisation et la température (Fig. 65). Ces descripteurs sont tous influencés par la température et mettent en relief une importante richesse des eaux en sels dissous. À priori le F_1 semble mettre en évidence une hyperfertilisation des eaux.

Les descripteurs qui contribuent fortement à l'édification de l'axe 2 (F_2) sont principalement l'ammonium, les nitrites et dans une moindre mesure les phosphates et la DBO_5 (Fig. 65). Ceci peut traduire une mauvaise dégradation de la matière organique, ce qui explique les concentrations élevées en ammonium. Les conditions réductrices du milieu, représentées ici par des taux élevés en nitrites et en phosphates, favorisent l'accumulation de la matière organique fermentescible, grande consommatrice d'oxygène dissous (DBO_5). L'axe 2 semble mettre en relief une contamination organique à l'origine de l'asphyxie des eaux.

À cette typologie de variables (descripteurs physico-chimiques et biochimiques) correspond une typologie de relevés (stations) qui permet de distinguer très clairement les tendances dominantes.

L'analyse de la carte factorielle du plan $F_1 \times F_2$ de l'ACP (Fig. 66), montre que les stations sont séparées en deux groupes. Le premier groupe formé des stations marines et le deuxième groupe est composé des stations dulçaquicoles.

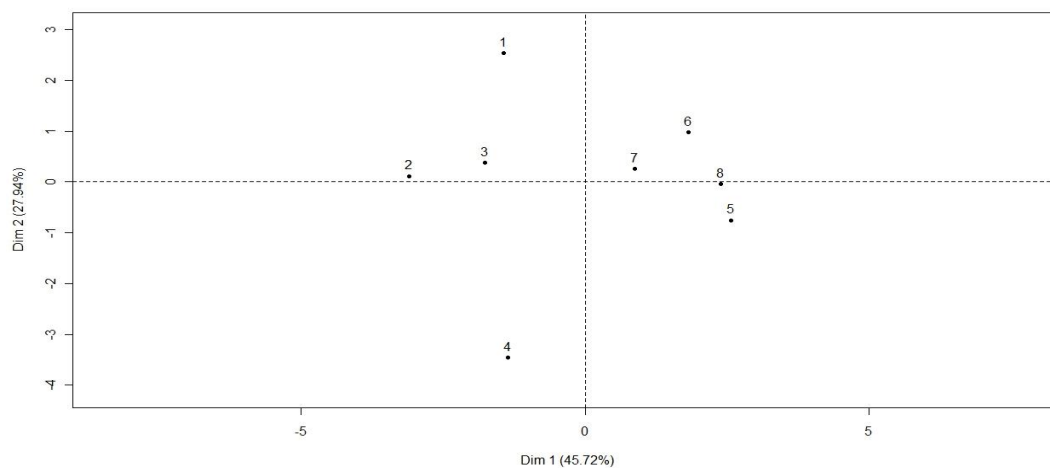


Figure 66. Carte factorielle des stations (axes $F_1 \times F_2$ de l'ACP)

(1 : Bouhamra aval, 2 : Bouhamra amont, 3 : Seybouse, 4 : oued Mafregh, 5 : Asmidal BP, 6 : Asmidal annexe, 7 : Asmidal Est, 8 : plage de Jouanoville)

La station marine qui contribue le plus à la formation de l'axe 1 est Asmidal BP (5). Les eaux marines de cette station sont associées par rapport à l'axe 1 (Fig. 65) à l'hyperfertilisation des eaux et aux températures élevées. Ceci suggère que les eaux de refroidissement du complexe sont riches en sels dissous, plus précisément l'ammonium et les phosphates, et présentent en plus des températures élevées (cf. Tab. 6).

La mauvaise qualité des eaux de refroidissement et leur température élevée (six fois supérieure à la norme) auront des conséquences graves sur le milieu récepteur (mort des organismes aquatiques sténothermes et la dystrophisation des eaux littorales). La plage de Jouanoville met bien en évidence cet état de dégradation des eaux littorales (cf. Tab. 11).

Les stations dulçaquicoles sont liées au deuxième axe factoriel (F_2). Cependant, les stations les mieux représentées, par rapport au plan $F_1 \times F_2$ de l'ACP (Fig. 66), sont l'oued Bouhamra aval (1) et l'oued Mafregh (4). L'opposition de ces deux stations par rapport à F_2 , peut être attribuée à la mauvaise qualité des eaux de Bouhamra aval, qui est la plus polluée de toutes les stations dulçaquicoles. Contrairement à l'oued Mafregh, qui représente la station témoin.

Enfin, l'association de la station de l'oued Bouhamra aval, par rapport à l'axe 2 (Fig. 66), à l'ammonium, aux nitrites et aux phosphates (Fig. 65), confirme l'importance de la pollution organique de ses eaux et met bien en évidence les conditions réductrices du milieu.

Sur le plan $F_1 \times F_3$ de l'ACP (Fig. 67), nous remarquons que les phosphates contribuent à la formation de l'axe 3 et évolue dans le sens positif. L'axe 3 semble mettre en évidence la nature principalement organique des phosphates.

En effet, le phosphore est un élément biogène assez rare dans la lithosphère, il représente 0,1 % de sa composition élémentaire. Cependant c'est l'un des composants essentiels de la matière vivante car il est indispensable à l'édification des nucléotides et donc des acides nucléiques ainsi que des adénylates énergétiques (ATP, ADP et AMP) (Ramade, 2008).

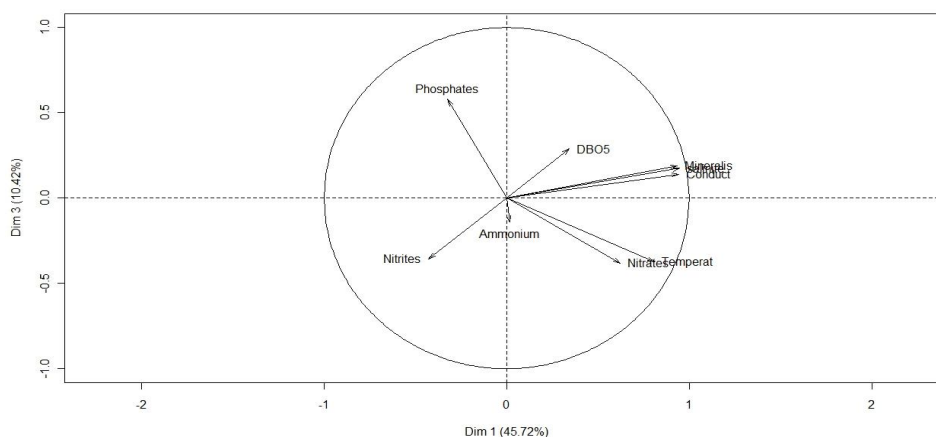


Figure 67. Cercle de corrélation des variables avec les axes $F_1 \times F_3$ de l'ACP

En sus, il constitue un facteur primordial pour la productivité de nombreux écosystèmes. Il est mis en circulation par dissolution dans l'eau interstitielle des sols et ensuite introduit par lessivage dans les eaux continentales. Le phosphore absorbé, par les végétaux autotrophes des divers écosystèmes, est transformé en phosphates organiques qui passent ensuite dans les réseaux trophiques de consommateurs puis de décomposeurs.

Ces phosphates restitués aux sols et aux sédiments par les déchets végétaux, les cadavres et les excréta des animaux, sont attaqués par les organismes saprophytes puis par les microorganismes décomposeurs pour être transformés en orthophosphates minéraux. Le phosphore est ainsi entraîné dans les cours d'eau par le ruissellement sous forme de phosphates dissous et particulaires, puis amené à la mer (Ramade, 2008).

Sur la carte factorielle $F_1 \times F_3$ de l'ACP (Fig. 68), nous observons que les stations les mieux représentées par rapport à l'axe F_3 sont respectivement la Seybouse (3), Asmidal Est (7) et Bouhamra amont (2). Cette dernière est associée aux phosphates (Fig. 67), et évolue dans le même sens positif.

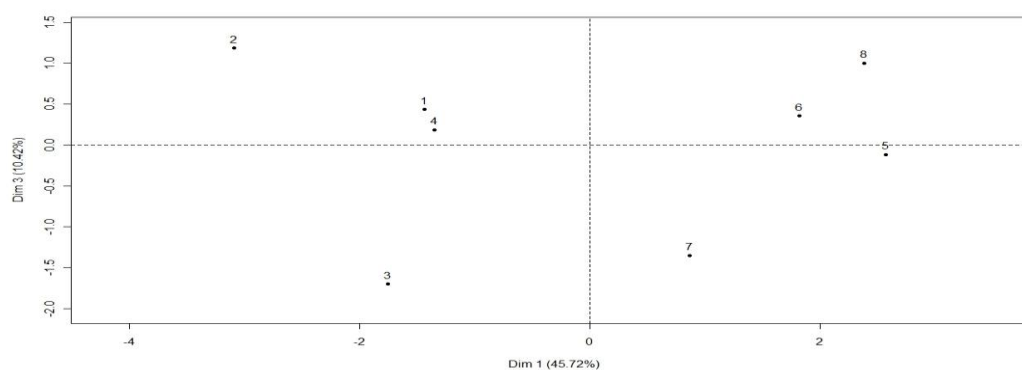


Figure 68. Carte factorielle des stations (axes $F_1 \times F_3$ de l'ACP)

Cette situation vient confirmer la pollution organique accrue de l'oued Bouhamra suite au phénomène d'hyper eutrophisation, caractérisé par une forte productivité primaire et une désoxygénation des eaux profondes.

Tandis que l'opposition, de la Seybouse et d'Asmidal Est, par rapport au même axe, aux phosphates peut signifier que leur origine n'est pas essentiellement agricole ou industrielle. Donc, nous pouvons dire que leur source, la plus probable, est domestique d'où leur correspondance avec la station de l'oued Bouhamra amont, qui reçoit principalement les rejets d'eaux usées domestiques, riches en matières organiques et en détergents.

5. 1. 2. Interprétation des graphes de l'ACP des micropolluants minéraux (ETM) dans l'eau

Sur le plan factoriel $F_1 \times F_2$ de l'ACP, apparait un gradient, révélateur d'un effet GUTTMAN, signifiant qu'un des axes de l'analyse, en l'occurrence l'axe 1, résume l'essentiel de l'information contenue dans le plan factoriel (Fig. 69).

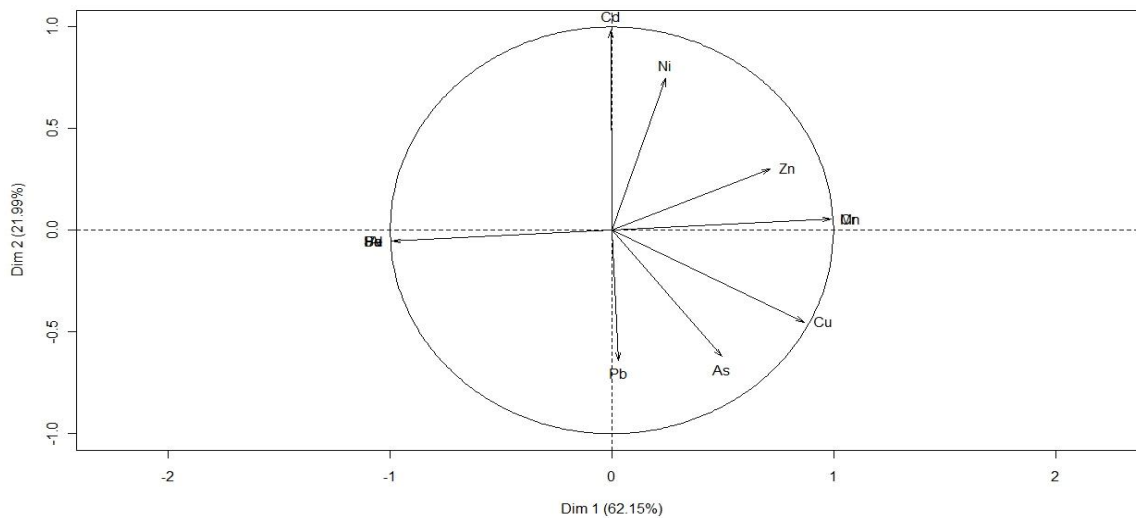


Figure 69. Cercle de corrélation des variables avec les axes $F_1 \times F_2$ de l'ACP

Effectivement, les taux d'inertie sont de 62,15 % pour F_1 , 21,99 % pour F_2 et 15,85 % pour F_3 . Les valeurs propres des trois composantes principales (F_1, F_2, F_3) de l'analyse multi variée et leurs contributions à l'inertie totale sont représentées dans le tableau 46.

Tableau 46. Taux d'inertie et valeurs propres des trois premiers axes de l'ACP

Axes	Valeurs propres	Pourcentages d'inertie	Pourcentages d'inertie cumulés
F ₁ (Dim 1)	7,45	62,15	62,15
F ₂ (Dim 2)	2,63	21,99	84,14
F ₃ (Dim 3)	1,90	15,85	100

D'après le tableau ci-dessus, nous constatons que plus de 80 % de l'information est contenue dans les deux premiers axes de l'analyse. C'est pourquoi, seul le plan (F₁ X F₂) de l'ACP est pris en compte pour décrire les corrélations des variables et des individus avec les axes.

Les ETM les mieux représentés sur le plan factoriel F₁ X F₂ de l'ACP (Fig. 69) et qui contribuent le plus à l'édification de l'axe F₁ sont par ordre décroissant : Mn = Cr > Cu > Zn.

Ils évoluent tous dans le même sens positif, ce qui peut refléter leurs sources communes.

Le Mn et le Cr sont très utilisés en métallurgie comme alliage. Ils sont aussi utilisés dans diverses autres industries : le Mn est utilisé en industrie chimique comme catalyseur et colorant et en industrie électriques pour la fabrication des électrodes et des piles sèches. Quand au Cr, il est utilisé pour le chromage et comme un inhibiteur de la corrosion par ajout de certains de ses composés à l'eau industrielle de refroidissement.

Le Cu et le Zn ont aussi des origines industrielles : le Cu est utilisé dans l'industrie chimique pour la fabrication des produits phytosanitaires et le Zn est utilisé, entre autre, dans la fabrication des pesticides (Zinèbe) et engrais phosphatés.

L'Al, le Se, le Ba et le Fe, forment un second groupe, et sont bien représentés sur l'axe 1 et contribuent significativement à sa formation ($r = - 99$). Cependant, ils s'opposent au Mn et au Cr, principalement, par rapport à cet axe (Fig. 69).

Cette disjonction peut être attribuée à leur origine différente. Le Se et le Ba sont issus, probablement, du lessivage des terres agricoles. Le premier rentre dans la fabrication de plusieurs produits phytosanitaires (fongicides, insecticides, acaricides, etc.). Le second est utilisé comme adjuvant dans les insecticides. Le Fe peut provenir principalement des rejets de la sidérurgie. L'Al est un métal naturel qui est omniprésent dans le sol, dans les plantes, dans les

tissus animaux, dans les ressources en eau, etc. Il provient, à priori, du lessivage des minéraux du sol.

Nous pouvons donc avancer que l'axe 1 de l'ACP reflète les activités anthropiques (industrielles et agricoles).

À cette typologie de variables (ETM) correspond une typologie de relevés (stations) qui permet de repérer très clairement les tendances dominantes.

L'analyse de la carte factorielle $F_1 \times F_2$ de l'ACP (Fig. 70), montre que les stations, Bouhamra aval (1) et la Seybouse (2) sont les plus corrélées à l'axe 1 et *ipso facto* associées aux activités anthropiques que représente cet axe. En sus, les deux stations évoluent dans un sens contraire par rapport au même axe.

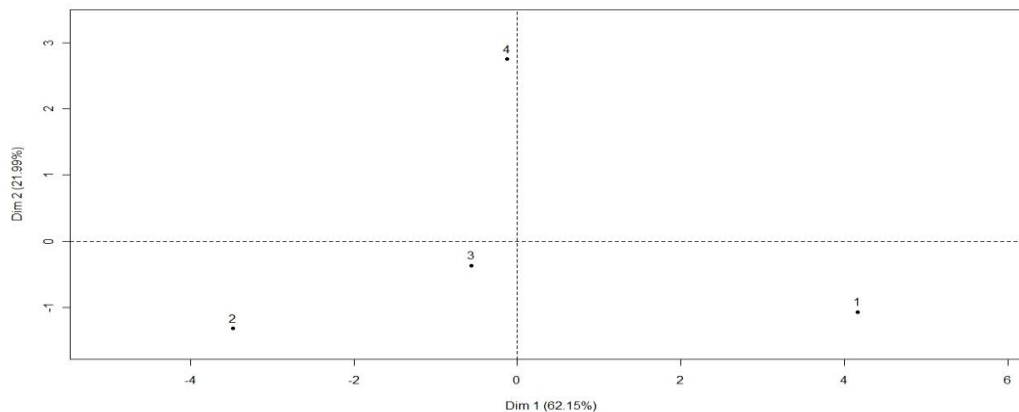


Figure 70. Carte factorielle des stations (axes $F_1 \times F_2$ de l'ACP)

(1 : Bouhamra aval, 2 : Seybouse, 3 : Asmidal BP, 4 : Asmidal annexe)

Il est vrai que l'oued Bouhamra est un véritable égout à ciel ouvert. Il reçoit tous les effluents domestiques et industriels de la plaine ouest de la ville. C'est la station la plus polluée, ses eaux présentent une très mauvaise qualité vis-à-vis des ETM, selon toutes les normes retenues (Khaled-Khodja, 2016).

Cependant les eaux de la Seybouse, particulièrement au niveau de l'embouchure, semblent avoir une qualité relativement meilleure que celle des eaux de l'oued Bouhamra aval.

En effet, la longueur de l'oued Seybouse (240 km), sa superficie importante et le long trajet qu'il parcourt avant de déboucher dans le littoral, nous laissent supposer que ses eaux sont mieux oxygénées et un peu plus diluées, surtout lors de l'intrusion marine au niveau de l'interface. Contrairement à l'oued Bouhamra dont la longueur est beaucoup plus restreinte (15

km) et dont les eaux lenticques favorisent le phénomène d'asphyxie des eaux et l'accumulation des matières organiques fermentescibles, principalement du côté amont (Fig. 67 et Fig. 68). Tandis que le côté aval récolte plus les effluents d'Asmidal et ceux de l'abattoir.

La disjonction entre les deux stations, par rapport à l'axe 1, peut être donc, expliquée par leurs caractéristiques hydrologiques différentes et aussi par la nature des rejets : la station de l'oued Bouhamra aval reçoit plus les effluents industriels du complexe d'Asmidal et les effluents domestiques. Alors que la Seybouse reçoit plus les rejets agricoles, suite aux activités culturelles qui occupent largement son bassin versant.

Le Cd participe significativement à l'édification de l'axe 2 ($r = 0,98$) et évolue dans le sens positif (Fig. 69). Le Cd est très utilisé dans diverses industries dont l'industrie de fabrication des engrais phosphatés ; ce qui est la principale vocation du complexe d'Asmidal. Ceci nous laisse supposer, à priori, que sa source la plus probable est le complexe.

L'axe 2 semble mettre en évidence les effluents du complexe d'Asmidal.

Sur la carte factorielle (Fig. 70), nous constatons selon F_2 que ces effluents industriels sont associés principalement à Asmidal annexe (4). En effet, ce petit bassin collecte toutes les eaux résiduaires issues de la fabrication des engrais phosphatés, de l'azote ammoniacal, des détergents et autres produits chimiques...

5. 1. 3. Interprétation des graphes de l'ACP des micropolluants minéraux (ETM) dans le sédiment

Le plan factoriel $F_1 \times F_2$ de l'ACP, montre un gradient, révélateur d'un effet GUTTMAN stipulant qu'un des axes de l'analyse, en l'occurrence l'axe 1, résume l'essentiel de l'information contenue dans le plan factoriel (Fig. 71).

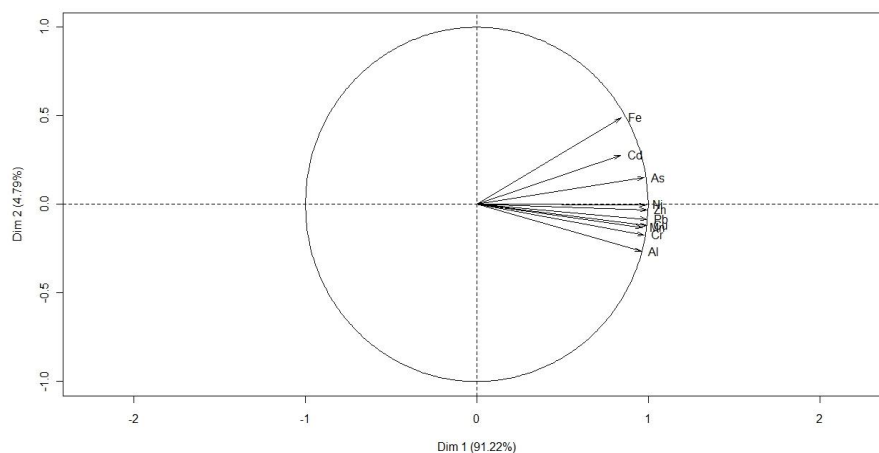


Figure 71. Cercle de corrélation des variables avec les axes $F_1 \times F_2$ de l'ACP

En effet, les taux d'inertie sont de 91,22 % pour pour F_1 , 4,79 % pour F_2 et 3,99 % pour F_3 . Les valeurs propres des trois composantes principales (F_1, F_2, F_3) de l'analyse multi variable et leurs contributions à l'inertie totale figurent dans le tableau 47.

Tableau 47. Taux d'inertie et valeurs propres des trois premiers axes de l'ACP

Axes	Valeurs propres	Pourcentages d'inertie	Pourcentages d'inertie cumulés
F_1 (Dim 1)	9,12	91,22	91,22
F_2 (Dim 2)	0,47	4,79	96,00
F_3 (Dim 3)	0,39	3,99	100

D'après le tableau 47, nous remarquons que l'axe 1 apporte plus de 90 % de l'information. C'est pourquoi, nous allons interpréter que le plan factoriel $F_1 \times F_2$ de l'ACP.

Les micropolluants minéraux qui sont significativement corrélés à l'axe 1 sont, par ordre décroissant d'importance : $Pb > Zn > Cu > Ni > Cr > As > Mn > Al$ (Fig. 71).

Tous ces ETM évoluent dans le même sens positif, ce qui suggère leur même origine anthropique.

Le F_1 met en relief les activités humaines qui sont à l'origine de la pollution.

L'analyse de la carte factorielle (Fig. 72) montre que la station de l'oued Bouhamra aval (1) est la mieux représentée sur l'axe F_1 suivie de la station d'Asmidal BP(3). Ces deux stations sont associées aux activités humaines et s'opposent l'une à l'autre par rapport à l'axe 1.

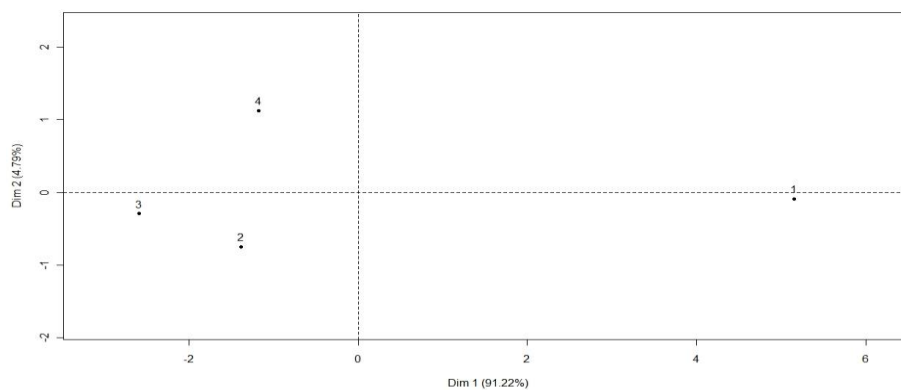


Figure 72. Carte factorielle des stations (axes $F_1 \times F_2$ de l'ACP)

(1 : Bouhamra aval, 2 : Seybouse, 3 : Asmidal BP, 4 : Asmidal annexe)

La disjonction entre ces stations peut expliquer la diversité des sources de contamination des eaux littorales et la nature des polluants. La station de l'oued Bouhamra aval reçoit les trois

principaux types d'effluents : domestiques, industriels et agricoles. Tandis que la station d'Asmidal BP témoigne de l'intrusion directe, des effluents propres à Asmidal dans la baie d'Annaba.

Finalement, l'analyse statistique multidimensionnelle nous a permis de constater l'interdépendance des facteurs du milieu, l'eau et le sédiment.

En effet, la qualité du sédiment est tributaire de la qualité de l'eau. Les stations qui présentent une mauvaise qualité de l'eau ont des sédiments de mauvaise qualité.

Un autre point important ressort de cette analyse est la vulnérabilité des écosystèmes limniques à toute contamination anthropique suite à leurs caractéristiques hydrologiques.

Conclusion générale et perspectives de recherches

Les eaux continentales marines ou douces et les ressources en eau sont l'objet de multiples utilisations et aménagements d'où la menace. La multitude des sous produits issus de toutes ces activités anthropiques sont jetés, sans traitement préalable, en mer ou sont déversés dans les oueds, qui les véhiculent jusqu'au littoral. La plupart des rejets sont d'origine agricole, ménagère et industrielle, chargés en sels nutritifs et en matières organiques fermentescibles, qui sont à l'amont du phénomène d'eutrophisation (dystrophisation) et l'asphyxie des eaux.

Les conséquences de cette dystrophisation sur l'équilibre et la bonne santé du système aquatique peuvent être graves et constituer une véritable menace pour l'avenir socio-économique de la région d'Annaba (dégradation de la qualité des eaux, ce qui peut se traduire par des pertes économiques et des risques pour la santé humaine, altération des pêches, diminution de la biodiversité, empoisonnement du bétail, mauvaise aptitude aux usages, etc.).

En sus, la présence des micropolluants organiques (produits phytosanitaires) et les micropolluants minéraux (E.T.M.), à caractère rémanent et bioaccumulatif dont la toxicité peut se manifester à des concentrations infinitésimales, aggrave la situation, d'autant plus que leur devenir et leur incidence sur l'écosystème aquatique ne sont pas bien élucidés actuellement (El Yamani et Barrillon, 2006 ; Tronczynski et al. 2005).

La conservation et la gestion rationnelle et durable des zones côtières et des ressources hydriques imposent une meilleure connaissance des principales composantes hydro biologiques et hydro chimiques qui caractérisent l'écosystème côtier et limnique. Les études physico-chimiques des divers flux anthropiques devront constituer un élément crucial et décisif dans l'aide à la décision pour une gestion intégrée du littoral d'Annaba.

La pollution du Golfe d'Annaba a pour cause principale les rejets anthropiques (agricoles, industriels et ménagers) en mer. Ce flux terrigène est véhiculé essentiellement par les oueds Bouhamra et la Seybouse, en sus, des effluents du complexe d'engrais phosphaté, ASMIDAL (FERTIAL), de l'abattoir et des stations de relevage.

Le suivi de la qualité physico-chimique des eaux et des sédiments des oueds et des effluents d'Asmidal, nous a permis de quantifier un certain nombre de polluants et d'apprécier la qualité de ces rejets telluriques.

Les résultats obtenus concourent tous à mettre en relief l'état de détérioration avancé des différents sites d'étude.

L'oued Bouhamra, et particulièrement la partie avale, présente une importante dégradation de la qualité des eaux. L'oued subit une pollution organique excessive consécutive

à une hyperfertilisation de l'eau. Les teneurs relativement élevées en nutriments (PO_4^{3-} , NH_4^+) peuvent avoir des conséquences désastreuses sur le milieu récepteur (proliférations d'algues, réduction de la diversité des espèces marines et l'appauvrissement en oxygène des eaux, ainsi que les risques potentiels pour la santé humaine liés à l'ingestion de fruits de mer contaminés par des agents pathogènes ou des algues toxiques).

Les ions PO_4^{3-} contenus dans les eaux sont dus, à l'heure actuelle, essentiellement aux rejets, domestiques (polyphosphates des détergents), agricoles (engrais, pesticides), voire industriels (agroalimentaires, laveries, ateliers de traitement de surface..) (Savary, 2003). Il existe une excellente corrélation entre la teneur en phosphore et la productivité primaire des écosystèmes limniques (Ramade, 1998). Des teneurs supérieures à $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$ favorisent la prolifération des algues qui conduisent à l'eutrophisation (dystrophisation) des lacs, des cours d'eau....(Savary, 2003). Le développement démesuré des algues, réduit le passage de la lumière, accroît la demande biochimique en oxygène (DBO_5). La mort des algues provoque une désoxygénation (asphyxie du milieu aquatique) croissante et désastreuse du milieu limnique (Rodier, 2009 ; Ramade, 2008 ; Ramade, 1998). La vie aquatique subit une véritable dégradation qui peut compromettre l'utilisation de ces eaux (Savary, 2003). Dans ces conditions d'anaérobiose totale, l'activité microbiologique aérobie (DBO_5) est nettement défavorisée. La matière organique est partiellement décomposée, d'où les teneurs élevées en NH_4^+ . Le processus de fermentation prend alors le dessus, et le dégagement de gaz nocifs (H_2S , CH_4 et CH_3) parachève la vie aquatique. L'eutrophisation est donc très fréquemment le premier stade d'une évolution vers une destruction de la flore et de la faune, c'est-à-dire vers un état pathologique des milieux aquatiques. Ce stade est qualifié de dystrophie. Le faciès lentique de l'oued Bouhamra peut encore accentué le scénario de dystrophisation de l'eau .

Suite à leur caractère rémanent dans l'environnement et leur potentielle d'accumulation dans la chaîne trophique, les insecticides organochlorés sont interdits d'utilisation aujourd'hui, sauf dérogation (cas du chloredécone aux Antilles, par exemple) (Rodier et al., 2009).

Des concentrations élevées en lindane ont été détectées dans l'eau de l'oued Bouhamra. Cet insecticide organochloré est interdit d'utilisation agricole depuis 1998, mais il est encore utilisé comme biocide pour le traitement des charpentes. Le lindane qui est très liposoluble est considéré comme ayant une action carcinogène pour l'animal (Rodier et al., 2009).

Dans le sédiment des produits de dégradation du DDT (pp'DDE, pp'DDD) ont été mis en évidence mais leurs concentrations restent dans les limites recommandées. Le HCB est aussi

présent dans le sédiment. Ce dernier compte parmi les douze polluants organiques persistants (POPs) de la Convention de Stockholm (2000), qui vise à réduire et/ou éliminer les rejets de ces substances. Il est interdit d'usage depuis 1988 en France et en Europe, dès l'année 1993 (Brignon, 2005).

Deux insecticides organophosphorés, le Dichlorvos et le Malathion, ont été mis en évidence que dans l'eau, avec des teneurs très élevées par rapport à la norme. Ces deux substances actives sont radiées de l'annexe I de la directive 91/414/CE depuis 2007 (Couteux et Lejeune, 2010).

Des concentrations considérables (290 fois supérieure à la norme) du désherbant 2,4-D ont été détectés dans l'eau de l'oued Bouhamra. Enfin, l'analyse a montré aussi la présence d'un dangereux fongicide, le carbendazime, dans l'eau, avec une concentration supérieure à la norme requise.

En outre, une pollution métallique sévit, également dans l'eau et le sédiment de l'oued Bouhamra. Les E.T.M. sont présents dans l'oued en toute saison avec des concentrations relativement élevées. La qualité de l'eau et du sédiment est très mauvaise pour la vie biologique (SEQ-Eau, 2003) et montre aussi un très mauvais potentiel biologique par rapport aux NQEp. Les E.T.M. qui sont à l'origine de la contamination de l'eau et du sédiment sont, à priori, l'Al, le Zn, le Cu, l'As, le Cr, le Pb, Fe, le Mn, le Cd, le Ni, le Se et le Ba. Ces micropolluants minéraux sont pour la plupart hautement toxiques pour les êtres vivants, et non biodégradables. Leur caractère persistant présente un danger permanent pour la biocénose aquatique. Leur bioaccumulation dans les organismes marins (organismes filtreurs et les poissons carnivores) et leur bioamplification dans les chaînes trophiques conduit chez les prédateurs supérieurs à des facteurs de concentration par rapport au milieu ambiant pouvant atteindre 10^6 pour certaines substances (Cadiou, 2008 ; Ramade, 2007 ; AEE, 2006 ; AEE, 1999). Leur devenir et leurs incidences sur le milieu naturel présentent de nombreuses lacunes, jusqu'à nos jours, d'où le danger...

Les divers micropolluants minéraux mis en évidence dans l'eau et le sédiment de l'oued Bouhamra ont des origines anthropiques très diversifiées. Néanmoins nous pouvons dire, de façon générale, que la plupart d'entre eux sont issus des produits phytosanitaires (fongicides, herbicides et insecticides) tels que l'As. D'autres sont issus des déchets industriels et la fabrication d'engrais phosphatés tels le Pb, le Cr et le Ni. Enfin d'autres proviennent de la fabrication d'insecticides et des effluents d'eau résiduaires tel que le Zn, qui est souvent accompagné de Cd et de Pb.

Conclusion générale et perspectives de recherches

Suite aux résultats physico-chimiques et biochimiques de l'eau de l'oued Seybouse, nous pouvons avancer ce qui suit : l'élément minéral omniprésent durant les deux années d'étude et en toute saison est l' NH_4^+ . L'année (2002-2003) a été particulièrement marquée par des taux excessivement élevés et plus précisément en période estivale ($6,40 \text{ mg.l}^{-1}$). Il reste présent et prédominant au cours de l'année (2003-2004) mais nous constatons que ses teneurs sont plus faibles ($3,24 \text{ mg.l}^{-1}$). Ce paramètre classe l'eau comme passable pour l'aptitude à la vie biologique et de mauvaise qualité pour la production d'eau de consommation (SEQ-EAU, 2003).

La fraction de l'azote oxydé (NO_2^- et NO_3^-) reste faible dans le milieu avec des concentrations un peu plus élevées en faveur des NO_3^- principalement, durant la deuxième année. Cependant le taux en NO_2^- l'emporte sur le taux en NO_3^- au cours de l'année 2002-2003. Ce qui peut refléter les conditions réductrices du compartiment aqueux. De façon générale les teneurs en NO_2^- et NO_3^- restent faibles dans le milieu, ce qui peut suggérer une inhibition du processus de nitrification, conduisant à une mauvaise dégradation de la matière organique d'où les teneurs élevées en NH_4^+ .

L'année (2002) a enregistré un taux élevé en PO_4^{3-} essentiellement en été ($1,3 \text{ mg.l}^{-1}$) ce qui constitue un indice de pollution (Rodier et al., 2009). Or, l'année (2003-2004) enregistre une chute significative en PO_4^{3-} . Ces teneurs moindres en phosphates peuvent être attribuées à un apport d'eau ($715,3 \text{ mm}$ de précipitations ont été enregistrés en 2003 et $837,7 \text{ mm}$ en 2004), qui a eu pour effet la solubilisation des phosphates et leur assimilation par les organismes aquatiques. Enfin, l'eau présente une aptitude passable vis-à-vis de la vie aquatique (SEQ-Eau, 2003).

Les valeurs de la DBO_5 , fluctuant entre 15 mg.l^{-1} à $144,44 \text{ mg.l}^{-1}$, viennent appuyer l'hypothèse de la pollution organique excessive du milieu (ABHCSM, 2002) et qualifie l'eau de la Seybouse de très mauvaise (ABHCSM, 2009 ; SEQ-Eau, 2003). Inapte à la vie biologique et à tous les usages et pouvant constituer une menace pour la santé publique et l'environnement (SEQ-Eau, 2003).

Il doit être également signalé, que les valeurs plus faibles enregistrées, au cours de la deuxième année, en DBO_5 peuvent mettre en relief la diminution de la capacité auto épuratrice du milieu au fil du temps suite à l'inhibition de l'activité biologique par divers polluants.

Du lindane, dont la concentration est inférieure à la norme, a été trouvé dans l'eau de la Seybouse, provenant probablement du lessivage des terres agricoles, largement présent sur

les rives de l'oued. Néanmoins, dans le sédiment des produits de dégradation du DDT (produit interdit en France depuis 1972) ont été mis en relief : le pp'DDD et le pp'DDE. La concentration de ce dernier dépasse la norme du SEQ-Eau et attribue au sédiment de la Seybouse une aptitude passable à la biologie. Ce qui atteste d'une dégradation significative du milieu naturel, avec une réduction de la biodiversité et prédominance d'espèces tolérantes (SEQ-Eau souterraine, 2003).

Un insecticide organophosphorés, le Malathion, a été trouvé dans l'eau de la Seybouse. Sa concentration est élevée et attribue à l'eau un mauvais potentiel biologique.

Les herbicides ont été détectés dans l'eau et le sédiment de la Seybouse. Le 2,4-D et le Dinoterbe se trouvent à des teneurs élevées et confèrent ainsi à l'eau une mauvaise aptitude à la biologie. Le Dinoterbe est radié de l'annexe I de la directive 91/414/CE depuis 1998 (Couteux et Lejeune, 2010).

Certains fongicides ont été mis en évidence dans la Seybouse dont le Carbendazime, qui se trouve à des concentrations supérieures à la norme et confère ainsi à l'eau une aptitude passable à la biologie. Ce fongicide est très toxique pour le zooplancton, les poissons, les animaux domestiques et l'homme (Couteux et Lejeune, 2010).

En plus de la pollution chimique et organique qu'elle subit, la Seybouse ne paraît pas à l'abri d'une contamination métallique dont les sources anthropiques sont les plus probables. Les résultats préliminaires des micropolluants minéraux montrent que la majorité des E.T.M. trouvés dans l'eau et le sédiment de l'oued Seybouse sont toxiques. Certains appartiennent à la première catégorie (substances prioritaires et dangereuses : Cd), d'autres appartiennent à la deuxième catégorie (substances prioritaires : Ni et Pb) qui figurent dans l'annexe X, de la directive cadre de l'eau (DCE). Le reste appartient à la troisième catégorie (substances pertinentes : As, Ba, Cr, Cu, Se et Zn) de la liste II de la directive 76/464/ CEE.

L'eau présente une très mauvaise aptitude à la biologie, selon le SEQ-Eau. Ce statut est aussi confirmé par les NQEp qui attribuent à l'eau un mauvais potentiel biologique. Les principaux E.T.M. responsable de cet état de dégradation de l'eau sont respectivement : Al > Zn > Pb > As > Fe > Mn > Cu > Ba > Se > Ni > Cr > Cd. Tous ces E.T.M. présents dans l'eau et le sédiment peuvent avoir diverses origines. Cependant, il nous semble que les sources les plus probables sont les eaux résiduaires urbaines, agricoles et industrielles, qui sont déversées dans l'oued, sans traitement préalable.

Conclusion générale et perspectives de recherches

D'après Rodier (2009), Savary (2003) et Ramade (1998) , la pollution des écosystèmes aquatiques par le zinc provient de plusieurs sources industrielles, domestiques et agricoles.

Effectivement, il existe dans le site d'étude différentes zones industrielles, différents raccordements d'eaux usées et des terres cultivées. Néanmoins, l'origine probable des concentrations élevées en zinc, nous semble être le complexe de fabrication des engrais phosphatés et des produits phytosanitaires, situé seulement à quelque mètres de l'embouchure de l'oued.

Les concentrations élevées en cuivre peuvent être attribuées aux activités culturelles. Les sels de cuivre sont largement utilisés en agriculture en tant qu'insecticides, fongicides, algicides (Rodier, 2009 ; Savary, 2003 ; Ramade, 1998).

De fortes teneurs en arsenic dans l'eau superficielle peuvent être attribuées aux rejets agricoles et industriels. L'arsenic est utilisé, entre autre, dans l'industrie chimique pour la fabrication des engrais phosphatés où il peut se rencontrer à raison de plusieurs ppm, d'herbicides arséniés (cacodylates), d'insecticides et de détergents (Bicocchi, 1998 ; Rodier, 2009 ; Ramade, 2008 et Savary, 2003). Ceci suggère que l'origine probable de ce métal provient des rejets d'eau résiduaire du complexe d'Asmidal, situé à proximité du site d'étude. En plus des eaux de lessivage des terres agricoles, qui s'étendent largement sur les rives de l'oued Seybouse.

La présence du fer dans l'eau peut avoir diverses origines, nous citerons entre autre les rejets industriels (métallurgiques, sidérurgiques). Il est aussi largement utilisé dans l'industrie chimique. On le rencontre aussi à l'état soluble dans les eaux privées d'oxygène (Rodier 2009 ; Savary, 2003).

Le manganèse est fréquemment associé au fer, avec lequel il a la propriété de coprecipiter, il peut exister dans les eaux profondes (absence d'oxygène). Ses utilisations industrielles sont multiples : métallurgie (acières, alliages, soudures), industrie électrique (électrodes, piles sèches), industrie chimique (catalyseur, colorants), etc. (Rodier 2009 ; Savary, 2003).

Le Pb est très utilisé dans l'industrie, les possibilités de pollutions sont extrêmement nombreuses et variées (Rodier, 2009). Cependant, vu que l'oued est situé sous un pont où le trafic routier est relativement intense, nous pouvons avancer à priori, que ces teneurs élevées en Pb peuvent être issues de l'emploi du plomb tétraéthyl dans les carburants et l'utilisation des combustibles fossiles. Ce qui entraîne la formation d'aérosols plombifères, qui constituent de nos jours, la principale source de plomb dans les hydrosystèmes (Rodier, 2009). En sus, les déchets industriels banals provenant des diverses industries présentes et principalement les rejets

du complexe de fabrication des engrais phosphatés (Fertial), distant de quelques mètres de l'oued.

La présence du nickel dans l'eau est liée principalement aux activités anthropiques (Savary, 2003). Il est très employé dans l'industrie chimique comme catalyseur (Rodier, 2009) et entre dans la composition de divers fongicides (Savary, 2003).

Le Chrome, élément anormal de l'eau ; sa présence est le plus souvent liée aux rejets des ateliers de galvanoplastie. Ce métal est principalement utilisé pour le chromage, la fabrication d'alliages, d'agents oxydants, d'inhibiteurs de la corrosion (par ajout de certains de ses composés à l'eau industrielle de refroidissement comme élément anticorrosion) (Rodier, 2009). Ceci suggère que l'origine du Cr trouvé dans l'oued Seybouse, peut provenir principalement des eaux de refroidissement du complexe d'Asmidal, qui sont déversées dans la baie d'Annaba.

Le cadmium est presque toujours associé à des minerais de zinc ou de plomb. D'une façon générale, les eaux ne contiennent que quelques microgrammes de cadmium par litre. Lorsque des teneurs plus élevées sont rencontrées dans les eaux superficielles, l'origine du Cd doit être recherchée dans les effluents industriels (métallurgie des métaux non ferreux et galvanoplastie, en particulier) et agricoles.

Une importante source de pollution diffuse par le cadmium résulte de sa présence à l'état d'impureté dans les engrais chimiques, les superphosphates. Il est de ce fait la cause d'une pollution clandestine des terres cultivées et, par voie de conséquence, des eaux continentales superficielles via le ruissellement et l'érosion des sols, sans omettre les apports aux eaux de surface résultant des apports atmosphériques (Rodier, 2009 ; Savary, 2003 ; Ramade, 1998).

Donc, nous pouvons avancer que le Cd présent dans l'eau de l'oued Seybouse a pour source probable les effluents du complexe de fabrication des engrais phosphatés, qui se trouve à quelques mètres de la station d'étude. En plus des effluents gazeux du complexe Sidérurgique d'El Hajar et les terres agricoles, qui occupent la plaine basse de l'oued Seybouse.

L'utilisation des produits phytosanitaires (les fongicides, les insecticides, les acaricides, etc.) et le lessivage des sols, semble être la source la plus probable de la présence du Se dans l'eau (Rodier, 2009 et Savary, 2003).

Enfin, le baryum, ne peut exister naturellement dans l'eau que sous forme de carbonate (Rodier, 2009 ; Savary, 2003). Sa présence dans l'eau peut occasionner une pollution diffuse car il est utilisé comme adjuvant dans les insecticides (Ramade, 1998).

Conclusion générale et perspectives de recherches

Pour finir, nous pouvons dire que l'eau de la Seybouse est eutrophe et polluée. Cette dégradation notable de la qualité de l'eau peut être due principalement aux rejets agricoles et industriels (complexe de fabrication d'engrais phosphatés et produits phytosanitaires) et domestiques (eaux usées). Les conséquences sur le proche littoral d'Annaba, peuvent être catastrophiques. En sus, la présence des E.T.M. non biodégradables aggrave la situation vue leur haute toxicité pour les êtres vivants. Leur caractère rémanent présente un danger permanent pour la biocénose aquatique. Leur bioaccumulation dans la chaîne alimentaire constitue une sérieuse menace pour la santé de l'homme, qui se trouve au sommet de la pyramide des divers niveaux trophiques (Cadiou, 2008 ; Ramade, 2007 ; AEE, 2006 ; AEE, 1999). Le sédiment présente aussi, une aptitude passable à la biologie.

Comparer à l'oued Mafregh, les oueds Bouhamra et la Seybouse mettent bien en relief l'effet de l'anthropisation sur la qualité du milieu aquatique.

Les eaux marines ne semblent pas être en meilleur état que les eaux dulçaquicoles. Toutes les stations marines sont sujettes à une pollution chimique, thermique et métallique. Les effluents liquides du complexe d'Asmidal (Asmidal B.P., Asmidal annexe et Asmidal Est) sont hyperfertilisés. Les concentrations en sels nutritifs (NH_4^+ et PO_4^{3-}) sont élevées et confèrent à ces eaux, déversées dans le proche littoral, une mauvaise qualité. Ce qui a un impact négatif direct sur le milieu récepteur : la plage de Jouanoville. Cette dernière présente une très mauvaise qualité de l'eau.

Du Lindane a été aussi trouvé dans les eaux de refroidissement, à des teneurs inférieures aux normes préconisées.

Des herbicides tels que le Dinoterbe, le Diuron, le 2,4-D, le Lenacil ont été mis en évidence dans l'eau avec des concentrations faibles pour la majorité. Du Diuron a été également trouvé dans le sédiment. Le Diuron est considéré comme une substance prioritaire (DCE) visée par le plan interministériel de réduction des risques liés aux pesticides. Depuis 2002 interdiction d'utilisation du Diuron seul, non associé à d'autres substances actives, pour tous les usages agricoles. Interdiction d'utiliser des produits contenant du Diuron, en utilisation non agricole, entre le 1^{er} novembre et le 1^{er} mars 2002 (INERIS, 2008). Un molluscicide, le Métaldéhyde a été trouvé dans les eaux de refroidissement.

Des éléments traces métalliques sont rencontrés durant toutes les campagnes d'échantillonnage, dans l'eau et le sédiment d'Asmidal B.P. Leurs concentrations sont généralement en dessous des normes dans le sédiment. Tandis que certains E.T.M. enregistrent des concentrations

Conclusion générale et perspectives de recherches

relativement élevées dans l'eau, et dépassant les normes requises, tels que : le Cu, le Pb, le Ni et le Zn. Ces deniers attribuent aux eaux de refroidissement un mauvais potentiel biologique.

Du Lindane est également mis en évidence dans l'eau d'Asmidal annexe mais il reste dans la limite préconisée. Par ailleurs, le sédiment semble être dépourvu d'insecticides organochlorés.

Un nombre relativement important d'herbicides tels que : le Bromoxynil, le Diuron, le Dimethachlor, le Flufenacet, l'Isoxaben, le 2,4-MCPA et le Nicosulfuron sont identifiés dans les eaux du bassin annexe. Cependant, faute de normes pour la plupart d'entre eux, nous ne pouvons pas apprécier la qualité de l'eau par rapport à ces pesticides.

Un seul herbicide a été signalé dans le sédiment d'Asmidal annexe : le Dichlorprop dont la concentration paraît relativement élevée. Malheureusement, faute de normes, nous ne pouvons rien dire sur la qualité du sédiment vis-à-vis de ce composé chimique.

Un fongicide (le Propamocarb HCl) et un molluscicide (le Métaldéhyde) ont été trouvés dans les eaux du bassin annexe. Faute de normes ne pouvons rien avancer sur la qualité des eaux par rapport à ces composés.

La présence des éléments traces métalliques est bien vérifiée dans le sédiment et l'eau du bassin annexe d'Asmidal. Néanmoins, les concentrations les plus élevées sont rencontrées dans l'eau. Les E.T.M. à l'origine de l'altération de l'effluent liquide d'Asmidal annexe sont principalement : le Cd, le Cu, le Ni, le Pb et le Zn. L'eau présente un mauvais potentiel biologique par rapport à ces descripteurs.

En plus, de l'importante dégradation de la qualité chimique des effluents du complexe d'Asmidal, une deuxième pollution physique est mise en relief : la pollution thermique. Cette dernière sévit particulièrement dans la station de Jouanoville suite aux rejets d'eaux chaudes par le complexe qui excède de 6°C, la température normale.

Cette forme de pollution physique peut paraître anodine au regard des pollutions chimiques, compte tenu de la toxicité et des effets à long terme de certaines molécules. Pourtant, cette pollution thermique diffuse peut avoir des effets néfastes sur la vie aquatique.

Une particularité des habitats aquatiques résulte de la forte chaleur spécifique de l'eau qui leur confère une grande inertie (persistance ou stabilité) thermique. En conséquence les variations de températures des biotopes lacustres ou des cours d'eau, *a fortiori* des mers, sont beaucoup plus faibles qu'en milieu terrestre. Il en résulte que les poissons et autres organismes aquatiques sont beaucoup plus sensibles à une variation rapide - même de faible amplitude - de la température des eaux où ils vivent que les êtres vivants terrestres. Ils peuvent être localement

victimes d'une pollution thermique des eaux due aux rejets d'eaux chaudes par des centrales électriques ou des chaufferies industrielles (Ramade, 1998).

Les rejets d'eau chaude vont probablement causer un choc thermique préjudiciable pour les poissons, organismes sténothermes (espèces ayant un faible intervalle de tolérance pour la variation de la température) ne supportent pas des variations de températures de l'eau supérieure à quelques degrés en quelques heures, ΔT (une variation de $T^{\circ}\text{C}$) de 5°C provoquant déjà la mort de nombreuses espèces. La situation est critique pour les invertébrés marins qui sont plus sténothermes que les métazoaires (Ramade, 1998). D'autres effets locaux importants peuvent se manifester consécutivement à l'élévation de la température, je citerai entre autre :

- La réduction de la quantité d'oxygène dissous dans les milieux aquatiques ;
- L'augmentation de l'activité métabolique des organismes (jusqu'à un certain seuil) et donc leur consommation en oxygène.
- Il semble aussi que l'augmentation de la température accroisse la sensibilité des organismes aux substances toxiques. Il s'ensuit une modification des communautés biologiques du milieu avec apparition de zones mortes, modification des espèces présentes et appauvrissement de la biodiversité.
- Les bactéries et les virus peuvent profiter de l'élévation de température et réduire la qualité sanitaire des eaux ainsi que les capacités épuratrices du milieu [1].

L'ACP vient enfin, confirmer l'importante contamination des eaux et des sédiments des diverses stations par les rejets anthropiques. Elle nous a aussi permis de constater la vulnérabilité des écosystèmes aquatiques à la pollution. Toute intrusion d'élément chimique dans le milieu limnique peut avoir des conséquences graves sur nos ressources hydriques, qui sont déjà très limitées et très mal gérées...

Suite à ce qui a été vu antérieurement, quelques recommandations futures s'imposent :

- Cette étude écotoxicologique devrait être complétée par un suivi du comportement des espèces aquatiques vis-à-vis de ces polluants, et plus précisément sur les phénomènes de bioconcentration et bioaccumulation dans la chaîne trophique ;
- Il serait aussi judicieux, de préciser la part d'apport en rejets des différentes activités anthropogéniques (l'agriculture, les ménages et l'industrie) au proche littoral d'Annaba, en estimant les flux et les débits des divers effluents ;
- Afin de réduire la quantité des ces rejets telluriques en mer, il est impératif que les stations

Conclusion générale et perspectives de recherches

d'épuration soient fonctionnelles et leur capacité doit être compatible avec le nombre d'habitants.

- Les eaux usées domestiques devraient être traitées et recyclées à des fins industriels et agricoles.
- Contrôle stricte des divers établissements classés (complexe de fabrication d'engrais, centrale thermique, complexe sidérurgie, métallurgie, tannerie, agriculture, industries agro-alimentaires, etc.) et éviter leur implantation sur la frange côtière.
- Application des lois, sans aucune discrimination, contre tous les pollueurs afin de minimiser les dégâts et protéger nos ressources hydriques contre la mauvaise gestion et le gaspillage.
- Interdire les pratiques agricoles sur le littoral qui sont la source d'hyper fertilisation des eaux marines et douces.
- Sensibiliser les gens, de toutes les catégories sociales, de l'importance de la protection de l'environnement, qui renferme toutes les ressources vitales (air, eau et sol) nécessaires pour notre épanouissement et notre vie et celle des générations futures.

Références bibliographiques

1. ABDI H. & VALENTIN D. 2007. - Multiple Factor Analysis (MFA). *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. 1-14p.
2. Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue. 2002. - Bassin de la Seybouse. Ministère des Ressources en Eau 32, 1-26.
3. Agences de l'Eau. 2003. - Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau). Grilles d'évaluation version 2. 40, 1-40.
4. Agences de l'Eau. 2003. - Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (SEQ-Eaux souterraines). Rapport de présentation. Version 0.1. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, France. 75p.
5. Agence de l'eau Loire-Bretagne. 2006. - Le prélèvement d'échantillons en rivière, techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques. Ministère de l'Écologie et du développement Durable, France. 134p.
6. Agence de l'eau Loire-Bretagne. 2006. - Le prélèvement d'échantillons en rivière, techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques. Ministère de l'Écologie et du développement Durable, France. 134p.
7. Agence de l'eau Loire-Bretagne. 2006. - Le prélèvement en rivière, techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques, annexes. 8^{ème} édition. Ministère de l'Écologie et du développement Durable, France. 27p.
8. AMINOT A. & CHAUSSEPIED. 1983. - Manuels d'analyses chimiques en milieu marin. 396p.
9. Agence Européenne pour l'Environnement : AEE, 2006. - Problèmes prioritaires pour l'environnement méditerranéen. *Rapport n° 4*. Office des publications officielles des communautés européennes, Copenhague. 92p.
10. Agence Européenne pour l'Environnement : AEE, 1999. - Le milieu marin et littoral méditerranéen: état et pressions. Office des publications officielles des communautés européennes, Copenhague. 44p.
11. AMINOT A., KEROUEL R. (2004). - Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ifremer 336, 11-273.
12. Association nationale pour la protection de l'Environnement et la lutte contre la pollution (ANPEP). 2005. - L'homme et l'environnement. Revue périodique Info - Scientifique. Annaba, 17 p.

13. BEAUX J-F. 2004. - L'environnement. *Nathan*, France. 160p.
14. BENOIT H-B., LAUDET-HESBERT A., MAHIEU C. & DORNIER G. 2004. - Les phtalates. Points des connaissances ED 5010, INRS. 2ème édition, 4p.
15. BICOCCHI S. 1998. - Les polluants et les techniques d'épuration des fumées (cas des unités de destruction thermique des déchets). *Ed. TEC & DOC*, Paris. 187p.
16. BIJAOU I A. 2007. - Recherche documentaire en toxicologie, accéder à l'information pertinente. *dmt assistance*. N° 109 : 91-105p.
17. BISSON M. HEUZE G. LACROIX G. LEFEVRE J-P. MAGAUD H. & MALLERET L. 2005. - Anthracène. Fiche de données toxicologique et environnementale des substances chimiques, INERIS. 41p.
18. BLAIN Stéphane & CHARLOU Jean Luc. 2009. - La chimie et la mer, ensemble au service de l'homme. EDP Sciences, France. 205p.
19. BOUGUERRA L. 2009. - Périmètre irrigué : inquiétude des fellahs. *Alliance pour un monde responsable, pluriel et solidaire*. 3p.
20. BOUGUERRA M. L. 2002. - Les pratiques agricoles intensives sont, directement ou indirectement, à l'origine de contaminations d'autant plus graves qu'elles sont parfois difficiles à déceler. *Manière de voir*. 65 : 34-37p.
21. BOUZIANI M. 2007. - L'usage immodéré des pesticides: de graves conséquences sanitaires. *Santé maghreb*. Com le guide de la médecine et de la santé en Algérie.
22. BRIGNON J.-M. 2005. - Hexachlorobenzène. Version n°1 mai-05. INERIS, France. 13p.
23. CADIOU F. 2008. - Apport, état et devenir des contaminants en Méditerranée. 2^{ème} Conférence Eau et Sante, Lyon-Villeurbanne. 55-68p.
24. CHAOUI W., BOUSNOBRA K. & CHAOUI K. 2007. - Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la région de Boucheougouf.
25. CHIFFOLEAU J-F., AUGER D. & CHARTIER E. 2002. - Dosage de certains métaux traces (Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) dissous dans l'eau de mer par absorption atomique après extraction liquide-liquide. Ifremer, 38p.
26. CLUZEAU S. 1997. - Index phytosanitaire. Acta, 33^{ème} édition, Paris. 602p
27. CÔTE M. 1996. - Guide d'Algérie, paysage et patrimoine. MEDIA - PLUS, Algérie. 319p.

28. COUTEUX A. & LEJEUNE V. 2010. - Index phytosanitaire. Acta, 46^{ème} édition, Paris. 752p.
29. COUTEUX A. & LEJEUNE V. 2007. - Index phytosanitaire. Acta, 43^{ème} édition, Paris. 789p.
30. DEFRANCESHI M.S. 1996. - L'eau dans tous ses états, Edition Ellipes, Paris. 150 p
31. DEGRÉMONT. 2005. - Memento technique de l'eau. Tome 1. 2^{ème} Ed. Lavoisier SAS, France. 785p.
32. DELBARD O. 2005. - Dictionnaire de l'environnement et du développement durable. Ed. BMS, France. 351p.
33. DERRADJI F., KHERICI N., DJORFI S., ROMEO M. & CARUBA R. 2005. - Étude de l'influence de la pollution de l'oued Seybouse sur l'aquifère d'Annaba (Algérie nord-orientale) par le chrome et le cuivre. *La Houille Blanche*. 1 : 73-80p.
34. DERRADJI F., KHERICI N., ROMEO M. & CARUBA R. 2004. - Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien). *Sècheresse* n°4, vol. 15. 353-360p.
35. DERVIN C., 1988. Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle des correspondances. Ed. STAT-ITCF. 52p.
36. DIMOPOULOS M., CHALKIADAKI M., DASSENAKIS M. & SCOULLOS M. 2003. - Quality of groundwater in western THESSALY the problem of nitrate pollution. *Global Nest: Int. J.* Vol 5, N°3, 185-191p.
37. DJABRI L., HANI A., MANIA J. & MUDRY J. 2003. - L'Algérie, un pays en voie de développement, a-t-elle déjà développée un biseau salé. *Tecnologĭa de la intrusi3n de agua de mar en acuĭferos costeros :paĭses mediterrĀneos*. ISBN. 84-7840-470-8. Madrid, 129-140p.
38. DRENO J-P. 2008. - Qualité du milieu marin littoral. Bulletin de surveillance, laboratoire Environnement Ressources d'Arcachon. 82p.
39. DUPONT S., LE SAUX J-C., BOUGEARD M., GNOUMA R. & POMMEPUY M. 2008. - Etude des relations entre la concentration en *E. coli* et les usages du sol Modélisation statistique, partie 2. Ifremer Centre de Brest. 45p.
40. DUQUENNE M-N. 2012. - Analyse des données, Master PODEPRO. Université de Thessalie. 30p.

41. INERIS. 2008. - Guide des pesticides et classification selon le mode d'emploi. 250p.
42. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement : MATE. 2003.- Rapport national sur l'état et l'avenir de l'environnement 2003. Observatoire Nationale de l'Environnement et du Développement Durable (Algérie).
43. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement : MATE. 2002. - Plan national d'actions pour l'environnement et le développement durable (PNAE-DD) volume (148) : 31-118.
44. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement : MATE. 2001. - Rapport national sur l'état et l'avenir de l'environnement 2000. Observatoire Nationale de l'Environnement et du Développement Durable (Algérie).
45. EL MRABET K., LALERE B., LE DIOURON V., HERVOUET G., YARDIN C. & PICHON V. 2006. - Méthode d'analyse multirésidus de pesticides par dilution isotopique associée à la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse de TANDEM.
46. EL YAMANI M. & BARRILLON A. 2006. - Substances chimiques. Afsset, 6p
47. FERNANDEZ C. & PRAT L. 2003. - Manuel sur la prévention des risques liés à l'utilisation des produits chimiques. APESA. 102p.
48. FERRAND M., LEQUENNE D., MANNEVILLE V., JANNOT P. & LOPEZ C. 2009. - Apport de la spatialisation des données en analyse multidimensionnelle pour évaluer l'impact des activités agricoles sur la teneur en nitrates des eaux. *Revue MODULAD*, N° 39. 81-94p.
49. FLEURY MM. J. & GUYOMARC'H J. P. 2003. - Le défi de la qualité des eaux en Bretagne. Rapport du Conseil Economique et Social, Bretagne. 349p.
50. GBAGUIDI M., SOCLO Y., FAYOMI B. DOGNON R., AGAGBE A., BONOU C., YOUSAO A. & DOVONOU L. 2011. - Évaluation quantitative des résidus de pyrèthriinoïdes, d'aminophosphate et de triazines en zone de production de coton au Bénin par la méthode ELISA en phase liquide : cas des eaux de la rivière Agbado. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5 (4). 1476-1490p.
51. GRABA K. 2006. - Programme d'aménagement côtier (PAC), zone côtière algéroise. Rapport final intégré. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Alger. 190p.

52. GROSCLAUDE G. 1999. - L'eau, usages et polluants, Tome II, INRA, Paris.
53. GUILLAUD J-F. & ROMANA L-A. 1991. - La mer et les rejets urbains. IFREMER-Centre de Brest, Plouzané. 237p.
54. GOUZY A. 2007. - Diuron. INERIS Données techno-économiques sur les substances chimiques en France. 35p.
55. GUGLIELMETT I. 1982. - Analyse des technologies de dosage des métaux lourds en trace. Rapport scientifique final. Univ. De Bretagne Occidentale. Laboratoire de synthèse organique. 56 p.
56. HNATIUC E. 2002. - Procédés électriques de mesure et de traitement des polluants. Ed. TEC & DOC, Paris. 371p.
57. HUREAU D. & DURAND G. 2001. - Synthèse bibliographique sur les métaux : Arsenic, Cadmium, Cuivre, Mercure, Plomb et Zinc. Rapport final. 26p.
58. HUSSON F., LE S. & PAGES J. 2009. - Analyse de données avec R. Presse Universitaire de Rennes, 224 p.
59. INERIS. 2010. - Linuron. Maîtriser le risque pour un développement durable. Ed. le 06/05/10. 7p.
60. INRS. 2009. - Fiche toxicologique Carbendazime. 8p.
61. INERIS. 2008. - fiche de données toxicologique et environnementale des substances chimiques.
62. Institut Scientifique de la Santé publique. 2006. - Fiche Internationale de la Sécurité Chimique, ICSC : 0825.
63. JOSSE J. LÊ S. & HUSSON F. 2007. - Multivariate analysis with the FactoMineR package. Agrocampus de Rennes. 8p.
64. KHALED-KHODJA S. 2002. - Etudes hydrochimique et floristique de deux écosystèmes eutrophes de la Numidie orientale algérienne. *Sciences & Technologie- Numéro Spécial-D*. 47-57 pp.
65. KHALED-KHODJA S. 1998. - Approche écologique de deux sites dulçaquicoles de la Numidie algérienne (la garaâ de Bourdim et la nechâ d'Oum El Agareb). Thèse de Magister en Écotoxicologie. Université d'Annaba, Algérie. 142p.
66. KHALED-KHODJA S., SAMAR M. E., OUNISSI M., SAKER I. E., KENNOUCHE M., LAABED S. et GOUIEZ H. 2014. - Impacts des activités anthropiques sur la qualité des eaux de l'oued Seybouse (Annaba, Algérie). *Ouvrage*

Collectif aux éditions du Groupe Français des Pesticides, ISBN : 978-2-954611-0-3, pp. 51-55.

67. KHALED-KHODJA S., SAMAR M. E. et DURAND G. 2016. – Contamination métallique de l'eau et du sédiment de l'oued Bouhamra. *Revue des Sciences et de la Technologie « Synthèse », Université Badji Mokhtar-Annaba.* (sous presse).
68. KHAMMAR H., OUNISSI M., SAKER I., ZIOUCH O.M., HARIDI A. 2009. – Caractères chimiques des effluents urbains introduits au littoral d'Annaba (Nord Est Algérie). Actes du séminaire national sur l'eau et l'environnement. Université Hassiba Benbouali, Chlef (Algérie).
69. KHERRAZ K. 2008. – Atelier sur la protection de la Seybouse contre la pollution. ABHCSM, Algérie. 27p.
70. KOUANI A., EL JAMALI S., TALBI M. 2007. – Analyse en composantes principales, une méthode factorielle pour traiter les données didactiques. *Radisma*, numéro 2, pp. 1-18.
71. LACAZE J-C. 1996. - L'eutrophisation des eaux marines et continentales, causes, manifestations, conséquences et moyens de lutte. Ellipses, Paris. 191p.
72. LACAZE J-C. 1993. - La dégradation de l'environnement côtier, conséquences écologiques. Masson, Paris. 149p.
73. LAINÉ H. & MARCHANDISE P. 2008. - Bilan et perspectives de la coopération dans le secteur de l'eau en Méditerranée. Rapport final, Conseil général des ponts et chaussées (MEDAD, France). 200p.
74. LÊ S. JOSSE J. & HUSSON F. 2008. - FactoMineR : an R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, Vol.25. 1-18p.
75. LEMERCIER C. 2009. - Tutoriel FactoMineR pour l'analyse des correspondances multiples avec une petite annexe sur la classification automatique. 12p.
76. LE SEIGNEUR V.J., JUIN D., MAILLET M.P., 2002. - L'environnement en France, ifen, Paris. 603p
77. LOIZEAU V. & CHIFFOLEAU J-F. 2007. - Définition d'un traitement en ligne d'eaux marines contaminées en PCB, PBDE, et HAP. Rapport. Ed. Ifremer Centre de Brest. 6p.
78. LOUCIF SEIAD N. 2003. - Les ressources en eau et leurs utilisations dans le secteur agricole en A Algérie. *Revue H. T. E. N°125 : 94-101p.*

79. LOZAC'H L., GOHIN F. & OGER-JEANNERET H. 2006. - Intégration dans un SIG de données issues de capteurs satellites en comparaison de données in situ pour le suivi de la qualité des eaux côtières. Ed. Ifremer, p
80. MARCHAND M. & TISSIER C. 2006. - Analyse du risque chimique en milieu marin, l'approche méthodologique européenne. Ifremer, 124p.
81. MARQUET B. 2009. - L'eau : un enjeu stratégique pour le Bassin méditerranéen. Doc. 12004. Commission de l'environnement, de l'agriculture et des questions territoriales. Conseil de l'Europe, 15p.
82. MEBARKI A. 2005. - Hydrologie des bassins de l'est Algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de Doctorat d'Etat. Université MENTOURI, Constantine, Algérie. 360p.
83. MEBARKI A. 2000. - Etiages, rejets et protection des ressources en eau des bassins "méditerranéens" de l'Algérie orientale. *Géocarrefour*, vol 75, Numéro 4. P 399-416
84. MILLOT G. 2008. - Comprendre et réaliser les tests statistiques à l'aide de R. Ed. De Boeck Université, Bruxelles. 704p.
85. Ministère de l'agriculture et de la pêche (MAP/e-phy10/03/2010). - liste des pesticides.
86. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement : MATE. 2003.- Rapport national sur l'état et l'avenir de l'environnement 2003. Observatoire Nationale de l'Environnement et du Développement Durable (Algérie).
87. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement : MATE. 2002).- Plan national d'actions pour l'environnement et le développement durable (PNAE-DD) volume (148) : 31-118.
88. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement : MATE. 2001.- Rapport national sur l'état et l'avenir de l'environnement 2000. Observatoire Nationale de l'Environnement et du Développement Durable (Algérie).
89. MORINEAU A. & CHATELIN Y-M. 2005. - L'analyse statistique des données Apprendre, comprendre et réaliser avec Excel. Ed. ellipses, Paris. 407p.
90. MOUSSAOUI K.M. BOUSSAHEL R. TCHOULAK Y.HAOUCHINE O. BENMAMI M. DALACHI N. 2001. - Utilisation, évaluation et impacts des pesticides en Algérie. Ecole Nationale Polytechnique, Algérie.

91. MOUVET C. 1992. - Etudes des métaux lourds sur les mousses aquatiques (campagne 1991). R. N. B. Bassin Loire-Bretagne. 47p.
92. MUNSCHY C. 1995.- Comportement géochimique des herbicides et de leurs produits de dégradation en milieu estuarien et marin côtier. Thèse de Doctorat. Université Paris 6. 263p.
93. Office National d'Assainissement (ONA). 2000. - Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement 118, 1-118p.
94. Office Nationale de Météorologie (ONM). 2012. - Données climatologique de la région d'Annaba (2002-2004).
95. OUALI N., DERRADJI F., BOUHEDJA Y., KASDARLI C. 2008. - Pollution du sédiment superficiel par neufs métaux traces : cas de la baie d'Annaba (Algérie-Méditerranée Sud-Occidental). *Physical and Chemical News*, 42 : 139-143.
96. OUALI M.S. 2001. - Procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. OPU, Algérie. 156p.
97. PARADIS E. 2005. - R pour les débutants. Institut des Sciences de l'Evolution Université Montpellier II, France. 77p.
98. PAGÈS J. 2008. - Analyse factorielle multiple ; Principales caractéristiques de la méthode à partir d'un exemple. Agrocampus de Rennes. 56p.
99. PORESCU M. BLANCHARD JM. & CARRÉ J. 1998. - Analyse et traitement physicochimique des rejets atmosphériques industriels (émission, fumée, odeurs et poussières). Ed. TEC & DOC, Paris. 854p.
100. PY Bernard. 2007. - La statistique sans formule mathématique. Pearson Education France, Paris. 172p.
101. RAMADE F. 2008. - Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. Dunod, Paris. 726p.
102. RAMADE F. 2007. - Introduction à l'écotoxicologie. Ed. TEC & DOC, Paris. 618p
103. RAMADE F. 1998. - Dictionnaire encyclopédique des Sciences de l'eau. *Ediscience International*, Paris. 786p.
104. RAMADE F. 1991. - Conservation des écosystèmes méditerranéens, enjeux et perspectives. *Les Fascicules du Plan Bleu 3*, Paris. 144p.

105. REBAH M. 2005. - Les risques écologiques en Algérie. Ed. APIC, Algérie. 221p
106. REJSEK F. 2002. - Analyse des eaux, aspects réglementaires et techniques. Ed. scérén. Aquitaine. 360p.
107. REMINI B. 2005. - La problématique de l'eau en Algérie. Edition O.P.U. Algérie. 162p.
108. REY Alain. 2006. - Le Robert micro. Edition Dictionnaires Le Robert, Paris. 1493p.
109. ROBERT P. 2004. - Le petit robert dictionnaire de langue française. Edition Dictionnaires Le Robert, Paris. 2949p.
110. RODIER J., LEGUBE B. & MERLET N. 2009. - L'analyse de l'eau. Dunod (9^{ème} Ed.) Paris. 1526p.
111. RODIER J. 1996. - L'analyse de l'eau. Dunod (Ed.) Paris. 1365p.
112. ROMANA Louis-Alexandre & MARCHAND Michel. 2009. - L'homme, la chimie et la mer : connaître la contamination pour la combattre. EDP Sciences, France *Sècheresse n°4, vol. 15*. 347-352p. 151-164p.
113. ROUABHIA A., BAALI F., KHERICI N. & DJABRI L. 2004. - Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie).
114. ROUESSAC Francis & ROUESSAC Annick. 2009. - Analyse chimique, méthodes et techniques instrumentales. 7^e édition DUNOD, Paris. 511p.
115. SAKER I-E. & KENNOUCHE M. 2003. - Transfert des sels nutritifs et de matières organiques continentales au littoral d'Annaba. Apport des effluents urbains, industriels et des oueds Seybouse et Mafragh et possibilité d'aménagement du littoral. Mémoire d'Ingénieur, Université d'Annaba, Algérie. 65p.
116. SANTOS F. 2015. - Analyse en composantes principales (ACP) : Travaux pratiques avec le logiciel R. CNRS, UMR 5199, PACEA. 8p.
117. SCHIAVONE S. & COQUERY M. 2011. Guide d'échantillonnage et de prétraitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE. Ed. Cemagref. 24p.
118. SAPORTA G. 2006. - Probabilités analyse des données et statistique. Editions Technip, Paris. 622p.

119. SAUREN S., ARZUL G., DURAND G. & HUREAU D. 2005. - Effets toxiques du Diuron et de l'Irgarol 1051 sur la diatomée marine *Chaetoceros gracilis*. Congrès GFP. Champs-sur-marne, France.
120. SAVARY P. 2003. - Guide des analyses de la qualité de l'eau. Ed. Techni.Cités, Paris. 283p.
121. SCHERRER B. 2009. - Biostatistique, Volume 2. Ed. gaëten morin. Québec, 576p.
122. SCHORSCHER J. 1994. - Le contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs. UNESCO, Paris. 294p.
123. SIFI K., CHOUAHDA S., SOLTANI N. 2007.- Biosurveillance de l'environnement par la mesure de biomarqueur chez *Donax trunculus* (L., 1758) dans le golfe d'Annaba, Algérie. *Mésogée*, **volume (63)**: 11-18.
124. SOLEILLE S. & BRIGNON J-M. 2006. - Anthracène. INERIS, France, 9p
125. TREGUER P. 2009. - Les grandes questions en sciences chimiques de l'environnement marin. EDP Sciences, France. 13-26p.
126. TRIOLA Marc M. & TRIOLA Mario F. 2009. - Biostatistique pour les sciences de la vie et de la santé. Pearson Education, Paris. 368p.
127. TRONCZYNSKI Jacek., MUNSCHY Catherine., HEAS-MOISAN Karine., GUIOT Nadège & TRUQUET Isabelle. 2005. - Analyse de contaminants organiques (herbicides, PCB, OCP, HAP) dans les eaux estuariennes et marines côtières. Ed. Ifremer, 52p.
128. VAN HAMMEE M-L & WATTIEZ C. 1999. - Pesticides à usage domestique, Risques sur la Santé. Editeur : Catherine WATTIEZ, Dr. Sc., 70, av. Des Tilleuls, 1640 Rhode - Saint - Genèse. 84p.
129. ZAR JH. 2010. - Biostatistical analysis. Vème édition Pearson Education International, London. 944p.
130. ZUMDAHL Steven S. 1998. - Chimie générale. 2^e édition CEC Inc. Paris. 498p.

Site Internet

[1] [http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/qr/d/pollution-pollution thermique – conséquences-1234/](http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/qr/d/pollution-pollution%20thermique%20-%20cons%C3%A9quences-1234/)

Annexe I. Grille de la qualité globale de l'eau (Agence du Bassin Hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue, 2002)

Classe de qualité	Unités	Excellente	Bonne	Passable	Médiocre	Pollution excessive
Paramètres						
O ₂ dissous	mg.l ⁻¹	> 7	5 à 7	3 à 5	< 3	0
Saturation	%	> 90	70 à 90	50 à 70	< 50	0
DBO ₅	mg.l ⁻¹	< 3	3 à 5	5 à 10	10 à 25	> 25
DCO	mg.l ⁻¹	< 20	20 à 25	25 à 40	40 à 80	> 80
NH ₄ ⁺	mg.l ⁻¹	< 0,1	0,1 à 0,5	0,5 à 2	2 à 8	> 8
PO ₄ ³⁻	mg.l ⁻¹	< 0, 2	0,2 à 0,5	0,5 à 1	1 à 2	> 2
NO ₃ ⁻	mg.l ⁻¹	< 5	5 à 25	25 à 50	50 à 80	> 80
NO ₂ ⁻	mg.l ⁻¹	< 0,1	0,1 à 0,3	0,3 à 1	1 à 2	> 2

Annexe II. liste des multi résidus de pesticides dosés

N°	Herbicides	Fongicides	Insecticides				Pesticides	
			Organochlorés	Organophosphorés	Autres familles	Pyréthrinoides	Molluscide	Biocide
1	Diclobenil	Tétraconazole	Alpha HCH	Dichlorvos	Piperonyl butoxyde	Tefluthrine	Méthaldéhyde	Irgarol
2	Propachlore	Cyprodinil	HCB	Phosdrine	Imidacloprid	Tétraméthrine		
3	DIA	Procymidone	Beta HCH	Ethoprofos	Carbofuran	Phénothrine		
4	Benfluraline	Hexaconazole	Lindane	Diazinon		Lambda-cyhalothrine		
5	Trifluraline	Flusilazole	Heptachlore	Méthyl parathion		Cyphénothrine		
6	Chlorprophame	Cyproconazole	Delta HCH	Malathion		Perméthrine		
7	DEA	Iprodione	Aldrine	Chlorpyrifos		Cyperméthrine		
8	DE-Terbutylazine	Oxadixyl	Heptachlore époxyde	Parathion éthyl		Deltaméthrine		
9	Tebutame	Propiconazole	pp' DDE	Chlorfenvinphos				
10	Simazine	Tebuconazole	Dieldrine	Ethion				
11	Atrazine	Epoxyconazole	Endrine	Azinphos méthyl				
12	Propazine	Fenbuconazole	pp' DDD	Azinphos éthyl				
13	Terbutylazine	Difenocanazole	op' DDT					
14	Propyzamide	Propamocarb HCl	Endosulfan sulfate					
15	Dimethachlore	Carbendazime	pp' DDT					
16	Diméthanamide	Pyrimethanil						
17	Acétochlore	Metalaxyle						
18	Métribuzine	Imazalil						
19	Alachlore	Azoxystrobine						
20	Prométhryne	Cyprodinil						
21	Terbutryne	Boscalid						
22	Ethofumésate	Tebuconazole						
23	Métolachlore	Procloraz						
24	Pendimethaline	Fenpropidine						
25	Métazachlore	Picoxystrobine						
26	Oxadiazon	Chlorothalonil						
27	Oxyfluorfe							
28	Fluazifop butyl							
29	Aclonifene							
30	Diflufenican							
31	Dichlofop méthyl							
32	Bifenox							
33	Quizalofop éthyl							
34	Clopyralid							

35	Metoxuron							
36	Imazamethabenzmethyl							
37	Nicosulfuron							
38	Carbetamide							
39	Fluroxypir							
40	Dicamba							
41	Bromacil							
42	Cyanazine							
43	1-(34) dichlorophenyl urée DCPU							
44	Mesotrione							
45	Lenacil							
46	Sulcotrione							
47	Methabenzthiazuron							
48	Bentazone							
49	IPPMU Desmethylisoproturon							
50	Chlortoluron							
51	Bromoxynil							
52	Mesosulfuron méthyl							
53	Azimsulfuron							
54	Monolinuron							
55	2,4-D							
56	Isoproturon							
57	Diuron							
58	MCPA							
59	Metobromuron							
60	Triclopyr							
61	Flazasulfuron							
62	loxynil							
63	Iodosulfuron methyl sodium							
64	Dichlorprop							
65	Mecoprop							
66	2.4.5 T							
67	Terbutryne							
68	Flurtamone							

69	Prosulfuron							
70	Linuron							
71	Isoxaben							
72	Flufenacet							
73	Néburon							
74	Dinoterb							
75	Prosulfocarb							
76	Dimethachlor							
77	2 Hydroxy atrazine							
78	Hexazinone							

78 herbicides ; 26 fongicides ; 38 insecticides (organo-chlorés, organo-phosphorés, autres familles et les pyréthrinoides) ; 2 pesticides.

Annexe III. Les diverses méthodes spectrophotométriques utilisées pour le dosage des descripteurs physico-chimiques

Descripteurs	Unités	Méthodes	Appareillage
Température	°C	Mesure directe	Thermomètre
Conductivité	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	Mesure directe	Conductimètre
pH	/	Mesure directe	pH mètre
Salinité	‰	Mesure directe	Salinomètre
Ammonium (NH_4^+)	mg.l^{-1}	En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur, l' NH_4^+ traité par une solution de chlore et de phénol donne du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage par spectrométrie d'absorption moléculaire (S. A. M.).	Spectrophotomètre à U.V.
Nitrites (NO_2^-)	mg.l^{-1}	La diazotation de l' amino-4-benzènesulfonamide par les NO_2^- en milieu acide et sa copulation avec le dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrométrique.	Spectrophotomètre à U.V.
Nitrates (NO_3^-)	mg.l^{-1}	En présence de salicylates de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique.	Spectrophotomètre à U.V.
Orthophosphates (PO_4^{3-})	mg.l^{-1}	En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les PO_4^{3-} donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleu susceptible d'un dosage spectrométrique. Le développement de la coloration est accélérée par l'utilisation du tartrate double d'antimoine et de potassium.	Spectrophotomètre à U.V.
Demande biologique en oxygène (DBO_5)	mg.l^{-1} d' O_2	La teneur en O_2 de l'eau est déterminée immédiatement après le prélèvement, puis à nouveau après un temps d'incubation de 5 jours à 20°C. la différence entre les deux mesures correspond à la consommation d' O_2 , considérée dans ces conditions comme la demande biochimique en O_2 .	Appareil manométrique de DBO_5