République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Badji Mokhtar-Annaba University
Université Badji Mokhtar – Annaba

جامعة باجي مختار - عنابة

Laboratoire d'Eco biologie
des Milieux Marins et Littoraux

Faculté des Sciences
Département des Sciences de la mer

Année 2015

Thèse

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de DOCTEUR en Sciences de la Mer

Evaluation de la pollution industrielle et urbaine dans la région Est Algérienne (Skikda).

Option: Ecosystèmes côtiers et ressources vivantes.

Par Doria GUEDDAH

Directeur de thèse: A. Borhane Djebar Pr Université Badji Mokhtar-Annaba-Algérie.

Devant le jury

Président: Mourad Bensouilah Pr Université Badji Mokhtar-Annaba-Algérie

1er **Examinateur:** Baghdad Ouddane Pr Université Lille 1-France.
2ème **Examinateur:** Mostefa Boulahdid Pr ESSMAL-Alger-Algérie.
3ème **Examinateur:** Fayçal Djazi Pr Université du 20 Août 1955-Skikda-Algérie.

Table des matières

Introduction

Chapitre I: Généralités

1. Description de la région de Skikda 6

1.1. Facteurs physiques 6

1.2. Facteurs anthropogéniques 12

2. Revue sur les principaux types de polluants 18

2.1. Pollution microbiologique 18

2.1.1. Les indicateurs de contamination fécale 18

2.1.1.1. Coliformes totaux 18

2.1.1.2. Coliformes fécaux 18

2.1.1.3. Streptocoques fécaux 19

2.1.2. Origine 19

2.1.3. Devenir et impact 19

2.1.4. Réglementation Algérienne 20

2.2. Polluants organiques: les hydrocarbures totaux 21

2.2.1. Composition 21

2.2.2. Origine 21

2.2.3. Sources de pollution par les hydrocarbures 22

2.2.4. Devenir 22

2.2.5. Impact de la pollution par les hydrocarbures 24

2.2.6. Lutte et réglementation Algérienne 26

2.3. Polluants métalliques: les métaux lourds 28

2.3.1. Origine 28

2.3.1.1. Cadmium 28

2.3.1.2. Fer 29

2.3.1.3. Mercure 29

2.3.1.4. Nickel 29

2.3.1.5. Plomb 29
2.3.1.6. Zinc 30
2.3.1.7. Chrome 30
2.3.1.8. Cuivre 30
2.3.1.9. Manganèse 30
2.3.2. Devenir 31
2.3.3. Toxicité et impact 32
2.3.4. Normes de qualité internationales et recommandations Algériennes 33

Chapitre II: Matériel et méthodes

1. Présentation de la zone d'étude 35
1.1. Localisation 35
1.1.1. Commune de Filfila 35
1.1.2. Commune de Ain Zouit 36
1.1.3. Commune de Skikda 36
1.1.3.1. Zone industrielle 36
1.1.3.2. Infrastructures portuaires 38
1.1.3.3. Oued Safsaf 38
1.1.3.4. Les plages 38
1.1.3.5. Point chaud 39
1.1.3.6. Point de référence 39
1.2. Descriptif des Infrastructures 39
1.2.1. Infrastructures industrielles 39
1.2.1.1. Centrale thermique (CTE) 40
1.2.1.2. Complexe de liquéfaction du gaz (GL1/K) 41
1.2.1.3. Complexe pétrochimique (CP1/K) 43
1.2.1.4. Complexe de raffinage (RA1/K) 44
1.2.2. Infrastructures portuaires 45
1.2.2.1. Port mixte (ancien port) 46
1.2.2.2. Nouveau port (terminal pétrolier) 47
1.2.2.3. Port de Stora (port de pêche) 49

2. Techniques d'échantillonnage et d'analyses 51

2.1. Caractéristiques physico-chimiques 52

2.1.1. Sites et technique d'échantillonnage 52

2.1.2. Analyse des échantillons 53

2.2. Polluants bactériologiques 54

2.2.1. Sites et technique d'échantillonnage 54

2.2.2. Analyse des échantillons 56

2.3. Polluants organiques: les hydrocarbures totaux 62

2.3.1. Sites et technique d'échantillonnage 62

2.3.2. Analyse des échantillons 63

2.4. Polluants Métalliques: les métaux lourds 65

2.4.1. Sites et technique d'échantillonnage 65

2.4.2. Analyse des échantillons 65

Chapitre III: Résultats et interprétation

1. Caractéristiques physico-chimiques 71

1.1. Température 71

1.2. PH 72

1.3. Salinité 74

1.4. Oxygène dissous 75

1.5. Conductivité électrique 76

1.6. Potentiel REDOX (*r*H) 77

1.7. Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5) 78

2. Paramètres microbiologiques 79

2.1. Coliformes totaux 79

2.2. Coliformes fécaux 85

2.3. Streptocoques fécaux 90

3. Paramètres organiques: les hydrocarbures totaux 99

4. Eléments traces: les métaux lourds 102

4.1. Zinc 102
4.2. Cuivre 103
4.3. Chrome 104
4.4. Plomb 105
4.5. Mercure 105
4.6. Nickel 106
4.7. Fer 107
4.8. Manganèse 107
4.9. Cadmium 108

Chapitre IV: Discussion

Conclusion et perspectives 120

Références bibliographiques 122

Annexes 133

Annexe 1 133

Annexe 2 135

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier Monsieur le Professeur Mourad Bensouilah, pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury.

Mes remerciements vont également vers Messieurs les Professeurs, Baghdad Oudane, Mostefa Boulahdid, et Fayçal Djazi, pour m'avoir fait l'honneur de juger mon travail de thèse malgré leurs très nombreuses occupations.

Toute ma gratitude au Professeur Abdallah Borhane Djebar, pour avoir tenu ses engagements de Directeur de thèse. Sa disponibilité, son enthousiasme et surtout la confiance qu'il m'a donnée m'ont permis de m'épanouir tout au long de ce travail.

Par ailleurs, ce travail n'aurait pas vu le jour sans la collaboration d'un grand nombre de personnes envers qui, j'exprime toute ma gratitude.

Je remercie particulièrement M. Azzedine Hachani, Directeur du remorquage (E.P.S), pour son assistance chevronnée et pour m'avoir parrainé tout en me permettant de faire des rencontres très fructueuses. Puisse-t-il trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

Ma reconnaissance la plus sincère va vers M. Lamine Boukoffa ancien responsable du Laboratoire d'Etudes Maritimes (L.E.M, Annaba) pour m'avoir fait bénéficier de son expérience, pour sa sollicitude et son amabilité. Qu'il trouve ici, l'expression de ma parfaite reconnaissance.

J'exprime mes remerciements les plus chaleureux pour tout le personnel du SEMEP où j'ai pu faire mes dosages microbiologiques, Particulièrement M^{me} Daaci Chahra, pour m'avoir permis de travailler dans de bonnes conditions ainsi que pour sa gentillesse et sa bonne humeur.

Les dosages des hydrocarbures et des métaux lourds n'auraient pas pu être réalisés au niveau du laboratoire de la RA1/K sans l'aide et la compréhension de tout le personnel du Laboratoire. Je remercie également M^{me} Djemai pour sa courtoisie réconfortante.

Je remercie tout particulièrement mon oncle Hocine Gueddah, pour m'avoir ouvert les portes de la RA1/K.

Une thèse demande de nombreux sacrifices et les premiers à pâtir de cela sont les amis et la famille. Des remerciements tout particuliers donc à Sonia et Souheila qui n'ont cessé de m'encourager sans jamais me juger.

A mes parents, pour qui ces quelques lignes de remerciement sont si peu à côté de tout ce qu'ils ont fait pour moi, merci d'avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Un grand merci à celui sans qui mon ordinateur serait passé maintes fois par la fenêtre !! Moncef, sache que sans toi il m'aurait été difficile de terminer ma thèse. Je ne saurais oublier mes très chèrs enfants, leur simple présence à mes côtés est d'un réconfort immense.

A tous ceux sans qui je ne serais et ne saurais pas qui je suis…

« C'est une triste chose de songer que la nature parle
et que le genre humain n'écoute pas ».
V. Hugo

RESUMES

Summary

In this study, we valued the pollutions industrial and urban along the coastal zone of the city of Skikda in the East Algerian during a yearly cycle. We were interested in waters and the superficial sediments in 25 stations: 16 beaches of bathings, 3 ports, 3 industrial waste waters, 1 mouth of wadi and 2 points of references 1 certainly polluted and the other step.

In waters we measured 7 physico-chemical parameters, quantified the main indicators of microbial pollution, first: the total coliformes, the fecal coliformes and the fecal streptococci before estimating the contents in total hydrocarbons.

In the sediments we valued the contents of 9 heavy metals: Zn, Cu, Mn., Ni, Cr, Pb, Cd, Fe and Hg.

Concerning waters, within sight of the Algerian regulation, the gotten results are in the norms that it is for the T°, the pH or the O2 dissolved. The microbial pollution is close to zero in the 2 stations of the Big beach: dismissal of the canvas camp and dismissal of the agricultural lodgings (township of Ain Zouit to the west of Skikda) whereas the hot point to the center and the port of fishing to the west includes levels of contaminations respective maxima of 9319 CF and 60837 SF.

The waters in the oil, fishing and commercial ports as well as those of the 3 industrial waste waters (RA1/K, GL1/K, CP1/K) contain higher levels of HCT, they vary between 12,26 ppm in the fishing port and 49,11 ppm in the refinery waste.

In the sediments, the levels of heavy metals evolve from the West to the East according to one gradients decreasing with a predominance for the Fe followed by the Mn., Pb, Zn, Cr, Cu, Hg and Cd. With regards to the norms in force, the most elevated values are met notably in the 3 ports for the Pb in the fishing port with a maximum of 150 mg/kg and the Hg in the commercial port with a maximum of 2,10 mg/kg.

The set of the results suggests the urgent need to set up a strategy responsible for different upstream urban and industrial wastes in order to improve the quality of the waters of the coastal zone of Skikda.

Key-words: pollution, coastal, Skikda, bacteriology, hydrocarbons, heavy metals.

Résumé

Dans cette étude, nous avons évalué les pollutions industrielle et urbaine le long du littoral de la ville de Skikda dans l'Est Algérien pendant un cycle annuel. Nous nous sommes intéressé aux eaux et aux sédiments superficiels dans 25 stations : 16 plages de baignades, 3 ports, 3 rejets industriels, 1 embouchure d'oued et 2 points de références 1 certainement pollué et l'autre pas.

Dans les eaux nous avons d'abord mesuré 7 paramètres physico-chimiques, quantifié les principaux indicateurs de pollution microbienne: les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux avant d'estimer les teneurs en hydrocarbures totaux.

Dans les sédiments nous avons évalué les teneurs de 9 métaux lourds: Zn, Cu, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd, Fe et Hg.

Concernant les eaux, au vu de la réglementation Algérienne, les résultats obtenus sont dans les normes que ce soit pour la T°, le pH ou encore l'O_2 dissous. La pollution microbienne est proche de zéro dans les 2 stations de la Grande plage: rejet du camp de toile et rejet des logements agricoles (commune de Ain Zouit à l'Ouest de Skikda) alors que le point chaud au centre et le port de pêche à l'Ouest comportent des niveaux de contaminations maximums respectifs de 9319 CF et 60837 SF.
Les eaux des ports pétrolier, de pêche et commercial ainsi que celles des 3 rejets industriels (RA1/K, GL1/K, CP1/K) contiennent de fortes teneurs en HCT, elles varient entre 12,26 ppm dans le port de pêche et 49,11 ppm dans le rejet de la raffinerie.

Pour ce qui est des sédiments, les teneurs en métaux lourds évoluent de l'Ouest à l'Est selon un gradients décroissant avec une prédominance pour le Fe suivie du Mn, Pb, Zn, Cr, Cu , Hg et Cd . Au vue des normes en vigueur, les valeurs les plus élevées sont rencontrés dans les 3 ports notamment pour le Pb dans le port de pêche avec un maximum de 150 mg/kg et le Hg dans le port commercial avec un maximum de 2,10 mg/kg.

L'ensemble des résultats montrent l'urgence de la mise en place d'une stratégie de prise en charge des différents rejets urbains et industriels en amont afin d'améliorer la qualité des eaux du littoral de Skikda.

Mots-clés: pollution, littoral, Skikda, bactériologie, hydrocarbures, métaux lourds.

ملخص :

في هذه الدراسة قمنا بتقييم التلوث الصناعي و الحضري على طول ساحل مدينة سكيكدة في الشرق الجزائري خلال دورة سنوية، و اهتممنا بالمياه و الرواسب السطحية في 25 محطة : 16 شاطئ للسباحة، 3 موانئ،3 مصبات للنفايات الصناعية ،مصب وادي الصفصاف و محطتين مرجعيتين، واحدة ملوثة و الأخرى غير ملوثة.

في المياه السطحية قمنا بقياس 7 معايير فيزيوكيمياوية كما قدرنا المؤشرات الرئيسية للتلوث الميكروبيولوجي: Coliformes totaux ، Coliformes fécaux و Streptocoques fécaux بالاضافة الى تقدير كميات الكربوهيدرات الكلية.

اما في الرواسب فقمنا بتقييم مستويات 9 معادن ثقيلة: Zn ، Cu، Mn، Ni، Cr، Pb ، Cd،Fe،Hg.

فيما يتعلق بالمياه و في نظر القانون الجزائري النتائج المحصل عليها تدخل ضمن المجال المحدد للمعايير سواء بالنسبة لدرجة الحرارة T° أو درجة الحموضة PH، و أيضا كمية O_2 المنحلة. التلوث الميكروبيولوجي قريب من الصفر في محطتي الشاطئ الكبير: مصب نفايات المخيم الصيفي و مصب نفايات السكنات الزراعية (بلدية عين الزويت في غرب ولاية سكيكدة) على عكس محطة البقعة الساخنة في الوسط و ميناء الصيد في الغرب اين نلاحظ درجات التلوث القصوى على التوالي 9319 CF و 60837 SF.
مياه الموانئ البترولي،الخاص بالصيد و التجاري ، بالاضافة الى مياه المصبات الثلاثة للنفايات الصناعية (CP1/K،LG1/K ،RA1/K) تحتوي على تراكيز عالية من HCT تتراوح بين 12.26ppm في ميناء الصيد و 49.11ppm في مصب نفايات مصنع تكريرالبترول.

فيما يخص الرواسب السطحية تركيز المعادن الثقيلة تتطور من الغرب إلى الشرق بتدرج تنازلي مع ظهور Fe كالمعدن السائد متبوع ب: Mn،Pb، Zn ، Cr ،Cu،Hg و Cd. باخذ بعين الاعتبار المعاييرالقانونية القيم القسوى لوحظت في الموانئ الثلاثة لاسيما بالنسبة للرصاص في ميناء الصيد ب 150mg/kg كحد أقصى و الزئبق في الميناء التجاري ب 2.10 gm/kg كحد أقصى.

تظهر النتائج الإجمالية الحاجة الملحة لوضع استيراتيجية لتسيير مختلف مصبات النفايات الحضرية و الصناعية من أجل تحسين نوعية المياه الساحلية لسكيكدة.

الكلمات المفتاحية: تلوث، ساحل ،سكيكدة، بكتيريا ،معادن ثقيلة ، الكربوهيدرات.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
01	Répartition des précipitations par bassin versant (ANPE, 1994).	**11**
02	Capacité d'accueille des principales plages de Skikda.	**16**
03	Situation du réseau d'assainissement de diverses communes de Skikda.	**17**
04	Les principales maladies causées par les eaux récréatives contaminées. (Merabtine *et al*., 1997)	**20**
05	Qualité requise des eaux de baignades (paramètres microbiologiques). (J.O.R.A. N°46 – Décret exécutif n° 93-164 du 10 juillet 1993).	**20**
06	Effets des hydrocarbures sur certains peuplements marins (Voirin, 1987).	**25**
07	Normes Hollandaises et recommandations Algériennes pour l'évaluation des polluants métalliques dans les sédiments.	**34**
08	Descriptif de la pollution générée par la CTE de Skikda.	**41**
09	Descriptif de la pollution générée par le complexe GL1/K.	**42**
10	Descriptif de la pollution générée par le complexe CP1/K.	**44**
11	Descriptif de la pollution générée par le complexe RA1/K.	**45**
12	Caractéristiques des 12 postes à quai de l'ancien port de Skikda.	**46**
13	Caractéristiques des 7 postes à quai du nouveau port de Skikda.	**48**
14	Caractéristiques des stations de prélèvement des sédiments pour l'évaluation des polluants métalliques.	**66**
15	Comparaison entre les concentrations des HCT dans les eaux des 3 ports de Skikda et celles obtenues antérieurement.	**115**
16	Comparaison des teneurs des métaux lourds observées au niveau des sédiments de différents ports Algériens.	**119**

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
01	Situation géographique de la wilaya de Skikda (Google earth, 2013 modifiée).	**6**
02	Localisation des dunes littorales de la zone côtière de Skikda (ANPE, 1994 modifiée).	**7**
03	Moyennes saisonnières de la pluviométrie dans la région de Skikda (2003-2012).	**8**
04	Variation annuelle moyenne des températures saisonnières dans la région de Skikda (2003-2012).	**8**
05	Variation saisonnière moyenne de l'humidité relative dans la région de Skikda (2003 -2012).	**9**
06	Rose des houles par secteur ; toutes amplitudes et périodes confondues Données K.N.M.I, 1961-1980 (*in* Hocini et *al.,* 1991 modifié).	**10**
07	Réseau hydrographique de la région de Skikda (ANPE, 1994).	**11**
08	Représentation de la zone côtière de la wilaya de Skikda.	**12**
09	Représentation graphique de la production halieutique par type d'activité durant l'année 2007 (Direction de la pêche de Skikda, 2008).	**14**
10	Représentation graphique de l'évolution du trafic passagers au port de Skikda de 2003 à 2012 (Données statistiques EPS, 2012).	**15**
11	Situation des Zones d'Expansion Touristique de la région de Skikda (ANPE, 1994).	**15**
12	Photographie montrant une vue de la plage Tamanart.	**16**
13	Photographie montrant une vue de la plage de Guerbes.	**16**
14	Photographie montrant une vue de la plage du Cap de fer.	**17**
15	Schéma montrant le déplacement des nappes d'hydrocarbures (Voirin, 1987).	**24**
16	Photographies d'un exercice de simulation de lutte contre une pollution marine au large des côtes de Skikda exécuté en mai 2011 par le comité Tel-Bahr.	**27**
17	Situation des stations de prélèvements des échantillons d'eaux et de sédiments.	**37**
18	Plan de masse de la zone industrielle de Skikda.	**40**
19	Photographie montrant 2 points de rejet de la CTE de Skikda (cercles rouges) dans les eaux de l'oued Safsaf.	**41**
20	Photographie satellitaire du point de rejet du complexe GL1/K (Skikda) autour de l'embouchure de l'oued Safsaf (Google earth, 2014 modifié).	**42**
21	Photographie satellitaire montrant une vue générale du complexe CP1/K. La loupe représente son principal rejet en mer (Google earth, 2014 modifiée).	**43**
22	Photographie satellitaire montrant les 3 ports de Skikda. 1. Port de pêche, 2. Ancien port, 3. Nouveau port (Google earth, 2014 modifiée).	**45**
23	Photographie satellitaire du port mixte (Google earth, 2014, modifiée).	**46**
24	Plan de masse du port mixte de Skikda (l'Ancien port) et sites de prélèvement d'eau (S18◄) et de sédiment (S18◄).	**47**

25	Photographie satellitaire montrant les infrastructures du nouveau port de Skikda (Google earth, 2014 modifiée).	**47**
26	Plan de masse du Nouveau port de Skikda et sites de prélèvement d'eau (S15◄) et de sédiment (S15◄).	**48**
27	Photographie du port de pêche de Stora et sites de prélèvement d'eau (S21◄) et de sédiment (S21◄).	**49**
28	Plan de masse du port de pêche de Stora (DTP 2009).	**50**
29	Schématisation de la recherche et du dénombrement des coliformes (Colimètrie).	**59**
30	Schématisation de la recherche et du dénombrement des streptocoques fécaux.	**61**
31	Représentation graphique de la variation spatiale de la température moyenne.	**71**
32	Représentation graphique de la variation temporelle de la température dans les eaux des rejets industriels.	**72**
33	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du pH.	**73**
34	Représentation graphique de la variation temporelle du pH dans les eaux des rejets industriels.	**73**
35	Représentation graphique de la variation temporelle du pH dans les eaux du rejet de la raffinerie de Skikda.	**74**
36	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes de la salinité.	**75**
37	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du taux de saturation en O_2.	**75**
38	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du taux de saturation en O_2 dans les eaux des plages de la région Ouest de Skikda.	**76**
39	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes de la conductivité électrique.	**77**
40	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du potentiel Redox.	**77**
41	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes de la demande biochimique en oxygène (DBO_5).	**78**
42	Représentation graphique de la variation temporelle de la demande biochimique en oxygène (DBO_5) dans les rejets industriels.	**79**
43	Représentation graphique de la variation spatiale du nombre moyen des coliformes totaux (CT) au niveau des plages de Filfila.	**79**
44	Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des plages de Filfila.	**80**
45	Représentation graphique de la variation spatiale du nombre moyen des coliformes totaux (CT) dans les eaux des plages de Ben M'hidi.	**81**
46	Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des plages de Ben M'hidi.	**81**
47	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des plages de Stora.	**82**
48	Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des plages de Stora.	**82**
49	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des rejets industriels.	**83**

50	Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des rejets industriels.	**83**
51	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des ports de Skikda.	**84**
52	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux de l'Oued Safsaf.	**84**
53	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux de la Grande Plage (Commune de Ain Zouit).	**85**
54	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux des plages de la commune de Filfila.	**86**
55	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux des Plages Est (Ben M'hidi).	**86**
56	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes fécaux (CF) au niveau des Plages Ouest (Stora).	**87**
57	Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux des rejets industriels de Skikda.	**87**
58	Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux des rejets industriels de Skikda.	**88**
59	Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux des ports de Skikda.	**88**
60	Représentation graphique de la variation temporelle du NNP des CF dans les eaux des ports de Skikda.	**89**
61	Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux de l'oued Safsaf et du point chaud.	**89**
62	Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux de l'oued Safsaf et du point chaud.	**90**
63	Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des plages de Filfila.	**91**
64	Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des plages de Filfila.	**91**
65	Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des plages de la zone Est (Ben M'hidi).	**92**
66	Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des plages de la zone Est (Ben M'hidi).	**93**
67	Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des plages de la zone Ouest (Stora).	**93**
68	Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des plages de la zone Ouest (Stora).	**94**
69	Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des rejets industriels.	**94**
70	Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des rejets industriels.	**95**
71	Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des ports de Skikda.	**96**
72	Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux du port de pêche de Stora.	**96**

73	Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux de l'Oued Safsaf et du point chaud.	**97**
74	Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux de l'Oued Safsaf et du point chaud.	**98**
75	Représentation graphique de la variation de l'Indice (IB) de Bourgeois (1980).	**98**
76	Représentation graphique de la variation spatiale des hydrocarbures totaux dans les eaux des rejets industriels.	**99**
77	Représentation graphique de la variation temporelle des hydrocarbures totaux dans les eaux du rejet industriel de la raffinerie de Skikda.	**100**
78	Représentation graphique de la variation spatiale des hydrocarbures totaux dans les eaux des 3 ports de Skikda.	**101**
79	Représentation graphique de la variation temporelle des hydrocarbures totaux dans les eaux du port de pêche de Stora.	**101**
80	Représentation graphique de la variation spatiale du Zn dans les sédiments.	**102**
81	Représentation graphique de l'indice de contamination pour le Zn.	**103**
82	Représentation graphique de la variation spatiale du Cu dans les sédiments.	**103**
83	Représentation graphique de l'indice de contamination pour le Cu.	**104**
84	Représentation graphique de la variation spatiale du Cr dans les sédiments.	**104**
85	Représentation graphique de la variation spatiale du Pb dans les sédiments.	**105**
86	Représentation graphique de la variation spatiale du mercure dans les sédiments marins.	**106**
87	Représentation graphique de la variation spatiale du Ni dans les sédiments.	**106**
88	Représentation graphique de la variation spatiale du Fe dans les sédiments.	**107**
89	Représentation graphique de la variation spatiale du Mn dans les sédiments.	**107**
90	Représentation graphique de l'indice de contamination pour le Mn.	**108**

LISTE DES SYMBOLES

Symbole	Définition
ANPE	Agence Nationale pour la Protection de l'Environnement.
BCF	Bio-Concentration Factor.
C.O.I	Commission Océanographique Internationale.
C.T.E	Centrale thermique.
CCL_4	Tétrachlorure de carbone.
CDD	Commission du Développement Durable.
CF	Coliformes fécaux.
CNES	Conseil National Economique et Social.
CP1/K	Complexe Pétrochimique.
CT	Coliformes totaux.
EGZIK	Entreprise de Gestion de la Zone Industrielle.
EPS	Entreprise Portuaire de Skikda.
FO	Faisceau Optique.
GL1/K	Complexe de Liquéfaction de Gaz.
HCT	Hydrocarbures Totaux.
I.Q.E.D	Institut pour la Qualité des Eaux, Danemark.
IB	Indice de Bourgeois.
IC	Indice de contamination.
J.O.R.A	Journal Officiel de le République Algérienne.
KNMI	Koninklijh Nederlands Météorologish Institut.
LEM	Laboratoire d'Etudes Maritimes.
OBPM	Opération Blanche de Pollution Marine.
ONM	Office National de la Météorologie.
P2	Poste 2.
PAM	Plan d'Action pour la Méditerranée.
PL.	Plage.
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement.
R.F.C.T. G.Pl	Rejet Final du Camp de Toile (Grande Plage).
R.F.L.A.G.Pl	Rejet Final des Logements Agricoles (Grande Plage).
RA1/K	Complexe de Raffinage .
REMPEC	Centre de Réaction en urgence à la Pollution Marine Régionale pour la mer Méditerranée.
SEMEP	Service Epidémiologie et Médecine Préventive.
SF	Streptocoques fécaux.
St	Station.
V.G	Valeur guide.
V.L	Valeur limite.
VLI	Valeur Limite Inférieure.
VLS	Valeur Limite Supérieure.
VMA	Valeur Maximale Admissible.
ZET	Zone d'Expansion Touristique.

INTRODUCTION

Introduction

Les enjeux environnementaux et sanitaires liés aux pollutions toxiques dans les milieux aquatiques sont au cœur de nombreux débats de société et la prise de conscience de la nécessité de réduire la pollution toxique est de plus en plus importante. En effet, les polluants toxiques ont des impacts non seulement sur l'environnement, mais aussi sur la santé humaine, avec des conséquences économiques non négligeables. La pollution peut avoir des effets irréversibles sur les écosystèmes comme la disparition d'espèces, la contamination de la chaîne trophique….

Outre l'aspect patrimonial caractérisé par l'appauvrissement de la diversité biologique, les conséquences sanitaires peuvent être importantes, voire même mortelles. Dans les années 1950/1960, au Japon, une pollution au cadmium dans les rizières a déclenché de nombreux troubles rénaux et osseux, entraînant une importante mortalité dans les populations de ces régions. Enfin, les coûts économiques de la dépollution sont importants (construction de stations d'épuration pour les industries, mise au point de nouveaux procédés, décontamination de sites et sols pollués...). Ces coûts peuvent aussi être indirects en empêchant des usages de l'eau, comme la production d'eau potable, ou en bloquant le fonctionnement de stations d'épuration urbaines... Enfin, les coûts liés à la santé humaine ne sont pas non plus négligeables.

En général, la réglementation reflète bien les exigences citoyennes sur ce sujet, en affichant des objectifs ambitieux de protection ou de restauration des milieux aquatiques vis-à-vis des pollutions toxiques. Les programmes d'action engagés pour lutter contre ces pollutions toxiques suivent une démarche cohérente qui passe par une phase de diagnostic, de définition des objectifs, de mise en œuvre des actions et de suivi de leur efficacité (Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 2002). Ces différentes étapes impliquent de nombreux acteurs parmi lesquels les services de l'Etat, les collectivités, les établissements publics, les scientifiques, les entreprises, ou encore les usagers, interviennent soit sur les aspects techniques, soit sur les aspects stratégiques, en s'appuyant sur une large gamme d'outils.

En Algérie, l'environnement est une préoccupation sous-tendue par des raisons aussi multiples que diverses. Dans un premier lieu, bien que la dimension environnementale se soit diffusée progressivement dans l'appareil d'état et la société à travers des textes législatifs et réglementaires, la création d'organismes et l'élaboration de programmes, il n'en demeure pas moins, comme le montre le rapport du CNES (1997) que les résultats enregistrés dans le cadre des différentes mises en œuvre, n'ont pas été probants.

Dans un second lieu, nous constatons un processus continu de détérioration de l'état général de l'environnement qui affecte au demeurant tous les domaines. Ainsi, au cours des dernières décennies les zones côtières ont été le théâtre d'un développement accéléré et une pression démographique très importante. Environ 45% de la population est concentrée sur une bande très étroite du littoral, en particulier dans les zones industrielles et portuaires comme Alger, Oran, Annaba, Arzew et Skikda (Grimes, 2003). Cette évolution ne cesse d'amplifier légitimement les inquiétudes des citoyens sous les effets combinés des agressions à l'environnement, des pollutions et des nuisances qui donnent aux éléments essentiels de l'existence un caractère de précarité et de fragilité.

En fait, cela traduit une situation de blocage des mentalités, d'inefficience des règlements et procédures, de dysfonctionnement des activités au détriment de l'environnement. Cette situation découle en fin de compte de la complexité du sujet et de l'étendue de son champ d'emprise à la fois politique et culturelle, administratif et juridique, socio-économique et spatial.

Le grand défi des générations à venir consiste à mettre sur pieds des méthodes d'évaluation environnementale standards et donc accessibles à tous les pays et à développer des systèmes d'échange d'informations permettant comme le signale Bélanger (2009) le suivi et la conservation des milieux marins côtiers à l'échelle internationale.

C'est dans ce contexte que nous avons élaboré ce travail de recherche qui représente une continuité à plusieurs études réalisées depuis une décennie dans les eaux du littoral Algérien et durant plusieurs années en méditerranée.

Dans le Nord de la méditerranée, de nombreux travaux de recherches ont démontré que la pollution d'origine tellurique faisait subir un lourd préjudice au milieu marin; nous citerons: Gilet (1959), Aubert et *al.,* (1967), Arfi et Leveau (1983), Kerambrun (1983), Friligos (1985) ou encore Guillaud et Alinot (1991).

Dans la partie sud-occidentale, Darmoul (1977), Darmoul et *al.,* (1980), Medhioub (1981), Sarbaji (1991), Ammar et *al.* (1991), Grimes (2003), Grimes et *al.,* (2010), Bougherira et Hani (2012), Maatallah et *al.,* (2013), Rouidi et *al*., (2013), Yoshida (2013) et Roudi (2014) ont mené des travaux qui ont mis en évidence l'impact négatif de l'extension urbaine, de l'accroissement et du développement industriel sur le littoral.

En Algérie, une contribution plus active et concrète à la stratégie nationale décidée en matière d'environnement marin par le Gouvernement a été apportée par les multiples travaux de recherches et d'études effectuées notamment par des laboratoires spécialisés ainsi que l'organisation d'ateliers sur la surveillance des eaux côtières. En effet, la pollution marine a été abordée par quelques travaux concernant le domaine benthique des côtes de l'Ouest (Oran) et du centre (Alger) (Chouikhi et *al*., 1988 et 1992; Asso et *al.*, 1986; Bakalem, 1980, 1982, 1985, 1988 et 1990). Les niveaux de contamination microbienne ont fait l'objet de recherches de Juillian et *al*., (1962), Merabtine (1998), Delali et *al.,* (2001) et Bouhayene et Djebar (2013). Une forte pollution bactériologique avec une incidence sur la santé publique a été soulignée lors d'un travail effectué par Boutiba entre 1992 et 1998 dans la baie et le port d'Alger.

D'autres travaux ont concerné les niveaux de contamination métallique chez de nombreux organismes marins notamment; le rouget de roche *Mullus surmuletus* (Benguedda, 1993), la sardine *Sardina pilchardus* (Merbouh, 1997), la moule *Mytillus galloprovencialis* (Boudjella *et al*., 1998; Bruno, 1998; Bei, 1998 et Rouane-Hacene, 2013), la moule *Perna perna* (Belabed et *al*., 2013), les crustacés décapodes (Abdenour et *al*., 2000) et la bogue *Boops boops* (Aoudjit, 2001).

Le Laboratoire d'Etudes Maritimes (L.E.M) en association avec l'Institut de la Qualité des eaux Dutch Consult (Allemagne) et l'Institut Danois d'hydraulique

(Danemark) a mis en œuvre une étude de protection contre la pollution des ports et du littoral Algérien (1994).

Dans la baie de Skikda et d'Annaba, lors d'un travail d'approche du problème de pollution, des niveaux non négligeables de contamination microbienne dans les eaux superficielles et de contamination métallique dans le sédiment superficiel ont également été mis en évidence (Gharsallah, 2002, Gueddah, 2003 et Gueddah et *al*., 2014).

Sur un plan législatif et réglementaire, l'état Algérien œuvre pour leur mise en conformité avec les objectifs de la protection de l'environnement dans toutes ses composantes, notamment par une législation réglementant les rejets d'effluents liquides industriels (Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006); le déversement des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel et fixant les conditions et modalités de récupération et de traitement des huiles usagères (Décrets exécutifs n° 93-161 et 93-162 du 10 juillet 1993) ainsi qu'une réglementation portant institution d'un inventaire du degré de pollution des eaux superficielles (Décret exécutif n° 93-163 du 10 juillet 1993). S'ajoute à cela, la promulgation de la loi n° 02-02 du 5 février 2002 fixant les dispositions particulières relatives à la protection et à la valorisation du littoral.

En l'état actuel, la prise en compte de la pollution métallique dans le sédiment d'un point de vue réglementaire demeure absente (nous signalons cependant la présence de quelques recommandations) des préoccupations nationales, pour y remédier, certaines mesures devraient être engagées.

L'objectif de la présente étude est d'établir un bilan de la qualité du milieu marin de la région de Skikda en utilisant une approche basée sur le suivi de 7 paramètres physico-chimiques des eaux côtières superficielles, des indicateurs de la pollution microbienne comportant la recherche et le dénombrement des coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux et l'estimation des teneurs en hydrocarbures totaux et enfin l'estimation des teneurs de 9 métaux lourds dans les sédiments superficiels dans différentes stations le long du littoral de la wilaya de Skikda, à

savoir: 16 plages, 3 enceintes portuaires, 3 rejets industriels, l'embouchure de l'oued Safsaf, un point considéré comme chaud et un point de référence. Ce bilan analytique s'est déroulé mensuellement de janvier à décembre 2009 à l'exception des métaux lourds pour qui un seul dosage a été réservé pour chaque micropolluant et par station.

Le tapuscrit s'articule autour de 4 chapitres:

Le premier présente des généralités, il est divisé en 2 parties, la première concerne une étude descriptive de la région de Skikda et la deuxième partie décrit les principaux types de polluants retenus dans cette étude.

Le deuxième chapitre décrit le matériel et les méthodes utilisés en insistant sur la stratégie pour laquelle nous avons opté compte tenue des objectifs de l'étude.

Le troisième concerne l'ensemble des résultats obtenus.

Le quatrième est une discussion suivie d'une conclusion qui nous ont permit de proposer des perspectives d'avenir dans le domaine de la lutte contre les pollutions marines dans la région de Skikda.

Une partie des résultats concernant les métaux lourds dans les sédiments, a fait l'objet d'une publication scientifique (Annals of Biological Research 2014, 5 (1) 40-45) jointe en document complémentaire.

CHAPITRE I: GENERALITES

1. Description de la région de Skikda

Le golf de Skikda est un écosystème marin dont l'environnement biotique répond à diverses variations climatiques et humaines. La mise en valeur des mers côtières est rendue difficile par la complexité des institutions concernées. Une gestion intégrée nécessite donc une compréhension détaillée du système naturel en mer et sur le continent, des activités socioéconomiques ainsi que la connaissance des diverses sources de pollution potentielles pour le développement d'outils méthodologiques adaptés.

1.1. Facteurs physiques

La wilaya de Skikda est située à l'Est du littoral algérien, entre les latitudes 36°5' N et 36°15'N et les longitudes 7°15' E et 7°30' E, s'étendant sur une superficie de 4.118 km² avec 140 km de côte. Elle regroupe 13 daïras et 38 communes, limitée au Nord par la mer méditerranée elle avoisine les wilayas d'Annaba à l'Est, Jijel à l'Ouest, Constantine et Guelma au Sud (Fig. 1).

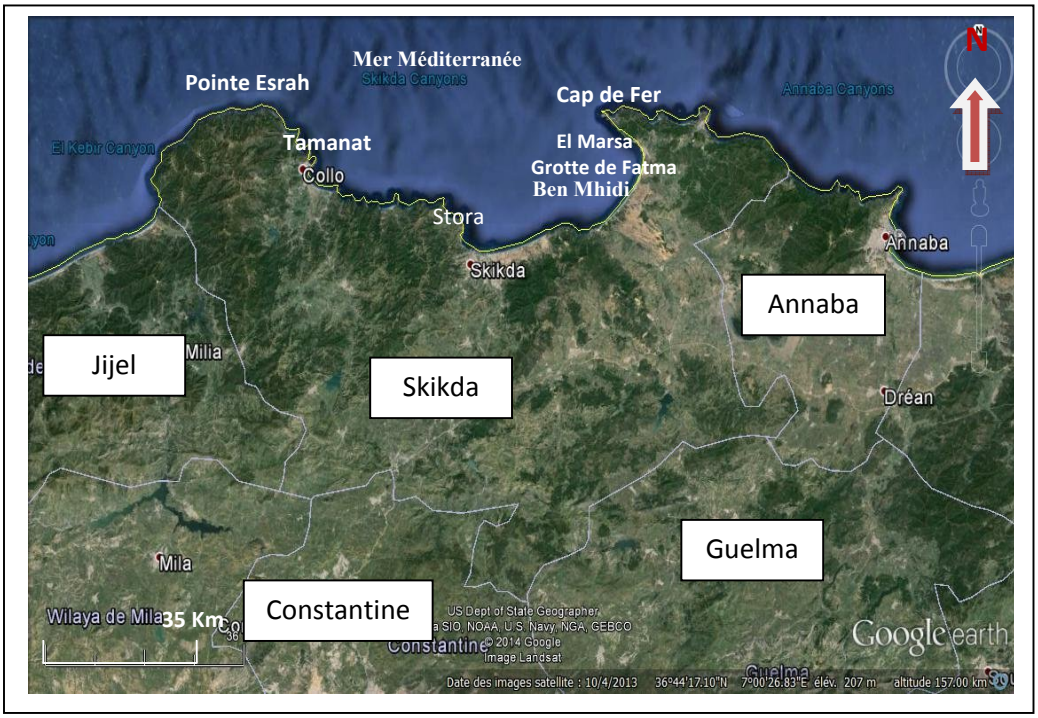

Figure 1: Situation géographique de la wilaya de Skikda (Google earth, 2013 modifiée).

Le golf de Skikda est compris entre la pointe Esrah et le Cap de Fer à 17 miles d'ouverture sur 9 miles de profondeur. Toute la frange tellurienne est marquée par une biogéographie homogène caractérisée notamment par sa climatologie et sa géologie.

1.1.1. Géologie

Les falaises rocheuses dominent depuis la pointe Esrah jusqu'au site de l'Anse de Stora, avec plusieurs îlots rocheux parmi lesquels, Sirigina, le lion, l'îlot de la Macaque et celui des singes qui se situent à proximité du rivage. Le relief des falaises est constitué principalement de roches métamorphiques composées de gneiss, de schistes et de micaschistes gris bleuâtres. A l'Est de la wilaya, la côte se retourne vers le Nord Est puis vers le Nord Ouest jusqu'au Cap de fer. Dans cette partie, le rivage est surtout constitué de dunes de sables sauf à droite du massif de Filfila et du Cap de fer (Fig. 2).

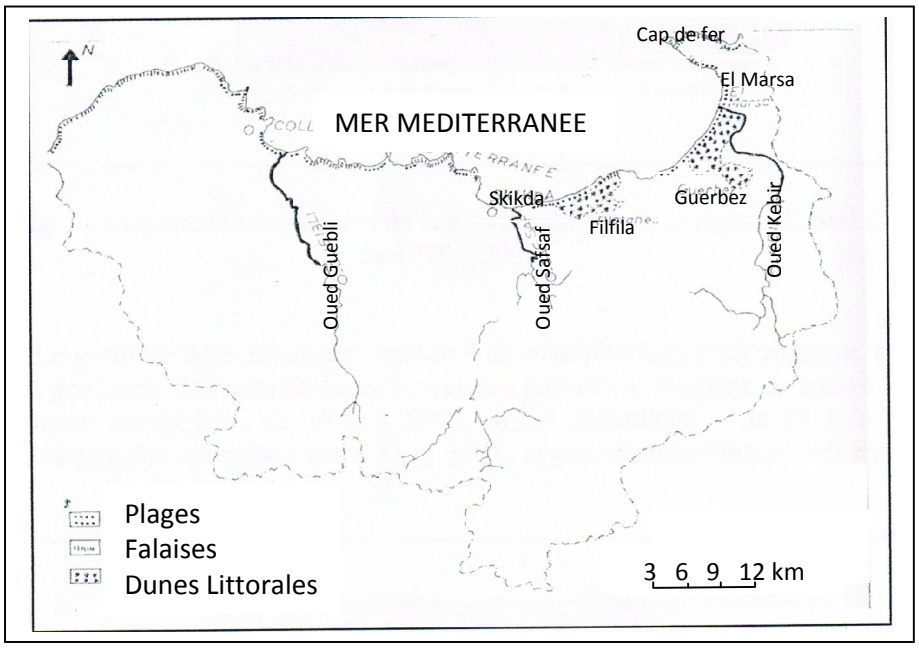

Figure 2: Localisation des dunes littorales de la zone côtière de Skikda (ANPE, 1994 modifiée).

1.1.2. Climatologie

Par son climat typiquement méditerranéen, la wilaya de Skikda appartient au domaine bioclimatique humide et subhumide. Le climat est à variante douce ou tempérée au littoral et froid à l'intérieur. Les données enregistrées par les stations de l'Unité de

l'Office National de la Météorologie (unité de Skikda) s'étalent sur une décennie de 2003 à 2012.

Skikda bénéficie d'une importante humidité et est considérée comme l'une des régions les plus pluvieuses d'Algérie (Fig. 3).

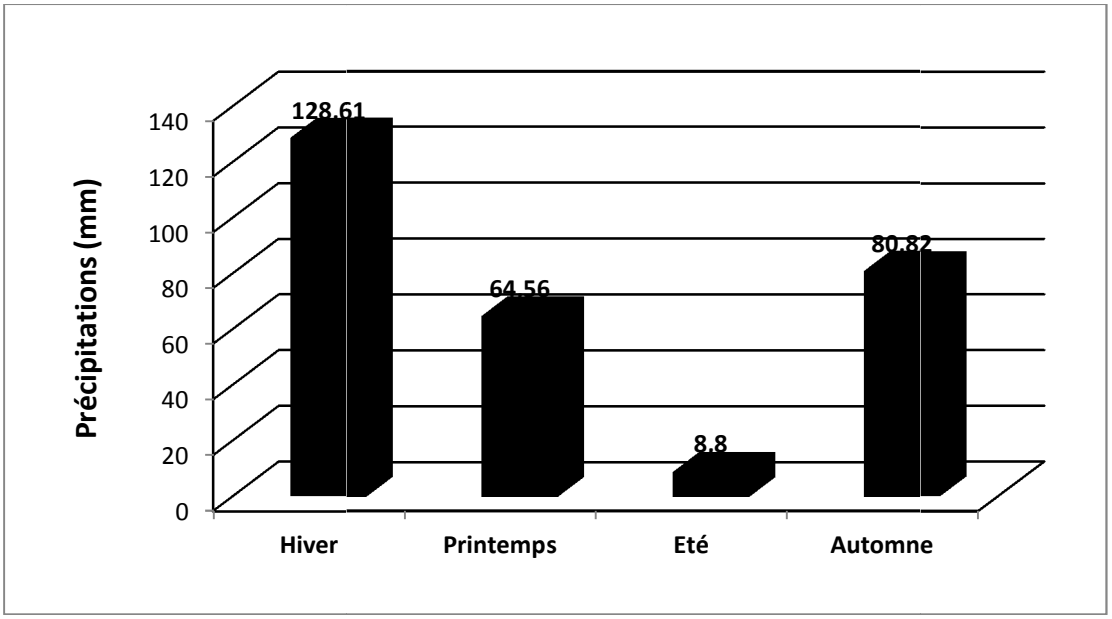

Figure 3: Moyennes saisonnières de la pluviométrie dans la région de Skikda (2003-2012).

Le gradient décroissant des hauteurs de précipitations de 128,61 mm à 8,8 mm s'accompagne souvent d'un gradient croissant des températures moyennes annuelles. Les températures enregistrées de 2003 à 2012 varient annuellement avec des moyennes maximales estivales de 25,16°C et des minimas hivernaux de 12,92°C (Fig. 4).

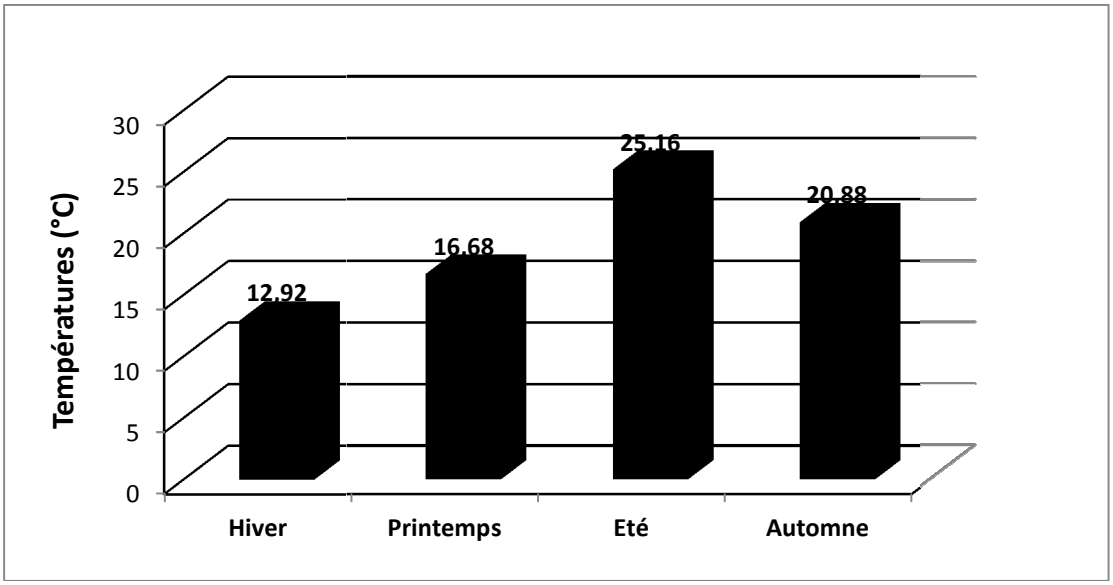

Figure 4: Variation annuelle moyenne des températures saisonnières dans la région de Skikda (2003-2012).

Pour ce qui est de l'hygrométrie, la région de Skikda est très humide. En effet, durant la période allant de 2003 à 2012, les valeurs saisonnières moyennes oscillent entre 69,63% en automne et 72,96 % en hiver (Fig. 5).

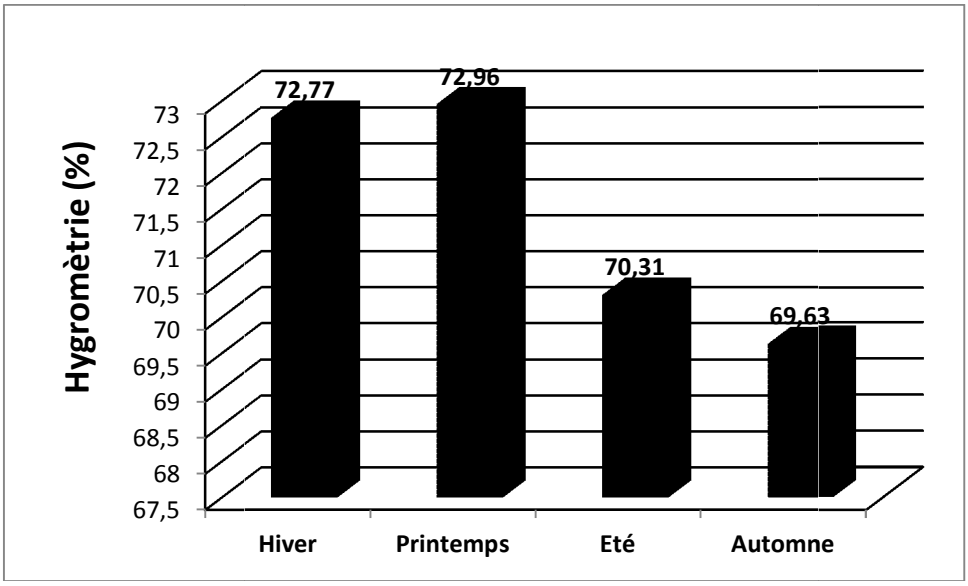

Figure 5: Variation saisonnière moyenne de l'humidité relative dans la région de Skikda (2003 -2012).

1.1.3. Hydrodynamisme

La wilaya de Skikda est orientée suivant le secteur N-E, elle est abritée naturellement du coté Ouest par Ras Akmés et l'île de Sirigina et à l'Est par Ras El Hadid; c'est donc les vents du secteur N-E venant du large qui sont les plus dominants et souvent à l'origine des perturbations les plus importantes. Cette région est caractérisée par une prédominance des vents du secteur N-O en fréquence et en force frais et sans grande importance pour la région et des vents du secteur N-E, relativement faibles (Fig.6).

Tout comme sur l'ensemble de la côte Algérienne, à Skikda, les variations du plan d'eau sont négligeables et de ce fait, n'influent pas sur les conditions hydrodynamiques de la zone d'étude. Cependant, l'existence d'une marée de période de 12 heures et de faible amplitude égale à 0,30 m selon Hocini et *al.,* (1991), est signalée dans la baie de Skikda.

Concernant les mouvements de la houle dans la région, en l'absence de données directes sur le site, les résultats de houles ont été synthétisés à partir de 16070 observations étalées sur 20 ans, correspondant à la période 1961-1970 et 1971-1980, enregistrées au

large de Skikda par des navires marchands et stockées par le KNMI (Koninklijh Nederlands Météorologish Institut) (*in* Hocini et *al.,*1991).

Selon cet institution, la région de Skikda se caractérise par une prédominance des houles de direction N-O à N en fréquence d'apparition et en amplitude avec les houles N-N-E à N-E (N10° à 50°) représentant annuellement 15% des cas dont 36% avec une amplitude >1m, dépassant rarement 4 m et les houles N-O à N représentent 39% des cas, dont 58% ont une amplitude > 1m. Celle-ci peut dépasser 6 m, voir même 8 m (Fig. 6).

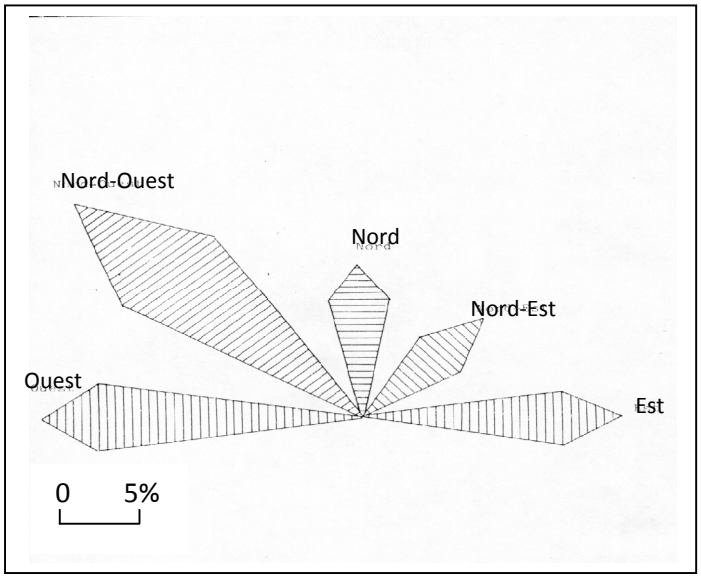

Figure 6: Rose des houles par secteur ; toutes amplitudes et périodes confondues Données K.N.M.I, 1961-1980 (*in* Hocini et *al.,* 1991 modifié).

Pour ce qui est des courants dans la baie de Skikda et selon le Laboratoire d'Etudes Maritimes (LEM) (1994), les renseignements extraits des instructions nautiques signalent l'existence d'un courant général dirigé vers l'Est pouvant atteindre 1 à 2,5 nœuds, passant à quelques miles au large de la baie de Skikda et d'un autre courant de 0,5 à 1,5 nœuds, plus près de la côte. Il semblerait que ce courant ne pénètre pas dans la baie.

1.1.4. Hydrographie

Le réseau hydrographique de la wilaya de Skikda est traversé par 3 principaux cours d'eau (Fig. 7): les oueds El Kebir à l'Est, Safsaf au Centre et Guebli à l'Ouest avec 7 bassins hydrographiques dont la répartition des précipitations par bassin versant est représentée dans le tableau 1.

Tableau 1: Répartition des précipitations par bassin versant (ANPE, 1994).

Situation	Bassin versant	Superficie (km^2)	Apports annuels (hm^3/an)	Précipitations moyennes (mm)
Ouest	Côtier Cap Bougaroun	497	477	1464
	Oued Guebli	988	490	1200
Centre	Oued Bibi	203	75.50	1000
	Oued Safsaf	1165	150	800
Est	Côtier Filfila	134	37	900
	O. Kebir Ouest	1419	148	1000
	Kebir Côte Magroun		148	1000

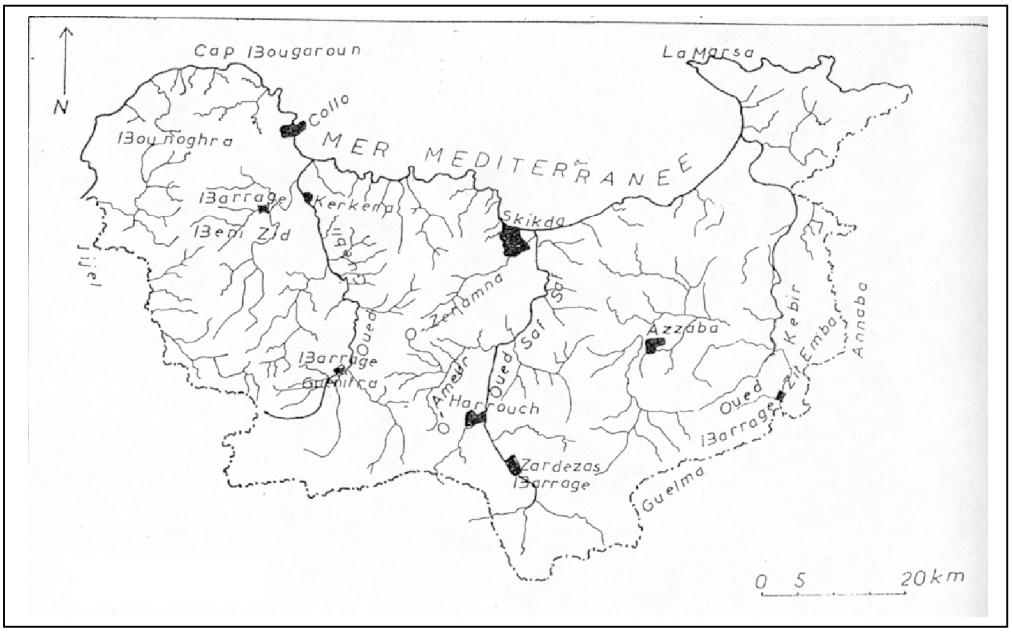

Figure 7: Réseau hydrographique de la région de Skikda (ANPE, 1994).

1.1.5. Zone côtière

Cette zone s'étendant sur 140 km de côtes et couvre une superficie maritime de 3069 km^2, la zone côtière de Skikda possède une succession de plages, allant de Tamanart à l'Ouest vers El Marsa à l'Est avec de vastes étendues de sable en alternance avec des falaises (Fig. 8). La façade maritime est caractérisée par un plateau continental dont les 2/3 sont accidentés.

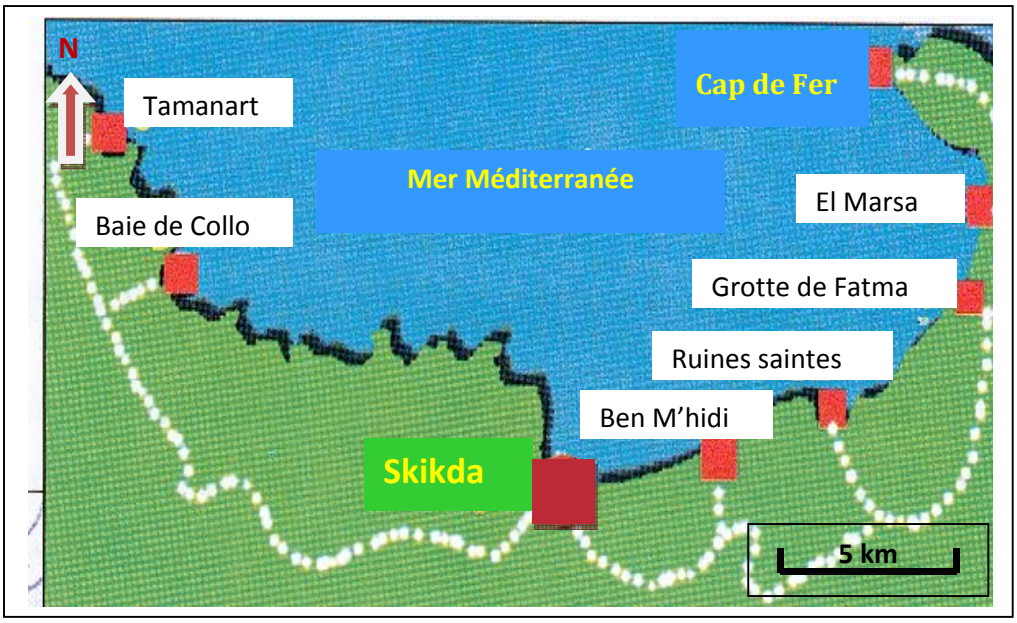

Figure 8: Représentation de la zone côtière de la wilaya de Skikda.

La côte de Skikda est divisée en 3 zones: la zone Ouest qui s'étend de l'embouchure de l'oued Zhor à l'Ouest, à Stora à l'Est, elle est généralement abrupte avec de hautes falaises, la zone centrale **r**eprésentée par la côte de Ben M'hidi, les platanes, Guerbes et les falaises de Filfila et enfin la zone Est comportant les côtes de la Marsa et les falaises du Cap de Fer.

Les dunes littorales qui caractérisent la baie de Skikda sont des habitats très fragiles dont la destruction entraînerait la disparition de la faune existante ainsi que le recul de la ligne du rivage. La menace plane donc sur ces dunes du fait de l'extraction de sable non contrôlée. En effet, la valeur écologique et paysagère du site d'extraction est diminuée et expose par conséquent toutes les plaines à l'ensablement notamment à Guerbes, aux Platanes et à la Marsa.

1.2. Facteurs anthropogéniques

1.2.1. Population

La population des communes côtières de Skikda était de 360 261 habitants (RGPH., 1998). 45,8% de cette dernière se concentrent sur la zone littorale, ce qui est considérable. Cette concentration sur le littoral est due à la présence du pôle industrialo-portuaire de la ville de Skikda qui a engendré un accroissement du marché de l'emploi et donc favorisé

l'exode et par conséquent la densification du tissu urbain faisant subir à cette zone et à sa périphérie une importante pression.

1.2.2. Activités économiques

1.2.2.1. Agriculture

La position géographique de Skikda et sa situation au centre de la région Nord-Est du pays lui confère un rôle de 1er plan dans les échanges et les flux économiques, se traduisant par l'importance de ces infrastructures techniques comme le réseau routier, les ports et voies ferrées.

Avec une superficie agricole de plus de 19000 ha, cette wilaya a une production végétale et animale moyenne, à citer: l'olivier à Azzaba et El Harrouch, la culture importante de la fraise au lieu dit Grande Plage (commune de Aîn Zouît) en plus des agrumes.

1.2.2.2. Pêche

Dans la wilaya de Skikda, la pêche représente une activité économique importante, cependant, comme pour la plupart des wilayas côtières, le secteur de la pêche reste marginalisé et les ressources marines sont par conséquent mal gérées et parfois même sous exploités. Les ressources halieutiques de la wilaya de Skikda sont estimées à 19200 tonnes avec 14400 tonnes en petits pélagiques et 4800 tonnes en espèces démersales.

Le secteur de pêche offre actuellement en moyenne 5000 tonnes de poissons dont plus de 70% de poissons bleus et génère environ 2688 emplois. (Direction de la pêche de Skikda, 2008). La quantité du produit de la mer qui a été exportée durant 2007 est de 4613T dont 27961T d'anguille dont la destination est l'Espagne et la France (Fig. 9).

L'aquaculture dans la wilaya de Skikda, n'a pas connu le développement escompté ou souhaité par les pouvoirs publiques, malgré les efforts déployés par l'état surtout dans le programme de soutient à la relance économique où l'aide et supérieure ou égale à 30% du coût de l'investissement. L'aquaculture se résume dans l'ensemencement et l'exploitation des barrages. La production de la pêche continentale principalement l'anguille, pour l'année 2007 par exemple est de 3021,10 Kg dans l'Oued El Kebir.

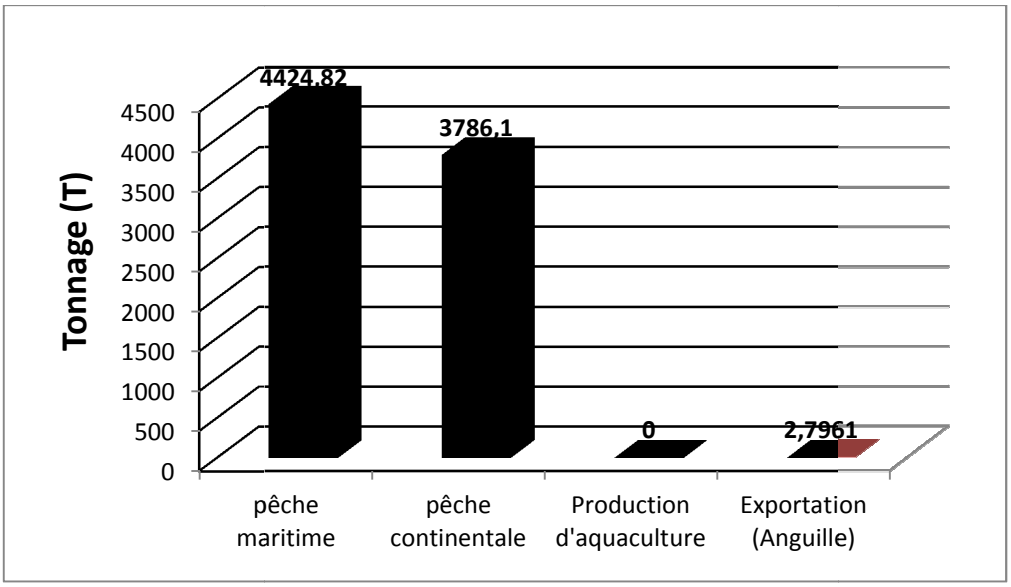

Figure 9: Représentation graphique de la production halieutique par type d'activité durant l'année 2007 (Direction de la pêche de Skikda, 2008).

1.2.2.3. Industrie

L'industrialisation de Skikda reste l'avènement le plus important de la région. En effet, en plus de son potentiel agricole, Skikda est un grand pôle industriel d'importance nationale dominé par les complexes pétrochimiques représentés essentiellement par le Complexe de Matière Plastiques (CP1/K), le Complexe de Raffinage (RA1/K) et le Complexe de Liquéfaction de gaz (GL1/K) auxquels s'ajoutent; la Centrale Thermique Electrique (CTE), l'Entreprise Nationale du Marbre (ENAMARBRE), la cimenterie de Hjar Essoud, le Complexe mercuriel d'Azzaba en plus des unités agroalimentaires et extractives. L'infrastructure portuaire est caractérisée par un terminal pétrolier et un port commercial.

1.2.2.4. Tourisme

La wilaya de Skikda est une région accueillante à toutes les spécificités; vacances, longs séjours ou affaires, du fait qu'elle renferme d'immenses potentialités touristiques, notamment, par sa position sur la mer méditerranée et sa fonction portuaire qui lui confèrent des relations privilégiées, non seulement avec les wilayas de l'Est Algérien mais aussi avec l'étranger comme il apparaît clairement à travers le trafic passager dans le port de Skikda pour la période 2003 - 2012 (Fig. 10).

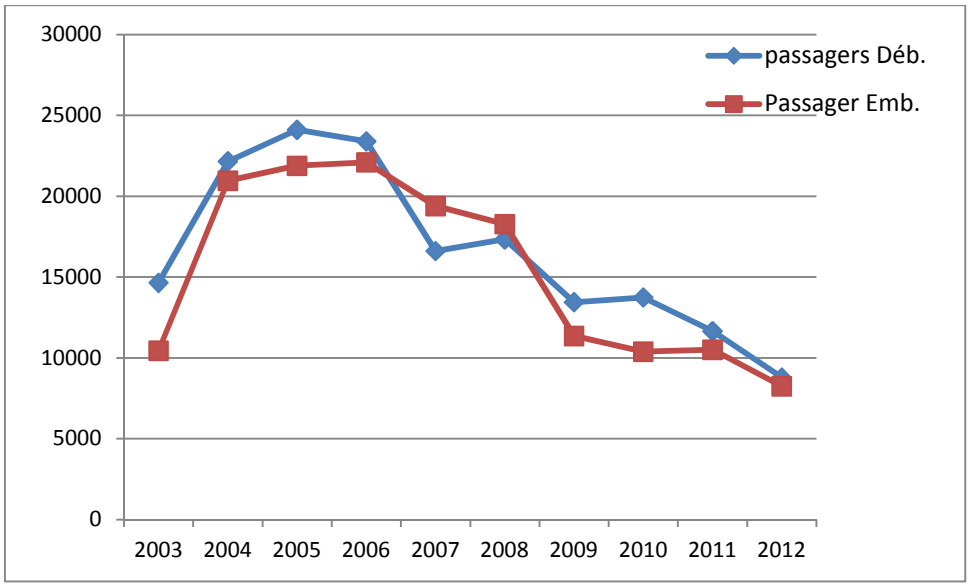

Figure 10: Représentation graphique de l'évolution du trafic passagers au port de Skikda de 2003 à 2012 (Données statistiques EPS, 2012).

La beauté de ses sites naturels donne à la région de Skikda une vocation touristique de tout premier plan. Des aménagements modernes ont vu le jour ces dernières années sous le signe ZET (Zones d'Expansion Touristiques). Ces ZET sont au nombre de 9 dont 5 prioritaires (Fig. 11).

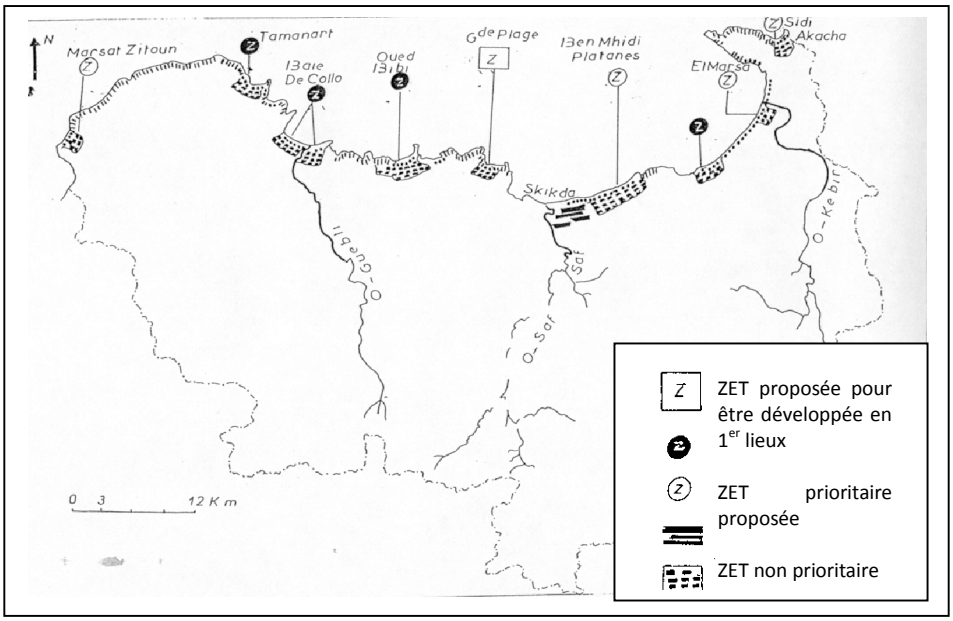

Figure 11: Situation des Zones d'Expansion Touristique de la région de Skikda (ANPE, 1994).

Malgré le manque d'infrastructures à caractère touristiques, certaines plages, zones de concentration des potentialités touristiques constituent un espace d'accueil de grande

qualité et les plus fréquentées d'entre elles sont: la Grande Plage, Ben Mhidi, la baie de Collo, Tamanart (Fig. 12), Guerbes (Fig. 13), plage du cap de fer (Fig. 14) et la Marsa dont les capacités respectives sont énumérées dans le tableau 2.

Tableau 2: Capacités d'accueil des principales plages de la baie de Skikda.

Plage	Capacité d'accueil (Baigneurs)
Tamanart	3 700
Baie de Collo	22 800
Grande Plage	6 400
Ben Mhidi et Platanes	34 800
El Marsa	12 000

Figure 12: Photographie montrant une vue de la plage Tamanart.

Figure 13: Photographie montrant une vue de la plage de Guerbes.

Figure 14: Photographie montrant une vue de la plage du Cap de fer.

1.2.3. Assainissement

La conception, la réalisation, l'entretien et la maintenance des réseaux d'assainissement marquent une déficience, due essentiellement à l'insuffisance de coordination des différents services publics ainsi qu'à une urbanisation rapide et souvent incontrôlée. Par conséquent, la recrudescence des maladies à transmission hydrique évolue proportionnellement avec la charge de pollution. Le détail des divers rejets dans la région de Skikda est représenté dans le tableau 3.

Tableau 3: Situation du réseau d'assainissement de diverses communes de Skikda (CL: Chef lieux BD: bassin de décantation FS: fosse septique Unit: Unitaire Sep: Séparât).

Commune	Agglom.	Type de réseau	Etat du réseau	Nbr de rejets	Milieu récepteur	Volume rejeté m³/j	Système de traitement	Station de relevage
El Marsa	El Marsa (CL)	Unit. et Sép.	Moyen	01	Mer	3600	01BD	01
Filfila	Oued Righa Salah Chebel	Sép.	Moyen	01	Mer	46 972.91	01 FS 01BD	01
Skikda	Skikda (CL)	Sép/Unit	Bon	05	Mer	179 946.25	-	02
	Stora	Unit.	Bon	02	Mer, Oued	6 104.16	-	01
	Ben M'Hidi	Unit.	Moyen	01	Mer	8 286.80	-	01

2. Revue sur les principaux types de pollutions

La compréhension des mécanismes qui contrôlent le devenir des flux des contaminations apportés au littoral et des effets biologiques imputables à la contamination chronique des eaux côtières constitue une étape indispensable à l'établissement d'un bilan de l'état de santé d'un écosystème côtier ainsi qu'à l'établissement de recommandations sur les apports telluriques et à la détermination des niveaux de risques acceptables; environnementaux ou sanitaires.

2.1. Pollution microbiologique

La contamination microbiologique de la mer due au déversement des eaux usées a provoqué une crise sanitaire massive à l'échelle mondiale. On estime que les bains dans les eaux de mer polluées provoquent chaque année quelque 250.10^6 de gastro-entérites et de maladies des voies respiratoires supérieures.

Pour les eaux littorales, la quasi-totalité des micro-organismes identifiés sont de provenance fécale. Afin d'évaluer le risque sanitaire lié à l'aspect récréatif des eaux susceptibles d'être contaminées par des micro-organismes pathogènes pour l'homme, la compréhension de leur comportement semble être nécessaire.

2.1.1. Les indicateurs de contamination fécale

2.1.1.1. Les coliformes totaux (CT)

Les CT sont des bacilles Gram$^-$, non sporulés, aéro-anaérobies qui fermentent le lactose en produisant des acides et des gaz en 24 à 48h à 35 - 37 °C. Ces coliformes vivent dans les intestins de l'homme et des animaux homéothermes, leur résistance en milieu extra intestinal est variable du fait de l'hétérogénéité de ce groupe.

2.1.1.2. Les coliformes fécaux (CF)

Sous-groupe des CT, les CF sont des bacilles Gram$^-$, non sporulés, aéro-anaérobies, fermentant le lactose en produisant des acides et des gaz en 24h à 44 °C et en eau tryptonée ils produisent de l'indole. *Escherichia coli* est l'espèce dominante de ce groupe.

2.1.1.3. Les streptocoques fécaux (SF)

Cocci en chaînettes, Gram^{+}, ayant une structure antigénique du groupe D de Lance Field (Bonne persistance dans le milieu extra-intestinal), caractérisés par leur hétérogénéité.

2.1.2. Origine

La pollution microbiologique est principalement liée aux eaux résiduaires urbaines. Les points névralgiques les plus importants coïncident avec les points névralgiques de bactéries d'origine fécale humaine ou animale. Les micro-organismes pénètrent le plus souvent dans l'environnement marin par les rejets d'eaux résiduaires urbaines non traitées ou partiellement traitées, constituant ainsi les apports ponctuels.

Les eaux de ruissellement constituent également une source importante de pollution microbiologique, la plupart du temps, à cause des rejets des eaux usées en amont. Ces apports sont dits diffus.

2.1.3. Devenir et impact

Le devenir de la charge microbienne dans l'eau de mer, comme pour les autres polluants, est fonction de la dilution, de la dispersion et de la sédimentation des particules fines. Par ailleurs, les bactéries subissent l'agression du milieu marin qui conduit à une atteinte cellulaire.

Les principaux facteurs de stress pouvant affecter la survie des bactéries sont: la lumière solaire visible ou UV proches, la salinité, la teneur en éléments nutritifs, la température, la prédation et la compétition de flore. Sous l'effet de ces différents stress, les bactéries évoluent dans l'eau côtière, comme dans le sédiment, vers des formes viables non cultivables (Le Hir *et al*., 1989).

La présence de particules en suspension ainsi que la présence de matière organique favorisent la survie des bactéries, alors que la présence de prédateurs comme les protozoaires ou de conditions de température ou de pH extrêmes, favorisent leur disparition. Il a été constaté une survie de 10 à 40% des micro-organismes intestinaux 7 jours après leur rejet (Thomas, 1995).

Assez souvent, la pollution bactérienne aboutit finalement dans les zones de baignade et se répercute sur la santé des estivants. Les principales maladies causées par les eaux récréatives contaminées sont regroupées dans le tableau 4.

Tableau 4: Les principales maladies causées par les eaux récréatives contaminées. (Merabtine *et al*., 1997)

Affections	Maladie	Germes responsables	Site d'attaque	Origine
Gastro-intestinales	Gastro-entérites	*E. coli*	Intestins (homme et animaux)	Eau et coquillage
	Salmonelloses	*Salmonella*		
	Choléra	*Vibrio cholerae*		
Cutano-muqueuses	Otite externe	Streptocoque	Peau du conduit	Eau durant la baignade
	Sinusite		Sinus frontal	
	Conjonctivite		Conjonctive	

2.1.4. Réglementation Algérienne

Le décret exécutif n° 93-164 du 10 juillet 1993 ayant pour objet de définir la qualité requise des eaux de baignade et précisément en son article 3, définie que la qualité des eaux de baignade doit satisfaire aux paramètres microbiologiques reporté dans le tableau 5.

Tableau 5 : Qualité requise des eaux de baignades (paramètres microbiologiques). (J.O.R.A. N°46 – Décret exécutif n° 93-164 du 10 juillet 1993).

Paramètres	Valeurs guides	Valeurs limites
Coliformes totaux	500/100ml	10 000/100ml
Coliformes fécaux	100/100ml	2 000/100ml
Streptocoques	100/100ml	-

Quand les concentrations sont inférieures ou égales aux valeurs guides on considère que l'eau est de bonne qualité, quand elles sont comprises entre les valeurs guides et les valeurs limites l'eau est de qualité acceptable et doit faire l'objet d'une surveillance continue.

2.2. Polluants organiques: Les hydrocarbures totaux (HCT)

Le pétrole étant la principale source d'énergie des pays industrialisés, il est sujet à un commerce très important dont l'exploitation et le transport peuvent induire des pollutions accidentelles plus ou moins massives comme les marées noires et des pollutions opérationnelles plus ou moins fréquentes comme les déballastages ou dégazages. Ainsi, le trafic maritime mondial représente le facteur unitaire le plus important de pollutions occasionnelles par hydrocarbures. En effet, chaque année, les rejets occasionnels liés au transport maritime représentent une contamination d'environ 65104 tonnes dans l'océan mondial.

2.2.1. Composition

L'expression HCT comprend l'ensemble des hydrocarbures, saturés ou non, comme par exemple les huiles minérales, les huiles et les graisses végétales ou animales. En plus des divers dérivés des hydrocarbures, le pétrole et le gaz naturel présentent une grande importance commerciale; on les utilise comme carburant, combustible, huiles lubrifiantes ainsi que comme produits de base en synthèses pétrochimiques.

Il est possible de distinguer les différents types de pétrole selon leur densité, leur fluidité, leur teneur en soufre et autres impuretés (vanadium, mercure, sels…) et leur teneur en différentes classes de molécules chimiques (HAPs, *n*-alcanes, cycloalcanes…). Le pétrole est alors paraffinique, naphthénique ou aromatique. Il est aussi possible de les classifier selon leur provenance, car les pétroles issus de gisements voisins ont souvent des propriétés proches. Cependant chaque poche de pétrole a des caractéristiques particulières dues à l'histoire géologique de sa formation.

2.2.2. Origine

Les hydrocarbures totaux sont des polluants organiques présents non seulement dans les effluents d'industries pétrochimiques mais aussi dans les eaux résiduaires urbaines. La quantité rejetée par habitant et par jour est de l'ordre de 10g, ce qui représente une concentration non négligeable (Thomas, 1995).

2.2.3. Sources de pollution par les hydrocarbures

Selon Patruno (2001), toutes les sources possibles de pollution marine par les hydrocarbures résultant des activités humaines peuvent être représentées par 4 types:

- Maritimes intentionnelles: décharges liées à l'exploitation des navires.
- Maritimes non intentionnelles: suite aux collisions, échouages etc. Liées encore à l'exploitation des navires.
- Terrestres intentionnelles: effluents de raffineries et rejets urbains côtiers.
- Terrestres non intentionnelles: accidents dans les raffineries côtières, les terminaux pétroliers et les ports.

Parmi ces sources, les accidents de pollution les plus courants sont ceux qui résultent des opérations effectuées dans les terminaux lors du chargement ou du déchargement des hydrocarbures. Cependant, les accidents de navires-citernes sont la source la plus connue de pollutions du milieu marin. Les conséquences immédiates sur l'environnement peuvent être catastrophiques, comme ce fut le cas lors des naufrages du Torrey Canyon en 1967 (Cornouailles), de l'Amoco Cadiz en 1978 (Bretagne), l'Erika en 1999 (Bretagne) ou encore du Prestige en 2002 (Espagne).

2.2.4. Devenir

Selon leurs caractéristiques physico-chimiques, les conditions météorologiques et l'état physique de la mer, les hydrocarbures déversés en milieu marin subissent diverses modifications physico-chimiques, parmi lesquels:

L'étalement: La caractéristique la plus évidente des hydrocarbures déversés à la surface de la mer est sa tendance à s'étaler horizontalement sous l'action conjuguée des forces de gravité, de viscosité et de tension superficielle.

L'évaporation: L'importance du processus d'évaporation est conditionnée par la volatilité du produit déversé. Mais le taux d'évaporation est également augmenté en présence de mers fortes, de vitesses de vents élevées et de températures plus chaudes. Le processus d'évaporation va entraîner la formation d'un nuage gazeux qui pourra être, soit de densité inférieure à celle de l'air, et donc, en cas de produit toxique, présenter un danger important

pour les intervenants, soit de densité inférieure à celle de l'air et ainsi se diluer plus rapidement dans l'atmosphère.

La dissolution : Les pertes par dissolution sont faibles car la majorité des hydrocarbures sont peu solubles dans l'eau. Les composants les plus solubles sont aussi les plus volatils, ce qui fait que les pertes par évaporation limitent la dissolution (Voirin, 1987).

L'émulsification : C'est un processus par lequel un liquide peut se mettre en suspension dans un autre liquide. Pour les hydrocarbures nous distinguons 2 types d'émulsions:

- **Emulsion d'hydrocarbures dans l'eau**: si la surface de l'eau est turbulente, les hydrocarbures peuvent se mettre en gouttelettes qui sont en suspension dans l'eau. La nappe est alors peu affectée par le vent et peut se reformer à quelque distance du déversement initial.
- **Emulsion d'eau dans les hydrocarbures**: communément appelés mousse au chocolat, ce type d'émulsion peut se former en quelques heures et contenir jusqu'à 90% d'eau (Voirin, 1987).

La photo-oxydation: La combinaison chimique des hydrocarbures avec l'oxygène est appelée oxydation. La réaction chimique se produit à la surface de la mer et est catalysée lorsque les hydrocarbures sont répandus en couches de faible épaisseur. Les radiations ultraviolettes du soleil accélèrent l'oxydation. Du fait de la rapide atténuation de la diffusion de la lumière à travers les couches épaisses d'hydrocarbures, la photo-oxydation affecte principalement les couches minces ou la partie superficielle des couches épaisses d'hydrocarbures et ses effets peuvent être alors favorables ou défavorables sur l'évolution d'une pollution.

La sédimentation: L'évaporation, l'émulsification et l'augmentation de densité qui en résultent peuvent aider certains hydrocarbures déjà lourds au départ à couler. La cause la plus commune est généralement l'incorporation de sédiments dans les hydrocarbures vieillis, le coulage et aussi possible quand on rencontre une notable diminution de la densité des eaux de surface (tel que devant les estuaires).

Le déplacement: Il a été constaté empiriquement que les hydrocarbures flottants se déplacent approximativement sous l'action du vent avec une vitesse de l'ordre de 3% de celle du vent (Fig. 15). En présence de courants de surface, un déplacement supplémentaire des hydrocarbures égale à celui des courants sera ajouté au mouvement induit par le vent.

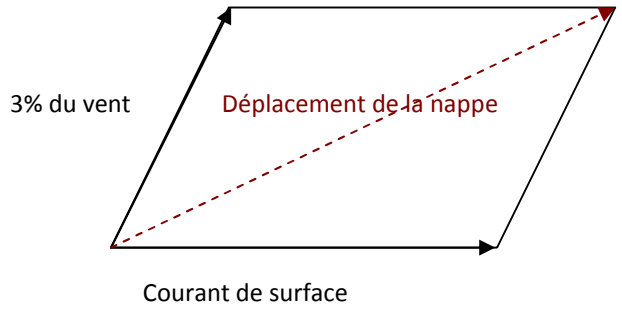

Figure 15: Schéma montrant le déplacement des nappes d'hydrocarbures (Voirin, 1987).

La biodégradation: La biodégradation des hydrocarbures par les bactéries marines, les champignons et les levures, contribue de manière significative à la transformation de ceux-ci en produits oxydés. Le taux de dégradation est dépendant de la température, de la disponibilité d'oxygène et d'agents nutritifs et du type d'hydrocarbures. Étant donné que les bactéries sont actives à l'intérieur de l'interface eau/hydrocarbures, le taux de dégradation est augmenté par des couches de faible épaisseur ou par la formation de gouttelettes d'hydrocarbures dispersées ayant une surface totale importante. Sous des conditions optimales dans la région méditerranéenne, les bactéries peuvent oxyder jusqu'à 1g d'hydrocarbures / m^2 / jour (Voirin, 1987).

2.2.5. Impact de la pollution par les hydrocarbures

Un déversement d'hydrocarbures entraîne une pollution avec des conséquences d'ordre physique et biologique qui peuvent avoir des répercussions sur l'homme.

Conséquences d'ordre physique: Un film d'hydrocarbures étalé à la surface de l'eau s'oppose aux échanges air/mer nécessaires aux cycles biologiques marins. Ainsi, il diminue le renouvellement d'oxygène ; s'oppose au passage du rayonnement solaire freinant la synthèse chlorophyllienne ; entraîne une élévation de température et favorise la prolifération de micro-organismes consommateurs d'oxygène.

Conséquences d'ordre biologique: Les effets des hydrocarbures sur la biocénose sont variés et complexes. Leurs impacts sont représentés dans le tableau 6.

Tableau. 6: Effets des hydrocarbures sur certains peuplements marins (Voirin, 1987).

Peuplement	Sensibilité	Effets à court terme	Effets à long terme
Algues	Faible	Engluage ou brûlure des tissus si contact direct avec le produit	Bonne restauration en général
Flore des marais (marins ou marnage)	Variable suivant état de développement et périodes de l'année	Engluage des parties aériennes entraînant asphyxie. Impact dû à la circulation des matériels et personnels de lutte dans les marais	Restauration relativement courte (2 à 3 ans) si renouvellement d'eau et apport de matériaux support. Restauration très lente si rien n'est fait pour la favoriser
Mollusques des zones de marnage	Forte en général	Asphyxie et empoisonnement	Accumulation par les organismes filtreurs. Un pourcentage d'hydrocarbures résiduel même faible dans les sédiments rend les organismes commercialisables impropres à la consommation. Possibilité d'épuration en eau propre dépend du temps de contact avec le polluant. Baisse de reproduction
Faune fixée sur les rochers	Forte en général	Asphyxie et empoisonnement	Dépend de la durée de contact avec le polluant. Dans les zones battues, sensibilité moins élevée car renouvellement d'eau et nettoyage plus rapide
Poissons	Faible pour adultes, forte pour les larves et juvéniles	Par contact direct avec des hydrocarbures ; asphyxie par engluage et effet tensioactif sur les branchies, quittent rapidement les zones polluées	Plaies chez les poissons fouisseurs dans des sédiments pollués, même faiblement (ex. : Poissons plats)
Oiseaux	Variable (forte pour les plongeurs)	Engluage du plumage, empoisonnement par ingestion, destruction des nids et œufs par contact	Désaffection des zones polluées.

Conséquences pour l'homme: En dehors de l'intoxication directe par inhalation ou ingestion massive de produits pétroliers, la consommation de certains animaux marins (poissons, crustacés, coquillages) qui ont été au contact avec des hydrocarbures peut être dangereuse pour l'homme par effet de sommation (Voirin, 1987). Mais c'est surtout de façon indirecte, par ces incidences économiques et écologiques, que les effets nuisibles d'une pollution sont ressentis.

2.2.6. Lutte et réglementation Algérienne

L'objectif principal en ce qui concerne les pollutions par les hydrocarbures est clair, la première préoccupation doit être de prendre toutes les mesures de prévention susceptibles de diminuer la fréquence et la gravité des rejets opérationnels, d'une part, et des déversements accidentels d'autre part.
En l'état des connaissances et des moyens actuels, une mise en œuvre et le développement d'un système rigoureux de prévention, de détection, de surveillance, de contrôle et de lutte est impérative et ce notamment à travers des moyens préventifs et réglementaires, des moyens de contrôles et des moyens techniques de la lutte proprement dite.

L'Algérie a adopté un décret exécutif n° 94-279 du 17 septembre 1994 portant organisation de la lutte contre les pollutions marines et institutions de plans d'urgence qui reposent sur 3 niveaux :

- Un Plan National d'Urgence (P.N.U) dénommé Plan Tel Bahr National.
- Des Plans Régionaux d'Urgence (P.R.U) dénommés Plans Tel Bahr Régionaux au niveau des 3 façades maritimes, Oran, Alger et Jijel.
- Des Plans Locaux d'Urgence (P.L.U) dénommés Plans Tel Bahr de Wilayas dans les 14 wilayas côtières.

Le Comité Tel Bahr National a mené diverses activités dont une séance de travail avec les responsables du REMPEC (Centre de réaction en urgence à la pollution marine régionale pour la mer méditerranée) sur les activités Tel Bahr et l'assistance que pourrait apporter ce centre. Selon Laouira (2002), durant l'année 2002, il y a eu élaboration, par le Comité Tel Bahr National en collaboration avec le REMPEC, d'un projet de Plan d'Urgence National qui servira de référence pour la préparation des plans d'intervention régionaux et de wilayas.

Le décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 (J.O.R.A. n° 26 du 23 avril 2006), réglementant les rejets d'effluents liquides industriels, fixe la valeur limite maximale des hydrocarbures rejetés des installations de déversements industriels à 10 mg/l pour les nouvelles installations et à une valeur limite tolérée de 15 mg/l pour les anciennes installations.

Pour les installations de raffinage du pétrole les normes sont différentes car spécifiques, la valeur limite est de 5 mg/l pour les nouvelles installations alors que pour les anciennes installations la valeur limite tolérée est de 10 mg/l.

L'élimination des hydrocarbures de la surface de la mer où ils ont été répandus nécessite des techniques d'intervention qui varient selon la nature et les conditions du sinistre dont (Fig. 16):

- des barrages flottants: pour confiner, collecter et diriger les nappes d'hydrocarbures.
- des écrémeurs: pour récupérer les hydrocarbures sous formes d'émulsion hydrocarbures/eau.
- des dispersants: agents chimiques réduisant la tension superficielle des hydrocarbures, ils fragmentent la nappe en gouttelettes et favorisent leur biodégradation.
- des absorbants flottants : utilisés pour fixer et agglomérer le polluant.
- combustion etc.

Figure 16: Photographies d'un exercice de simulation de lutte contre une pollution marine au large des côtes de Skikda exécuté en mai 2011 par le comité Tel-Bahr.

2.3. Polluants métalliques: Les métaux lourds

2.3.1. Origines

Les principales origines naturelles et/ou anthropiques des apports métalliques sont telluriques, atmosphériques, marines et fluviales. Deux phénomènes climatiques caractéristiques de la Méditerranée induisent également des apports de métaux non négligeables: le lessivage des sols lors des phénomènes pluvieux importants et les apports par les poussières sahariennes (Guerzoni *et al.*, 1997).

Dans les milieux aquatiques certains de ces éléments tel que le Pb, le Hg et le Cd entraînent des nuisances même s'ils sont rejetés en quantités très faibles, à cause de l'existence du phénomène de bioaccumulation, processus d'assimilation et de concentration des métaux lourds dans les organismes. Celui-ci se déroulant en 3 temps:

- l'assimilation (voie externe: adsorption; voie interne: absorption),
- la bioaccumulation par l'individu,
- la bioaccumulation entre individus (chaîne trophique).

Les organismes marins sont capables de concentrer plusieurs centaines des métaux pris dans la phase soluble ou particulaires ainsi que dans le sédiment. Il apparaît fondamental de mettre en évidence l'origine et le devenir de ces métaux si l'on veut comprendre l'impact qu'ils peuvent avoir sur les organismes vivants.

2.3.1.1. Cadmium (Cd)

Le Cd provient essentiellement des activités industrielles pétrochimiques ou métallurgiques. La galvanoplastie est, par exemple, à l'origine d'apport non négligeable de Cd dans l'eau. En outre, certains accumulateurs contiennent du Cd.

Mondialement, environ 17000 t/an de Cd sont rejetées dans le milieu (Chiffoleau *et al.*, 1999) dont 83 t/an en Méditerranée occidentale. Ce métal, en concentrations très faibles naturellement, est à 99,1 % et à 99,4 % d'origine anthropiques, respectivement dans les aérosols et les pluies (Migon et Caccia, 1990; Migon et Caccia, 1993).

2.3.1.2. Fer (Fe)

A l'état libre, le fer métallique se trouve dans les météorites, en général allié au nickel. Le métal est largement présent dans certains composés chimiques. Proche de l'aluminium par ses propriétés, c'est le plus abondant des métaux. De petites quantités de fer sont présentes sous forme combinée dans les eaux naturelles, les plantes et le sang.

En plus des industries minière et chimique, l'origine du fer soluble dans les eaux peut être le lessivage des terres par les pluies et les rivières qui drainent une fraction de ce métal vers la mer, quand celui-ci ne s'infiltre pas dans le sol pour s'accumuler dans les eaux souterraines, contaminant à l'occasion les nappes phréatiques.

2.3.1.3. Mercure (Hg)

Le mercure est présent dans les rejets de certaines activités industrielles: raffinerie, cimenterie, sidérurgie, traitement des phosphates, raffinage du mercure, combustion des hydrocarbures fossiles et du charbon, industries de la pâte à papier, etc. Il entre dans la fabrication d'appareillages électriques, d'instruments de contrôle, de peintures marines et de certains fongicides. Selon Bourdiale (1988), suivant les conditions physico-chimiques du milieu, le mercure minéral, qui arrive dans l'écosystème marin, est convertit par les bactéries benthiques en différents composés mercuriels dont le méthyle-mercure (le plus dangereux) qui peut très bien s'accumuler le long des chaînes alimentaires.

2.3.1.4. Nickel (Ni)

Il entre dans la composition de nombreux alliages et dans la fabrication d'éléments de batteries. Son emploi comme catalyseur dans l'industrie chimique est important. Dans les pollutions d'origine industrielle, on le retrouve généralement associé aux cyanures, au mercure, à l'arsenic ou encore au chrome.

2.3.1.5. Plomb (Pb)

Ce métal est très répandu et très utilisé dans l'industrie; les possibilités de pollution sont extrêmement nombreuses et variées. Les activités humaines entraînant la formation d'aérosols plombifères constituent, actuellement, la principale source de Pb dans l'eau. D'autres origines persistent, notamment dues aux différentes activités industrielles utilisant

le Pb comme matière première ou comme adjuvant, ce qui amène à un déversement annuel de 3800 tonnes de plomb uniquement dans les zones côtières méditerranéennes (Danovaro, 2003).

2.3.1.6. Zinc (Zn)

Il est employé dans de nombreux alliages, pour la galvanisation des pièces métalliques, dans la fabrication de pigments de teinture, de vernis, comme raticide et dans la fabrication de produits phytosanitaires. Dans l'eau, la solubilité des chlorure et sulfate de zinc est importante, leur hydrolyse conduit à une diminution de pH. En présence d'excès d'hydrogénocarbonate, la solubilité du zinc est contrôlée par la solubilité du carbonate qui est relativement soluble et de l'hydroxyde qui l'est peu. Le zinc retrouvé dans les eaux de distribution à des teneurs pouvant dépasser 1 mg/l provient des canalisations de laiton ou de fer galvanisé, attaquées par les eaux agressives ou riches en chlorures et sulfates.

2.3.1.7. Chrome (Cr)

Sa présence est liée aux rejets des ateliers de galvanoplastie. Le Cr est utilisé dans le traitement de surface des métaux. Il est nocif à l'état hexavalent, mais il est rapidement transformé en forme trivalente moins dangereuse dans le milieu marin.

2.3.1.8. Cuivre (Cu)

L’augmentation des concentrations de cuivre dans les écosystèmes marins est principalement due à son utilisation intensive dans les peintures antifouling (Claisse et Alzieu, 1993). L’impact anthropique est tel que 79,9 % et 98,9 % du Cu contenu respectivement dans les aérosols et dans les pluies sont d’origine anthropique (Migon et Caccia, 1990; Migon et Caccia, 1993). Environ 1192 tonnes de Cu sont déversées chaque année dans la Méditerranée occidentale (UNEP, 2003).

2.3.1.9. Manganèse (Mn)

Il est utilisé comme dépolarisant dans les batteries à pile sèche, ainsi que dans la préparation du chlore, de l'iode et des huiles pour peintures et vernis. Ce qui fait de l’industrie une source potentielle pour cet élément, en plus de sa source naturelle.

2.3.2. Devenir

La pollution des eaux marines est pour sa part essentiellement localisée dans la zone côtière où s'écoulent fleuves, déversements d'usines et égouts. Les micropolluants minéraux ne s'accumulant pas dans l'eau réceptrice elle-même, sont assez rapidement transférés dans les sédiments où ils sont en partie métabolisés par les organismes vivants et mis en circulation dans les chaînes alimentaires où leur toxicité s'épanouit. L'irréversibilité de cette pollution est particulièrement préoccupante du fait qu'il est pratiquement impossible de récupérer aisément ces métaux, une fois dissipés dans la nature ; leur rémanence est la cause même d'une accumulation difficilement contrôlable.

Les micro-organismes aquatiques introduisent ses micropolluants dans la biosphère, ils sont les premiers maillons des chaînes alimentaires le long desquelles les polluants rémanents vont s'accumuler dans les tissus des mangeurs successifs et ce par bioaccumulation, cette dernière est un processus d'assimilation et de concentration des métaux lourds dans l'organisme. Le processus se déroule en 3 temps:

L'assimilation: Il existe 2 voies principales d'exposition aux polluants: la voie externe (par contact) qui provoque un phénomène d'adsorption et la voie interne par assimilation ou absorption. Toute absorption n'est pas nécessairement dangereuse. D'une part, tout dépend des concentrations du polluant. D'autre part, il ne faut s'intéresser qu'à la fraction soluble du métal; la fraction insoluble étant éliminée par différentes voies: solide (fèces), liquide (urine) et cutanée (sueur).

La partie soluble bio-disponible et assimilable, se rencontre dans certains organes (organotropisme), cette réceptivité est due soit à une fonction particulière (foie; principal siège de la métabolisation, reins; siège de l'excrétion) soit à la composition physico-chimique de l'organe, favorisant le stockage du contaminant (Calcium / plomb dans les os) ou permettant les accumulations.

Il existe également des différences selon les métaux; le cadmium se concentre presque exclusivement dans le tube digestif, le foie et les reins. Le plomb diffuse dans la peau, les muscles et la colonne vertébrale alors que le mercure, dans sa forme organique, diffuse dans le système nerveux et le fœtus.

La bioconcentration : Tous les métaux lourds en général sont concernés par la bioconcentration (bioaccumulation par l'individu), mais plus particulièrement le mercure, lorsqu'il est présent sous forme organique (méthyle-mercure). Ce processus d'accumulation s'exprime par un ratio entre la concentration du composé étudié dans le milieu et la concentration dans l'organisme et ce ratio est dit Facteur de Bio-Concentration; (BCF).

Selon les espèces et les métaux, il existe d'importantes différences. En effet, il semblerait que les fruits de mer, mollusques et crustacés, et dans une moindre mesure, certains poissons sont d'excellents capteurs de polluants tandis que dans les plantes le BCF est assez variable.

La bioamplification: Les transferts trophiques de métaux (bioaccumulation entre individus) suivent un processus classique. Le polluant, présent dans les algues et micro-organismes est ingéré par un herbivore, lui-même proie d'un carnivore, lui-même proie d'un super-carnivore, animal ou homme. En bout de chaîne alimentaire, le consommateur final aura bio-accumulé les formes solubles des métaux.

Selon les prédateurs et les métaux, les concentrations peuvent augmenter au fur et à mesure que l'on progresse dans la chaîne trophique, comme c'est le cas pour le plomb et surtout le mercure sous sa forme méthylée. Ce dernier s'accumulant à chaque étape, se retrouve ainsi concentré en bout de chaîne alimentaire selon le phénomène de bioamplification.

2.3.3. Toxicité et impact

La toxicité des métaux lourds est très variable et est fonction du niveau trophique, du BCF de chaque espèce, du phénomène de bioamplification ainsi que de la forme même sous laquelle le micropolluant est ingéré.

Les intoxications les plus importantes et les plus graves, notamment par le mercure, ont souvent été liées à la consommation de poissons. En effet, le mercure est extrêmement toxique sous forme de vapeur et sous la forme de ses sels solubles dans l'eau, qui rongent

les membranes cellulaires. Lorsque de faibles quantités du métal ou de ses sels solubles dans les graisses (tel le méthyle-mercure) sont ingérées de façon répétitive sur de longues périodes, un empoisonnement chronique au mercure se produit chez l'homme. Cette intoxication provoque des dommages spectaculaires et quasi irréversibles dans le cerveau, le foie et les reins.

Le plomb, introduit dans l'organisme sous quelque forme que ce soit, est très toxique. Après une période d'accumulation, l'empoisonnement chez l'homme par exemple se manifeste par l'anémie, la faiblesse, la constipation, la colique et la paralysie, poignets et chevilles en particulier. Les enfants sont particulièrement exposés à l'empoisonnement. En effet, même pour des concentrations minimes, le plomb peut retarder le développement moteur, altérer la mémoire et provoquer des problèmes d'audition et des troubles de l'équilibre. Chez les adultes, il peut provoquer une augmentation de la pression artérielle.

Les fruits de mer, d'une part, sont d'excellents capteurs des polluants métalliques et d'autre part la concentration se fixe sur les organes d'assimilation (équivalents foie et reins), qui sont précisément ce que l'homme mange. Ils accumulent surtout le cadmium et dans une moindre mesure le plomb, mais peu le mercure.

Chez les poissons, le cadmium se concentre non seulement dans le foie et les reins mais aussi dans la chair. L'homme n'éliminant pratiquement pas ce métal une fois ingéré, l'accumulation peut entraîner des réactions plusieurs années après une intoxication. Selon Bourdial (1988), la maladie généralisée qui en résulte, connue sous le nom d'Itaî-Itaî, engendre des troubles osseux. Le chrome, par contre, est un métal qui n'est pas toxique en lui-même pour l'homme. Cependant, ses sels hexavalents et trivalents, notamment l'acide chromique le sont. En effet, le chrome trivalent qui à la base a peu d'effet sur l'appareil digestif, absorbé de façon régulière est accumulé dans les tissus et à terme cela représente un certain danger. Le chrome hexavalent quant à lui, provoque une forte irritation du tube gastro-intestinal.

2.3.4. Normes de qualité internationales et recommandations Algériennes

La prise en compte de la pollution métallique dans le sédiment superficiel d'un point de vue réglementaire étant absente, nous nous sommes référé aux normes Hollandaises (Donze, 1990, et Davis *et al*., 1990) et aux recommandations Algériennes (Tab.7) des services de l'environnement concernant les immersions des déblais de dragage provenant

des enceintes portuaires – 9 novembre 1991 – Ministère Délégué à la Recherche, à la Technologie et à l'Environnement).

Tableau 7: Normes Hollandaises et recommandations Algériennes pour l'évaluation des polluants métalliques dans les sédiments.

	Normes Hollandaises				**Normes Algériennes**
	Référence	**Test**		**Alarme**	
Classe	**>>1 <<**	**>> 2 <<**	**>> 3 <<**	**>> 4 <<**	
Paramètres	**Limite A**	**Limite B**		**Limite C**	
Cd	0.8	7.5		30	3
Cr	100	480		1000	250
Cu	36	90		400	150
Hg	0.3	1.6		15	1.5
Pb	85	530		1000	250
Zn	140	1000		2500	500
Ni	-	-		-	75

Les valeurs de référence A, B et C sont utilisées par les autorités hollandaises par rapport au taux de pollution du sédiment.

- Un sédiment dont la teneur en polluant ne dépasse pas la limite A, appartiendra à la classe 1 (sédiment naturel non pollué).
- Dans l'intervalle A-B (classe 2), le sédiment est pollué.
- Dans l'intervalle B-C (classe 3), le sédiment est très pollué.
- Dans le cas où les teneurs en polluants excéderaient la limite C (classe 4), le sédiment est fortement pollué.

CHAPITRE II :
MATERIEL ET METHODES

Dans cette partie nous décrivons la zone d'étude ainsi que les sites et techniques d'échantillonnage et détaillons les différents protocoles analytiques utilisés.

1. Présentation de la zone d'étude

La zone littorale retenue dans notre étude est Skikda avec ses 3 communes: Filfila, Skikda et Ain Zouît.

1.1. Localisation

La zone d'étude (Fig. 17) correspond principalement à:

- Un point de référence non pollué dont la station de prélèvement est St.1 (Skikda).
- Seize plages dont les stations de prélèvement respectives d'Est en Ouest sont: St.2, St.3, St.4, St.5, St.6, St.7, St.8, St.9, St.10, St.11, St.19, St.20, St.22, St.23, St.24 et St.25 situées dans les eaux littorales des communes de Filfila, Skikda, et de Aîn Zouît;
- Trois ports dont 2 de commerce avec les stations de prélèvements respectives d'Est en Ouest: St.15 et St.18 et le troisième port de pêche dont la station de prélèvement est St.21 dans la commune de Skikda;
- Une zone industrielle à 4 km du chef lieu de la commune de Skikda (RA1/K: St.12, CP1/K: St.13 et GL1/K: St.14);
- L'embouchure de l'Oued Safsaf dont la station de prélèvement est St.16 à Skikda;
- Un 2ème point de référence considéré comme chaud St.17 à Skikda;

Vu le grand trait de côte des plages de Ben M'hidi et de Filfila elles ont été subdivisées en postes (Ex. P1, P2,etc).

1.1.1. Commune de Filfila

Dans la commune de Filfila, la partie du littorale concernée est représentée par 4 plages (Poste 8, P7, P6, P entre 5 et 6) faisant partie de la zone côtière Est de la wilaya de Skikda. Pour ces plages, les sources potentielles de pollutions en amont sont; Oued Righa et le rejet urbain situés notamment au niveau du P8, en plus des baigneurs en saison estivale.

1.1.2. Commune d'Aîn Zouit

Dans cette commune, nous avons pris en considération une plage appelée la Grande Plage qui comporte 2 rejets urbains déversant en mer, l'un représenté par le rejet final du camp de toile et l'autre par le rejet final provenant des logements agricoles.

1.1.3. Commune de Skikda

Les plus importantes sources de pollutions pour la wilaya de Skikda sont localisées dans la commune de Skikda du fait de la concentration simultanée de l'urbanisation et de l'industrie.

- **Chef lieu de Skikda:** la zone d'étude concernée au chef lieu de Skikda comprend diverses unités et complexes formant ainsi la zone industrielle de Skikda (RA1/K, CP1/K, GL1/K dont les stations de prélèvement respectives sont St.12, St.13 et St.14), les 2 ports commerciaux mixte et hydrocarbures et le port de pêche de Stora, l'Oued Safsaf, 4 plages (Marquette, Militaire, Mollo et Miramare), en plus du point chaud et du point de référence.
- **Ben M'hidi:** Cette zone comporte 6 postes de la plage Ben M'hidi (P5, P4, P3, P2, P1 et P1 du camp de toile), ce secteur se situe dans la zone côtière Centre, il est soumis à un important flux de vacanciers en saison estivale, ce qui constitue l'une des sources ponctuelle de pollution, notamment bactérienne, cependant, 2 rejets urbains, l'un au niveau du P4 et l'autre à l'Ouest du P1 constituent en amont, une source de pollution potentielle et permanente (Fig.17).

1.1.3.1. Zone industrielle

Située à l'Est de la ville de Skikda à environ 4km, la zone industrielle s'étend sur une superficie d'environ 1200 ha. Elle est bordée au Nord par la mer méditerranée, à l'Est par Ben M'hidi et au Sud par la vallée de l'Oued Safsaf et de la commune de Hamrouche Hamoudi. Dotée d'un réseau de drainage juxtaposant l'ensemble des sites de production, la plate-forme industrielle de Skikda rejette ses eaux de surface, apports extérieurs, divers effluents des unités industrielles principalement dans 4 points:

- Rejet (canal 10) à travers 2 vannes à l'Oued Safsaf à raison de 2 m^3/s;
- Rejet du canal «Marhoun» sur l'Oued Safsaf avec un débit de 4 m^3/s;
- Rejet à travers un canal aménagé sur l'Oued Safsaf des eaux du GL1/K (2m^3/s);
- Rejet sur mer à travers un canal aménagé des effluents du GL1/K à raison de 2 m^3/s.

Pour les unités situées au nord de la vallée centrale, le rejet des eaux se fait vers la mer à raison de 3m^3/s.

Figure 17: Situation des stations de prélèvements des échantillons d'eaux et de sédiments (Google earth modifiée).

1.1.3.2. Infrastructure portuaire

Les ports de la commune de Skikda sont représentés essentiellement par ;

- le «Port Mixte» (ancien port) qui assure le transit des passagers, des marchandises et des hydrocarbures ;
- le « Nouveau Port», orienté principalement vers le trafic hydrocarbures liquides, gazeux et aromatiques.
- Le port de pêche situé à Stora, soumis à diverses sources de pollutions dont 2 importants rejets urbains au sein même du port en plus des eaux de lavage et parfois de ballastes des chalutiers et sardiniers.

1.1.3.3. Oued Safsaf

Prenant sa source dans le sud de la commune d'El Harrouch, l'Oued Safsaf rejoint la méditerranée au lieu dit l'îlot sur une distance d'environ 60 km, son bassin versant est de l'ordre de 1165 km^2 et son écoulement annuel moyen est de 1500 hm^3.

En plus du drainage des eaux usées domestiques des agglomérations d'El Harrouch, Ramdane Djamel, Salah Bouchaour, Beni Bechir et quelques rejets de la commune de Skikda par le biais de l'Oued Zeramna qui déverse dans l'Oued Safsaf, l'Oued Safsaf est soumis à plusieurs sources de pollutions telles que la raffinerie, la centrale thermique, l'ENAMARBRE et le GL1/K (Fig.18).

1.1.3.4. Les plages

Dans la commune de Skikda, les plages prises en compte dans le cadre de notre étude font partie de la zone côtière centre et qui sont :

Plages	Position géographique
Marquette:	6º 53´90´´E et 36º 53´90´´N
Militaire:	6º 52´04´´E et 36º 53´93´´N
Miramare:	6º 53´63´´E et 36º54´24´´N
Mollo:	6º 52´34´´E et 36º 54´94´´N

Les sources potentielles de pollutions en plus de celles provoquées par les baigneurs en saison estivale en amont sont les eaux usées urbaines rejetées directement sans traitements dans les eaux de la plage Marquette et celles drainées par l'Oued Griva lors des crues vers la plage Militaire.

La plage Miramare est située à quelques kilomètres à l'Ouest de Mollo qui elle-même est située à l'Ouest du port de pêche. Ces plages sont très fréquentées en saison estivale ce qui constitue une source éventuelle de pollution.

1.1.3.5. Point chaud

Ce point est situé entre 36° 54' 00'' N et 6° 55' 00'' E et supposé être exposé à diverses sources de pollutions urbaines et industrielles du fait de sa localisation centralisée par rapport à divers rejets ; au Sud-Est de ce point il y a la zone industrielle, le Nouveau Port et l'Oued Safsaf et au Sud-Ouest il y a le port mixte et le port de pêche (Fig.17).

1.1.3.6. Point de référence

Cette station se trouve entre 37° 00' 00'' N et 07° 00' 00'' E au large et supposé n'être exposé à aucune source de pollutions du fait de sa localisation éloignée par rapport à divers rejets seule une pollution accidentelle occasionnée par le trafic maritime pourrait l'affecter (Fig.17).

1.2. Descriptif des infrastructures

Les diverses infrastructures prises en compte par notre étude se situent principalement dans la commune de Skikda.

1.2.1. Infrastructures industrielles

Caractérisée par une prédominance pétrochimique, la zone industrielle regroupe un ensemble de complexes et d'unités (Fig. 18) dont la gestion est assurée par l'Entreprise de Gestion de la Zone Industrielle (EGZIK).

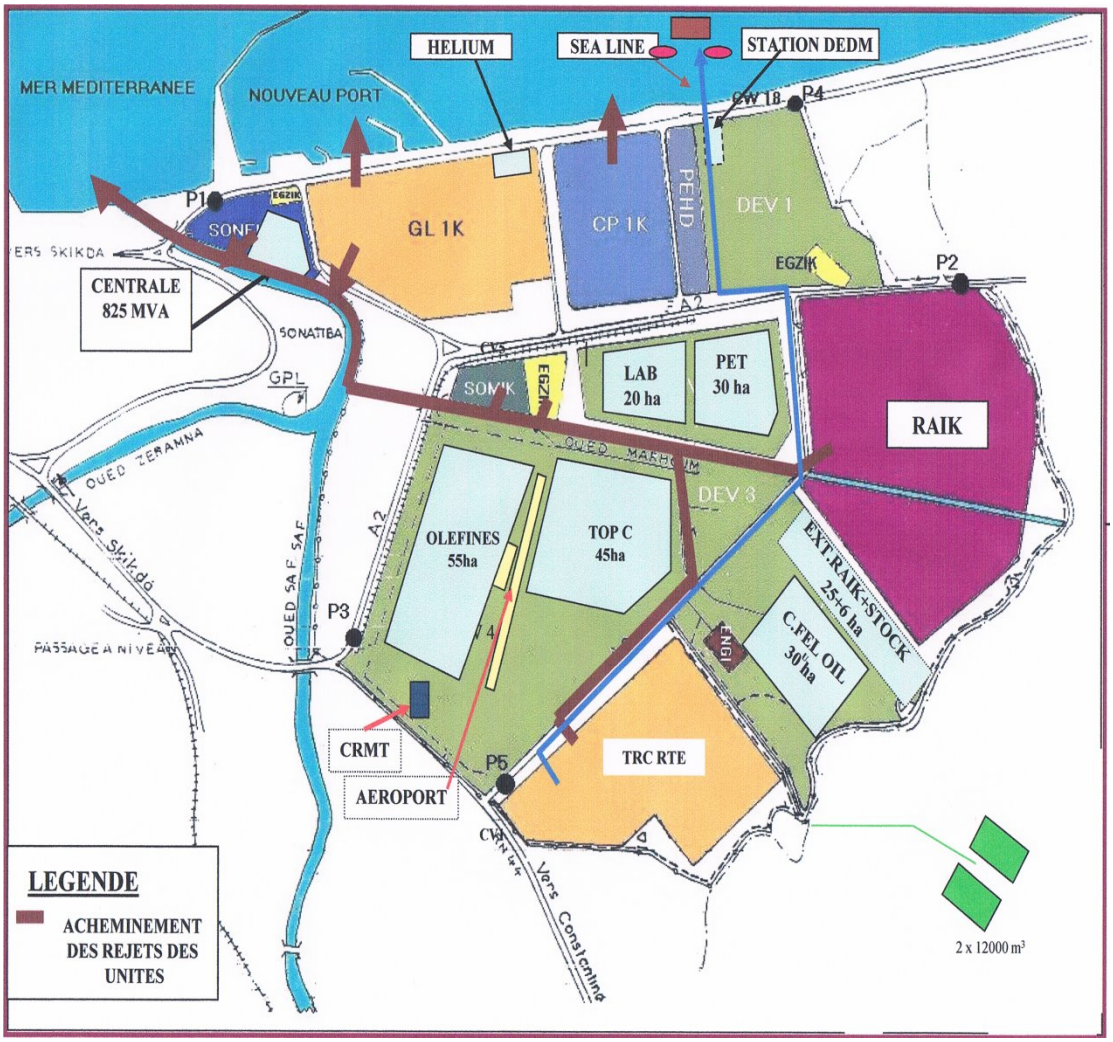

Figure 18: Plan de masse de la zone industrielle de Skikda.

1.2.1.1. Centrale Thermique Electrique (CTE)

S'étendant sur une superficie de 9,8 ha, cette centrale est située à 2 km à l'Est de la ville de Skikda, elle dispose d'une seule unité de production qui utilise le gaz naturel comme combustible à raison de 5.10^8 nm/an et l'eau de mer déminéralisée pour l'alimentation des chaudières (Tab. 8 et Fig. 19).

Tableau 8: Descriptif de la pollution générée par la CTE de Skikda.

Pollutions générées	Etat et mode de traitement et élimination	Milieu récepteur des effluents
Hydrique : polluants bactériologiques, organiques et biologiques	Station de traitement non fonctionnelle	Indirectement en mer par le biais de l'oued Safsaf.
Thermique : Forte température (35 °C) Avec débit 57000m³/j	Absence de système de dépollution	
Atmosphérique: Gaz de combustion gazeux impure		L'air

Figure 19 : Photographie montrant 2 points de rejet de la CTE de Skikda (cercles rouges) dans les eaux de l'oued Safsaf.

1.2.1.2. Complexe de Liquéfaction du Gaz (GL1/K)

Situé au Sud de la mer méditerranée, sur la plate-forme pétrochimique, le GL1/K est à 2,5 km de la ville de Skikda sur la rive Est de l'Oued Safsaf jusqu'à son embouchure sur la mer (Fig. 20).

A partir du gaz naturel acheminé de Hassi Rmel (Sud Algérien) par pipe, le GL1/K produit essentiellement du gaz liquéfié destiné à l'exportation et à l'extraction des hydrocarbures lourds auquel s'ajoutent; l'éthane, le propane, le butane et le naphta. Le tableau 9 montre l'envergure de la pollution générée par ce complexe.

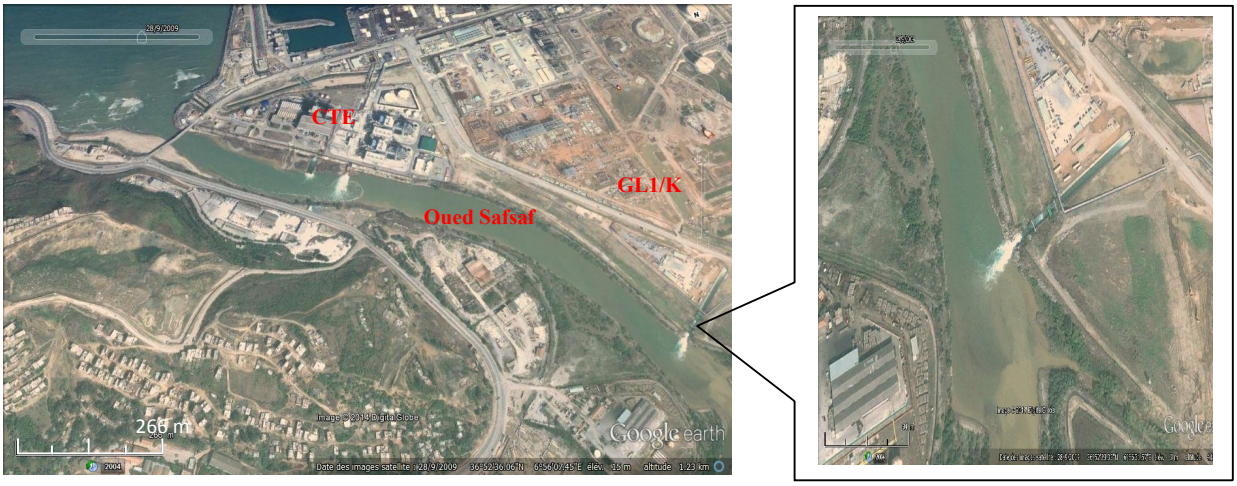

Figure 20: Photographie satellitaire du point de rejet du complexe GL1/K (Skikda) autour de l'embouchure de l'oued Safsaf (Google earth, 2014 modifié).

Tableau 9: Descriptif de la pollution générée par le complexe GL1/K.

Pollution générée	Etat et mode de traitement et élimination	Milieu récepteur Des effluents	Impact	Observation
Hydrique : effluents chargés d'hydrocarbures, de phénols de produits hautement toxiques	station de traitement non fonctionnelle	Mer	Pollution marine	Un incident s'est produit au sein de ce complexe en 2004 **plusieurs de ces unités étaient à l'arrêt jusqu'à février 2014**
Thermique : forte température			Pollution thermique permanente	
Atmosphérique: Gaz brûlés (pentanes, heptanes, octanes)	Absence de système de dépollution	Air	Pollution atmosphérique	

1.2.1.3. Complexe Pétrochimique (CP1/K)

A 5 km à l'Est de Skikda, le Complexe CP1/K s'étend sur 54 ha (Fig. 21). Le complexe est bordé à l'est par Polymede, à l'ouest par le GL1/K, au nord par la mer méditerranée et au sud par la zone de développement de la pétrochimie. Les types de pollutions générées par ce complexe sont résumés au niveau du tableau 10.

Figure 21: Photographie satellitaire montrant une vue générale du complexe CP1/K. La loupe représente son principal rejet en mer (Google earth, 2014 modifiée).

Tableau 10: Descriptif de la pollution générée par le complexe CP1/K.

Pollution générée	Etat et mode de traitement et élimination	Milieu récepteur Des effluents	Impact	Observation
Hydrique: effluents chargés de : mercure, H2S, acides et bases, hydrocarbures , huiles, produits chlores	station de traitement non fonctionnelle	Directement en mer	Effets néfastes sur la faune et la flore marine pollution marine.	Le non respect des conditions auxquelles doivent satisfaire les rejets des eaux résiduaires dans le milieu récepteur
Déchets solides: boues de mercure, résidus de VCM, fines particules de PVC, bouillie de PVC, polyéthylène	Stockage au sein de l'unité	Au sein de l'unité	Probabilité de contamination de la nappe phréatique de Safsaf	
Atmosphérique: Vapeur de mercure, Chlore, Ethylène, Poussières de PVC, Emission de CFC	Absence de système de dépollution	L'air	Pollution atmosphérique	

1.2.1.4. Complexe de Raffinage (RA1/K)

Avec une superficie de 190 ha, le complexe RA1/K se situe à l'extrême Est de la zone industrielle. Le complexe RA1/K a comme activités principales; le raffinage du pétrole brut, le traitement du naphta ainsi que du brut réduit. Le tableau 11 illustre la pollution générée par ce complexe.

Tableau 11 : Descriptif de la pollution générée par le complexe RA1/K.

Pollution générée	Etat et mode de traitement et élimination	Milieu récepteur des effluents	Impact
Hydrique: Effluents présentent une teneur en hydrocarbure importante	station de traitement non fonctionnelle	Indirectement en mer par le biais de l'oued Marhoun qui rejoint l'oued Safsaf	Affectent la vie piscicole dépôt de goudron sur les plages contamination des fruits de mer (pollution marine).
Déchets solides: boues d'hydrocarbures	Stockage	Au sein de l'unité	
Atmosphérique: émission de la vapeur d'eau (17%), CO_2 (7.5%), O_2 (3%), N_2 (7.7%), H_2S et les chlorures en traces	Inexistence de système de dépollution	L'air	Pollution atmosphérique

1.2.2. Infrastructures portuaires

Disposant de 5 ports dont 3 sont destinés à la pêche, El Marsa, Stora et Collo, l'Entreprise Portuaire de Skikda a incontestablement un rôle primordial dans les échanges internes et externes du pays, rôle particulièrement déterminant pour l'Est et le Sud-Ouest Algérien. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à 3 ports, le port de pêche de Stora, l'ancien port et le nouveau port (Fig. 22).

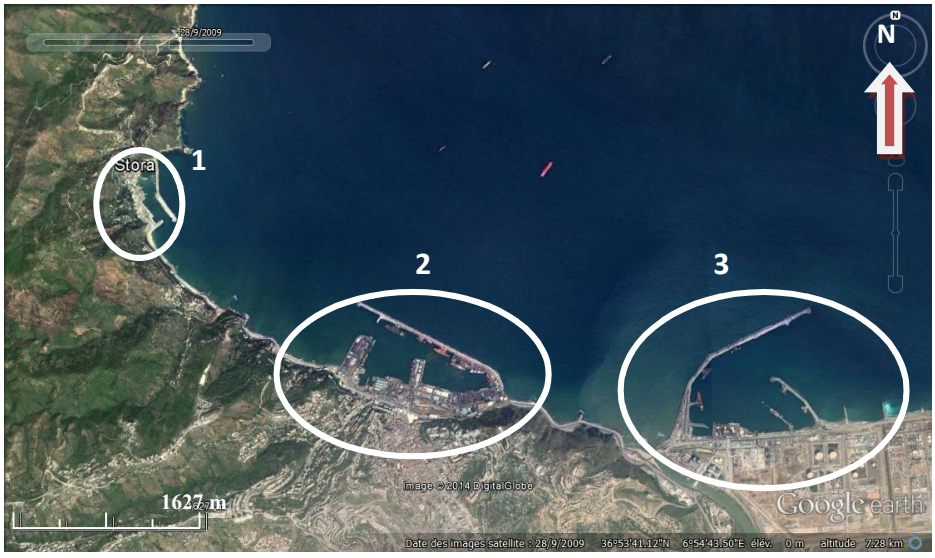

Figure 22: Photographie satellitaire montrant les 3 ports de Skikda.
1. Port de pêche, 2. Ancien port, 3. Nouveau port (Google earth, 2014 modifiée).

1.2.2.1. Port mixte (Ancien port)

Le port mixte, situé au chef lieu de la ville de Skikda entre la longitude Est 6°54'30'' et la latitude Nord 36°53'20'' est doté à l'origine de 7 postes à quais, et il est spécialisé dans le traitement de marchandises diverses. Il a bénéficié de programmes d'aménagements portuaires d'envergure et qui ont permis d'augmenter substantiellement ses capacités d'accueil (Fig. 23).

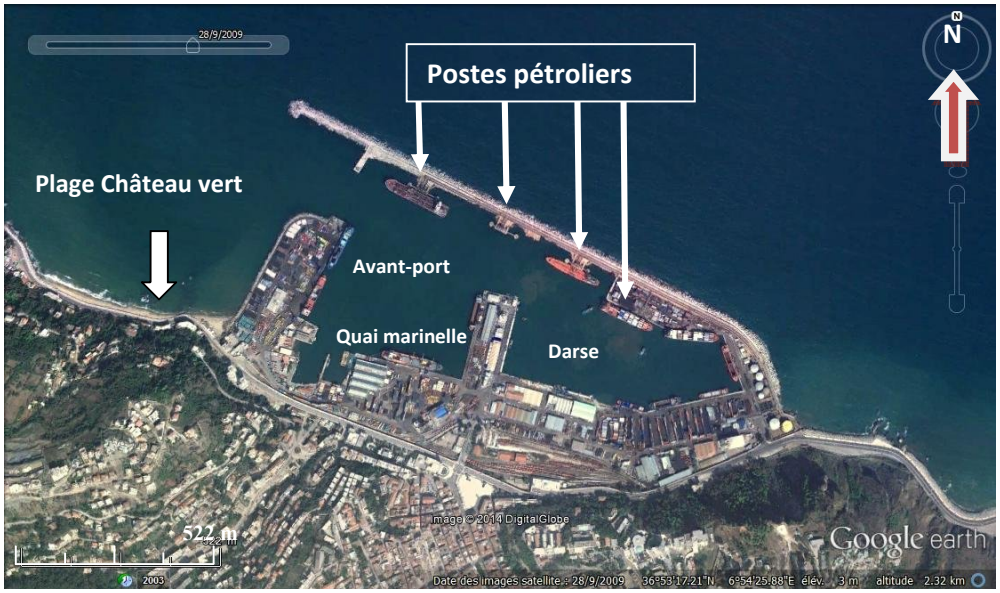

Figure 23: Photographie satellitaire du port mixte (Google earth, 2014, modifiée).

Actuellement ce port cumule 14 postes d'accostage dont 3 postes pétroliers, les détails sont énumérés dans le tableau 12 (Fig. 24).

Tableau 12: Caractéristiques des 12 postes à quai de l'ancien port de Skikda.

Appellation quai	Nombre de postes	Numéro	Longueur (m)	Tirant d'eau (m)
Mole château vert	02	1 2	142 142	9.30 9.60
Marinelle	02	P Est P Ouest	145 145	9.60 9.60
Avant-port	02	3 4	80 160	6.30 9.60
Traverse sud	01	5	166	6.50
Sud	03	6 7 8	125 135 125	6.00 6.00 6.00
Sud-Est	02	9 10	140 130	6.30 6.30
Est	01	11	155	7.00
Nord	01	12 13	155 160	8.50 10.00

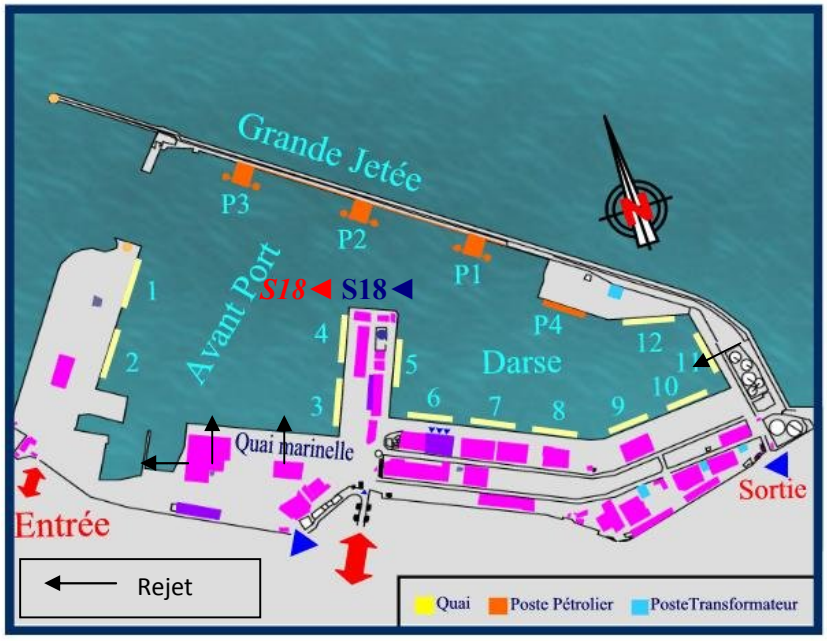

Figure 24: Plan de masse du port mixte de Skikda (l'Ancien port) et sites de prélèvement d'eau (S18◄) et de sédiment (S18◄).

1.2.2.2. Nouveau Port (Terminal pétrolier)

Se trouvant à l'Est de la ville de Skikda et au Nord-Ouest de la plate-forme industrielle, le nouveau port de Skikda se situe entre la longitude Est 6°57'00'' et la latitude Nord 36°55'53'', l'accès maritime se caractérise par une passe d'entrée de 250 m de longueur et -18 m de profondeur. Ce port dispose d'un bassin de 59 ha et d'un cercle d'évitage de 550 m (Fig. 25).

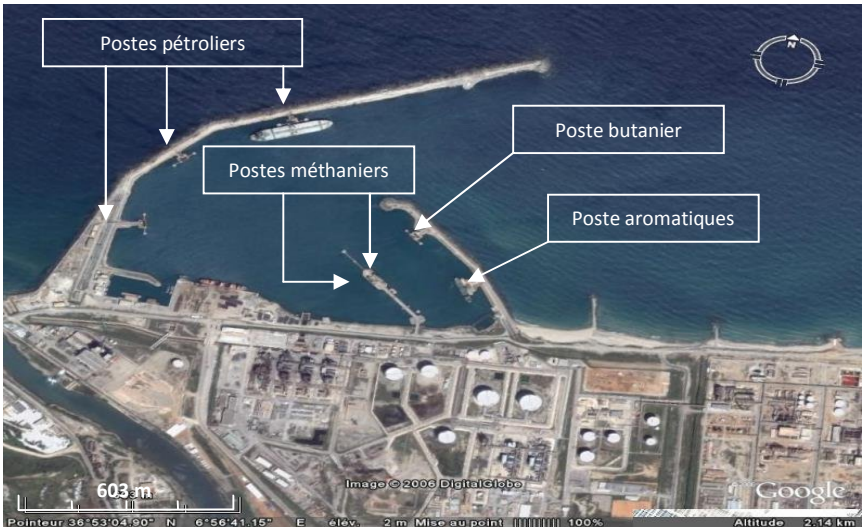

Figure 25: Photographie satellitaire montrant les infrastructures du nouveau port de Skikda (Google earth, 2014 modifiée).

Le nouveau port de Skikda est le 2ème port à hydrocarbures en Algérie, avec un trafic global d'environ 23.10^6 de tonnes, il assure la livraison des produits d'hydrocarbures raffinés, gazeux, les aromatiques et de pétrole brut et dérivés, de la raffinerie de Skikda aux marché national et international.

Le trafic des hydrocarbures transite par 7 postes dont le descriptif est établit dans le tableau 13 et la figure 26.

Tableau 13: Caractéristiques des 7 postes à quai du nouveau port de Skikda.

Appellation quai	Longueur (m)	Tirant d'eau (m)	Produits
P1-NP	230	12.00	Naphta Gas
P2-NP	230	12.00	Naphta Gas
P3-NP	270	14.50	Pétrole brut
P5-NP	180	11.50	Butane propane
A1-NP	140	11.50	Produits aromatiques
M1-NP	220	12.00	Méthane (GNL)
M2-NP	220	12.00	Méthane (GNL)

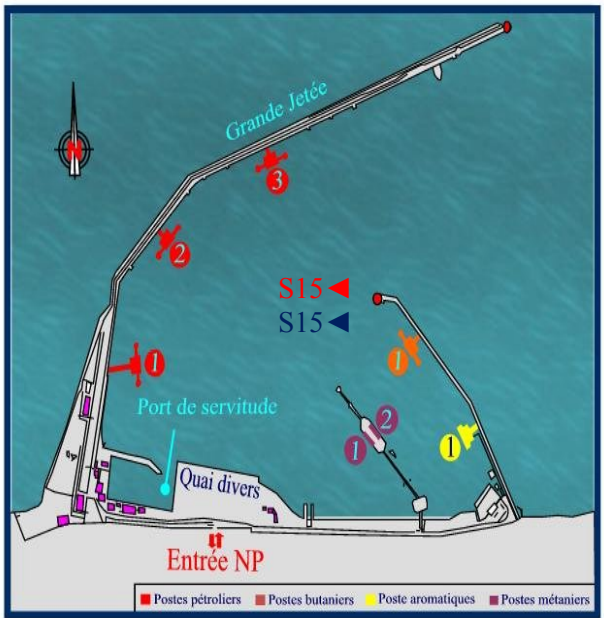

Figure 26: Plan de masse du Nouveau port de Skikda et sites de prélèvement d'eau (S15◄) et de sédiment (S15◄).

1.2.2.3. Le port de Stora (Port de pêche)

Se trouvant au Sud-Ouest de la baie de Skikda et à l'Ouest des 2 ports de commerce, le port de pêche est situé entre la longitude Est 6°34'5'' et la latitude Nord 36°56'3'' (Fig. 27).

Figure 27: Photographie du Port de pêche de Stora et sites de prélèvement d'eau (S21◄) et de sédiment (S21◄).

Un schéma de développement du port de Stora (Fig. 28) a été réalisé par le Laboratoire d'Etudes Maritimes (LEM) afin d'augmenter la flottille de pêche L'aménagement a compris la réalisation de:

- Un prolongement de la jetée principale d'un linéaire de 321 m,
- Une jetée secondaire 120 m linéaire,
- Une cale de halage dans l'ancien bassin,
- Un quai de débarquement avec une profondeur en pied de -5.50 m, d'un linéaire total de 515 m au lieu et place de la jetée secondaire actuelle,
- Un quai de relâche à -5.50 m de 240 m de longueur parallèle et en face de la jetée principale,
- Un autre quai de relâche avec une même profondeur en pieds, de 120 m linéaire adossé, du coté intérieur de la jetée.

La surface totale des terre-pleins est de 22800 m² et celle du plan d'eau de 35150 m².

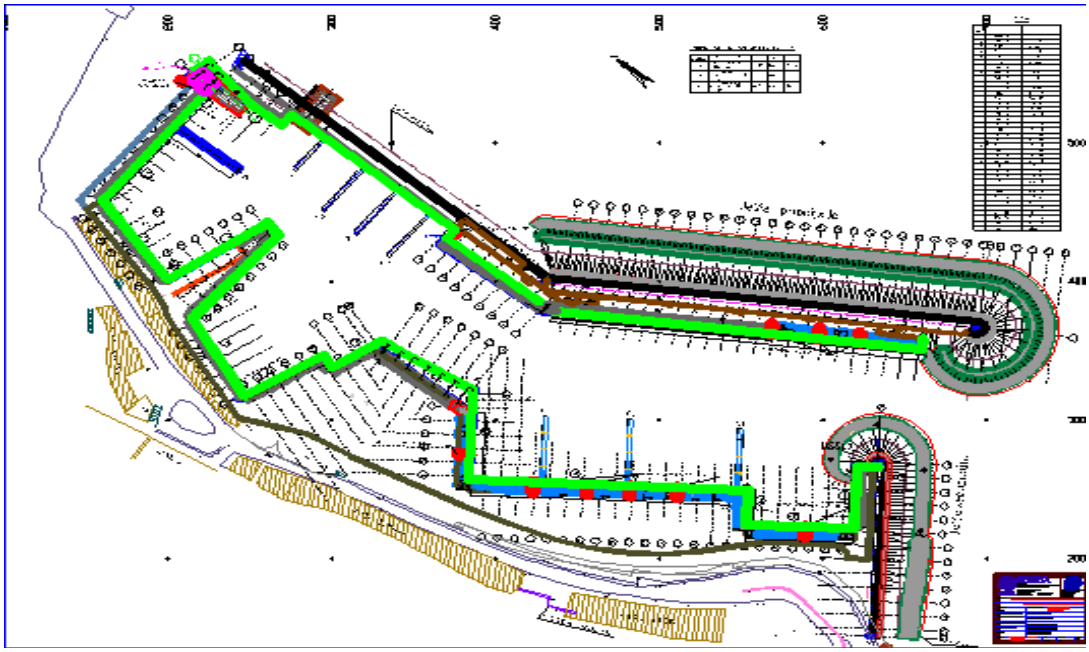

Figure 28: Plan de masse du port de pêche de Stora (DTP 2009).

Les pollutions, pouvant être générées dans les eaux des 2 ports de commerce, trouvent principalement leur origine dans l'activité portuaire qui est marquée par un trafic maritime intense portant essentiellement sur les produits pétroliers. Les activités maritimes sont à l'origine d'une proportion non négligeable de différentes formes de pollutions et les hydrocarbures constituent, quantitativement, le polluant le plus important. Ainsi, les sources possibles de pollution marine dans les 2 ports de commerce sont représentées par les:

Rejets opérationnels comme les vidanges de cales et fuites diverses ou encore les rejets de ballasts ou lests.

A destination, l'eau de ballast, contenant bactéries, virus et autres organismes se mélange aux rejets pétroliers tapissant les parois et les fonds des citernes est rejetée directement dans les ports. Pour remédier partiellement à cette pollution, l'ancien port de Skikda dispose d'une station de déballastage de 3 x 5000 m^3.

Rejets accidentels tel les accidents des navires citernes qui sont la source la plus connue de pollution du milieu marin, les déversements liés à ces accidents sont

soudains, occasionnels (explosion, collision, échouage) avec d'importantes quantités et souvent dévastateurs.

Pour le port de pêche de Stora; en plus des pollutions bactérienne et organique générées par les rejets urbains déversant directement dans les eaux du port, un autre type de pollution lié essentiellement aux rejets opérationnels (fuites diverses d'huiles ou autres en plus des eaux de lavage) et accidentels (explosion, collision ou échouage) peut être généré dans le port de pêche de Stora.

Pour la lutte contre la pollution par les hydrocarbures, l'Entreprise Portuaire de Skikda s'est dotée de moyens et de mesures préventives.

2. Techniques d'échantillonnage et d'analyses

Le prélèvement d'échantillons d'eau de mer est une opération délicate à laquelle nous avons apporté le plus grand soin car il conditionne le résultat analytique et l'interprétation qui en sera donnée. Nous avons fait en sorte que les échantillons soit homogènes et représentatifs sans modifier les caractéristiques de l'eau.

La séquence prélèvement – échantillonnage - conservation - analyse a été réalisée d'une manière cohérente et nous n'avons négligé aucun maillon de cette chaine opératoire.

Nous avons choisi les stations de prélèvements en tenant compte essentiellement du type de polluant considéré, de l'emplacement d'émissaires d'eaux usées, des embouchures de rivières et de la topographie du fond etc.

Les mesures physico-chimiques ont concernés 13/25 stations, les paramètres bactériologiques 25/25 stations, les HCT 9/25 stations et enfin la quantification des métaux lourds a été faite pour 7/25 stations.

2.1. Caractéristiques physico-chimiques

2.1.1. Sites et technique d'échantillonnage

Une série de mesures de 7 facteurs physico-chimiques: Température, salinité, pH, oxygène dissous, conductivité, potentiel REDOX et DBO_5 dans l'eau de mer est effectuée mensuellement de janvier à décembre 2009 dans les eaux superficielles de 13 stations réparties d'Est en Ouest comme suit:

N° Station	Nomenclature
01	Site de référence
12	Rejet RA1/K
13	Rejet CP1/K
14	Rejet GL1/K
15	Nouveau port
16	Oued Safsaf
17	Point chaud
18	Ancien port
19	PL. Marquette
20	PL. Militaire
21	Port de pêche
22	PL. Mollo
23	PL. Miramare

Ces stations ont été choisies en tenant compte des rejets urbains et industriels. Pour le prélèvement, des flacons en verre borosilicaté d'un volume de 1l sont utilisés conformément aux recommandations de Rodier (2009). Ces flacons, préalablement lavés, rincés puis égouttés et séchés à l'étuve à 100° C sont rincés 2 fois avec l'eau à analyser avant le prélèvement selon les recommandations d'Aminot (1983).

Une fois l'échantillon prélevé, des mesures *in situ* sont faites puis le flacon est étiqueté et placé dans une glacière pour les mesures ultérieures de la DBO_5 à l'abri de la lumière à 4° C selon les recommandations préconisées par l'OMS/PNUE (1995) pour la surveillance des eaux côtières.

La technique de prélèvement est identique à celle préconisée pour les polluants microbiens à l'exception du volume qui est de 250 ml.

2.1.1. Analyse des échantillons

Au total, 1092 mesures ont été effectuées sur l'année, à raison de 7 facteurs/mois: Température, salinité, pH, O_2 dissous, conductivité électrique, DBO_5 et potentiel REDOX dans 13 stations réparties le long d'un maillage littoral.

2.1.1.1. Appareillage et réactifs

Les mesures des paramètres physico-chimiques ont été réalisées à l'aide d'un multiparamètres modèle CONSORT 535 et d'un dispositif OXITOP BOX WTW (AFNOR, 1979) pour la demande biochimique en oxygène (DBO_5).

2.1.1.2. Modes opératoires

Nous avons étalonné pour calibrer le multiparamètres pour chaque paramètre mesuré avant d'immerger la sonde correspondant à chaque paramètre considéré dans l'eau échantillonnée pendant 6 à 10 sec, le résultat de la mesure s'affiche sur l'écran ce résultat est reporté sur des fiches préalablement préparées.
Dans le but d'éviter que les résultats ne soit erronés, les sondes sont rincées à l'eau distillée puis tamponnées avec du papier absorbant après chaque mesure.

La détermination de la DBO_5 par le système OXITOP BOX WTW, système d'appareil unique, modulaire et sans mercure basée sur la mesure manométrique de la pression avec agitation inductive à l'obscurité à 20 ^{o}C a été réalisée pendant 5 jours au laboratoire.

Nous avons procédé comme suit**:**

- Laver la bouteille de la DBO_5 avec de l'eau distillée et verser un volume adéquat de l'échantillon;
- Plonger le barreau magnétique et quelques pastilles de KOH ou NaOH (pour fixer et absorber le CO_2 formé) dans la tige noire;
- Bien fixer la tête (WTW OXITOP) et la remettre à 0 en appuyant sur les 2 touches M et S à la fois jusqu'à l'affichage de 0-0;

- Placer la bouteille dans l'incubateur et effectuer la lecture en appuyant sur la touche M, la valeur lue doit être multiplié par le facteur qui lui correspond (mg /l O_2).

La détermination de la DBO_5 avec OXITOP est possible en prenant en considération les dilutions suivantes:

Volume d'échantillon (ml)	Game de mesure (ppm)	Facteur
432	0-40	1
356	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43 ,5	0-1000	50
22 ,7	0-200	100

2.2. Polluants bactériologiques

2.2.1. Sites et technique d'échantillonnage

Vingt cinq stations de prélèvement ont été choisies sur la base d'un maillage horizontal défini en fonction des divers apports d'origine tellurique. Ces stations sont représentées par 16 plages, 3 ports, 3 rejets industriels, 1 embouchure de l'oued Safsaf, un point chaud et un point de référence.

Mensuellement, de janvier à décembre 2009, au cours de l'analyse bactériologique, chaque type de germes considéré: Coliformes totaux, Coliformes fécaux et Streptocoques fécaux est recherché et dénombré selon la méthode de référence NF EN ISO 9308-3. Les échantillons des 25 stations sont répartis d'Est en Ouest comme suit :

N° Station	Nomenclature	N° Station	Nomenclature
01	Site de référence	14	Rejet GL1/K
02	PL. Filfila Poste 8	15	Nouveau port
03	PL. Filfila Poste 7	16	Oued Safsaf
04	PL. Filfila Poste 6	17	Point chaud
05	PL. Filfila Poste entre 5et6	18	Ancien port
06	PL. B.M'hidi Poste 5	19	PL. Marquette
07	PL. B.M'hidi Poste 4	20	PL. Militaire
08	PL. B.M'hidi Poste 3	21	Port de pêche
09	PL. B.M'hidi Poste 2	22	PL. Mollo
10	PL. B.M'hidi Poste 1	23	PL. Miramare
11	B. M'hidi camp de toile	24	Rejet final C.T. Gde. Plage
12	Rejet RA1/K	25	Rejet final L.A.Gde. Plage
13	Rejet CP1/K		

Les échantillons sont recueillis dans des flacons en verre de 250 ml soumis au préalable à un nettoyage rigoureux au détergeant suivi d'un rinçage à l'eau potable puis à l'eau distillée et à une stérilisation à 170 °C (four Pasteur) pendant 1h selon les recommandations de Rodier (2009).

Pour les eaux de baignade, les prélèvements son effectués au moins à 2 m du rivage, eau à la taille. Le flacon de prélèvement est tenu près de sa base, le goulot vers le bas, enfoncé à 50 cm environ au-dessous de la surface de l'eau puis ouvert; une poussée vers l'avant est effectuée avec une légère inclinaison pendant le remplissage de sorte que l'orifice soit face à l'éventuel courant. Pour éviter la contamination par les mains, le flacon est refermé dans l'eau tout en laissant un espace suffisant pour l'homogénéisation.

Pour les autres sites, l'eau est collectée dans un seau lesté assez profond, relié à une corde de 1m de longueur avec un nœud au milieu pour délimiter les 50 cm à immerger sous l'eau. A partir de ce prélèvement, des échantillons sont recueillis avec la même technique et les mêmes précautions que pour les eaux de baignade.

Une fois le prélèvement effectué, le flacon est étiqueté avec date et N° station puis placé dans une glacière à l'abri de la lumière à une température de 4 °C selon les recommandations préconisées par l'OMS/PNUE (1995) pour la surveillance des eaux côtières. Les échantillons sont ensuite dirigés au laboratoire pour analyse en moins de 4h selon les recommandations de Mouffok (2001) et de Rodier (2009).

Tous ces prélèvements doivent être accompagnés d'une fiche de renseignements sur laquelle on note:

- L'origine du prélèvement.
- La date et heure du prélèvement.
- La température de l'eau.
- L'état de la mer.
- Le vent (vitesse et direction).

2.2.2. Analyse des échantillons

2.2.2.1. Principe de la méthode

Les résultats analytiques de la qualité bactériologique de l'eau de mer sont au nombre de 900 à raison de 3 germes recherchés mensuellement pour chaque station retenue au cours de l'année 2009.

La recherche et le dénombrement des CT, des CF et des SF a été réalisée par une méthode basée sur le test de fermentation des tubes multiples, afin de déceler le NPP (Nombre le Plus Probable) de germes dans 100 ml d'eau échantillonnée, et ce par incubation en milieux liquides (Méthode de référence: NF EN ISO 9308-3 (mars 1999).

2.2.2.2. Appareillage de laboratoire

La recherche et le dénombrement des germes recherchés nécessitent :

- Pipettes Pasteur
- Des portoirs
- Etuve
- Table NPP de Mac Crady (Tableau 1 en Annexe 1)

2.2.2.3. Milieux de culture

La recherche et le dénombrement des germes recherchés a nécessité pour la recherche des coliformes;

- Milieu lactosé au pourpre de bromocrésol (BCPL) double concentré (D/C) et simple concentré (S/C) muni de cloche de Durham
- Milieu indole mannitol (Schubert) muni d'une cloche de Durham
- Réactif d'Erlish Kovaks

Pour la recherche des streptocoques fécaux;

- Bouillon à l'azide de sodium (Bouillon de Rothe) double concentré (D/C) et simple concentré (S/C)
- Bouillon à l'éthyle violet et azide de sodium (Eva)

2.2.2.4. Mode opératoire

Cette recherche est identique à la colimètrie des eaux de boisson, elle consiste à déceler les germes et à dénombrer les germes coliformes et parmi eux, les coliformes fécaux, notamment *E. coli*, dont seule l'origine fécale est certaine.

Recherche des coliformes totaux

La recherche des coliformes comporte 2 phases de tests; l'une est représentée par le test présomptif et l'autre par le test confirmatif (Fig. 29).

- **Test présomptif**

Pour ce test nous utilisant le milieu BCPL D/C et S/C et tous les tubes sont munis de cloche de Durham pour déceler le dégagement éventuel de gaz dans le milieu. Par souci d'économie du milieu de culture, nous avons utilisé une série de 3 tubes. Nous avons ensemencé:

- Trois tubes de BCPL à D/C avec 10ml d'eau échantillonnée.
- Trois tubes de BCPL à S/C avec 1ml d'eau échantillonnée.
- Trois tubes de BCPL à S/C avec 0.1ml d'eau échantillonnée.

Les tubes sont agités pour une homogénéisation avec la précaution de ne pas faire pénétrer d'air dans la cloche de Durham. La lecture se fait après 48h d'incubation dans une étuve à 37 °C. Tous les tubes présentant un aspect trouble de couleur jaune et du gaz dans la cloche, sont considérés comme positifs, c'est à dire contenant des CT. Nous

avons noté le nombre de tubes positifs dans chaque série et nous nous sommes reportées aux tables du NPP (Tab. 1 en Annexe.1) pour obtenir le nombre de CT présents dans 100 ml d'échantillon.

- Test confirmatif

A partir de chaque bouillon BCPL positif pour la recherche de CT, nous avons ensemencé 5 à 6 gouttes dans un tube de milieu de Schubert muni d'une cloche de Durham. Après incubation de 24h dans une étuve à 44 °C, tous les tubes présentant une culture (trouble bactérien), du gaz dans la cloche et une réaction indole positive (anneau rouge cerise en surface) après addition de quelques gouttes du réactif d'Erlich Kovacs, sont considérés comme positifs, c'est à dire comme contenant des coliformes fécaux dans 100 ml d'eau et particulièrement comme contenant *E. coli*.

Nous avons noté le nombre de tubes positifs dans chaque série et nous nous sommes reportées aux tables du NPP pour obtenir le nombre de coliformes fécaux présents dans 100 ml d'échantillon.

Recherche des streptocoques fécaux

Les streptocoques sont généralement pris globalement en compte comme des témoins de pollution fécale car tous, ont un habitat fécal; cependant, leur spécificité ne serait pas identique pour toutes les espèces. Comme pour les CT, la recherche des SF comporte 2 phases de tests; l'une présomptive et l'autre confirmative (Fig. 30).

- **Test présomptif**

Pour ce test nous utilisant le milieu Rothe D/C et S/C. Par souci d'économie du milieu, nous avons travaillé avec une série de 3 tubes. Nous avons ensemencé:

- Trois tubes de Rothe à D/C avec 10ml d'eau échantillonnée.
- Trois tubes de Rothe à S/C avec 1ml d'eau échantillonnée.
- Trois tubes de Rothe à S/C avec 0.1ml d'eau échantillonnée.

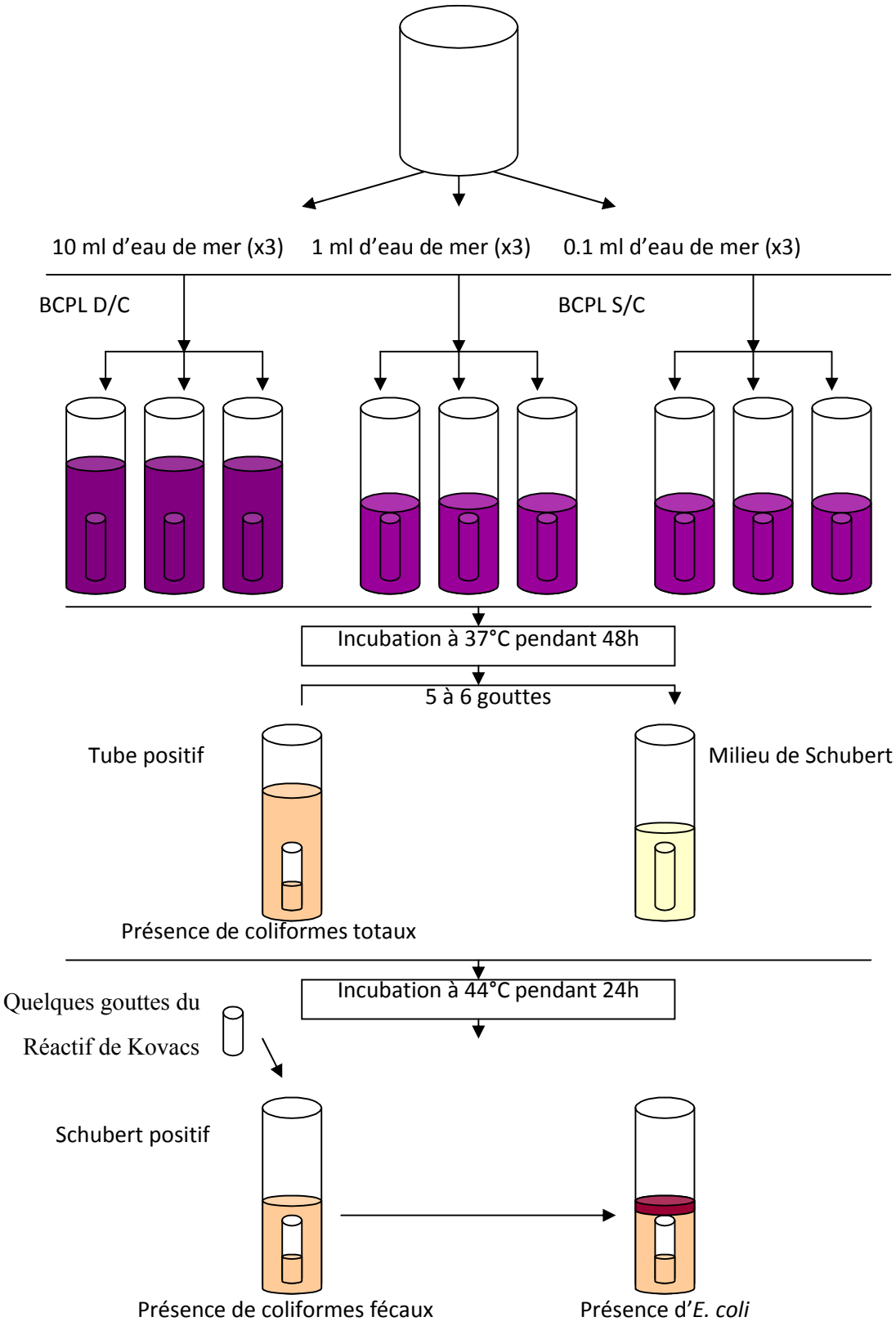

Figure 29: Schématisation de la recherche et du dénombrement des coliformes (Colimètrie).

Les tubes sont agités pour une homogénéisation. La lecture se fait après 48h d'incubation dans une étuve à 37° C. Tous les tubes présentant un louche microbien sont considérés comme pouvant contenir des SF et ils sont systématiquement soumis au test confirmatif. Nous avons noté le nombre de tubes positifs dans chaque série.

- **Test confirmatif**

Après agitation, à partir de chaque milieu de Rothe positif, nous avons ensemencé 5 à 6 gouttes dans un tube du bouillon Eva. Après incubation de 24h dans une étuve à 37° C, tous les tubes présentant une culture et un jaunissement, sont considérés comme positifs. Nous avons noté le nombre de tubes positifs dans chaque série et nous nous sommes reportés aux tables du NPP pour obtenir le nombre de SF présents dans 100 ml d'échantillon d'eau.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés sous la forme du:

- Nombre le Plus Probable de CT/ 100ml d'eau échantillonnée.
- Nombre le Plus Probable de CF/ 100ml d'eau échantillonnée.
- Nombre le Plus Probable de SF/ 100ml d'eau échantillonnée.

Les SF possèdent la substance antigénique caractéristique du groupe D de Lance Field, c'est-à-dire: *Streptococcus faccalis, S. faecium, S. durans, S. bovis, S. equinus*. Ces streptocoques du groupe D sont généralement pris globalement en compte comme des témoins de pollution fécale.

Indice de Bourgeois (IB)

L'indice de Bourgeois (1980) est calculé; lorsque le rapport, CF/ SF > 1, la pollution est essentiellement d'origine humaine, dans le cas inverse, la contamination est d'origine animale.

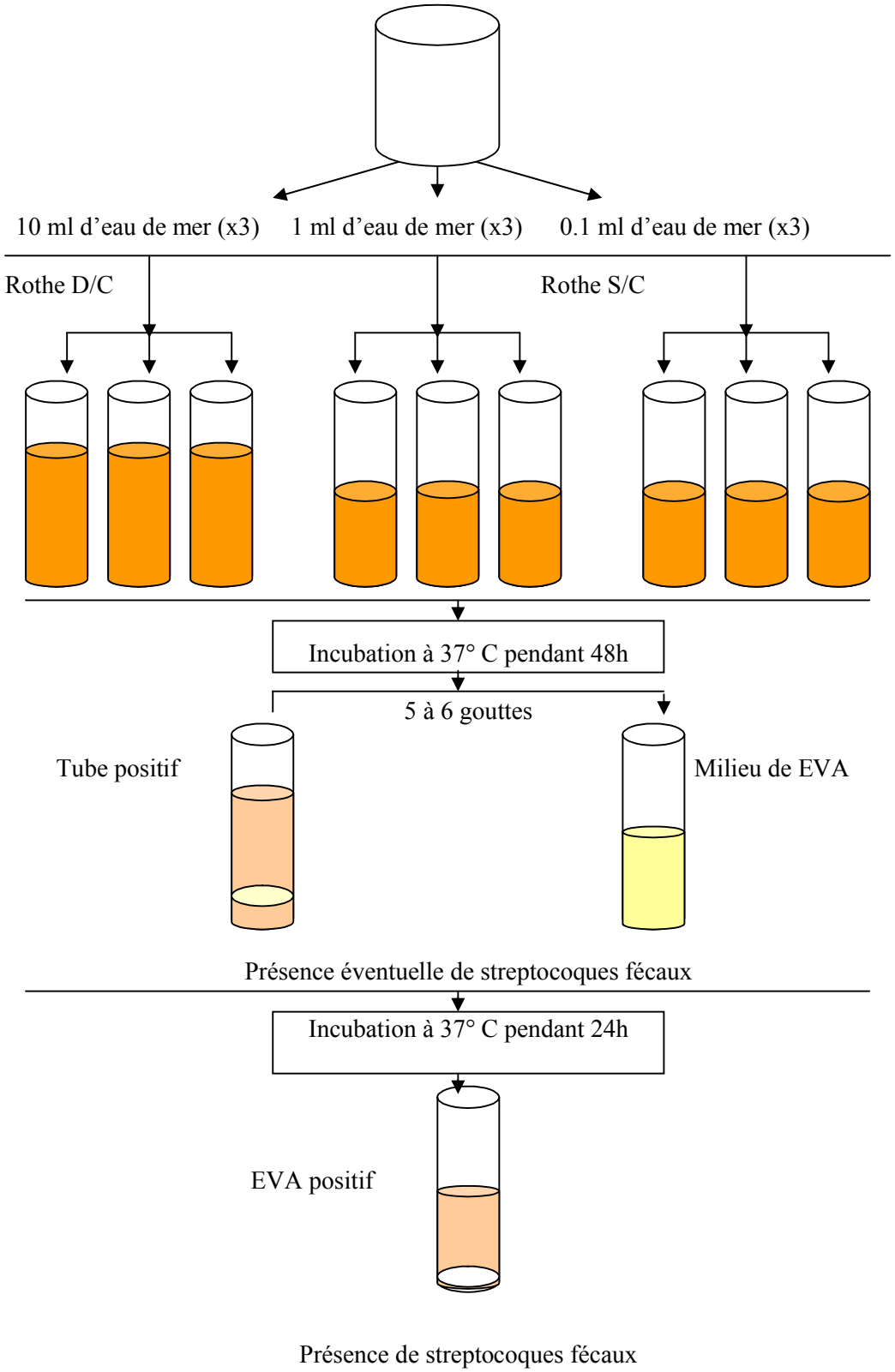

Figure 30: Schématisation de la recherche et du dénombrement des streptocoques fécaux.

2.3. Polluants organiques: Les hydrocarbures totaux (HCT)

2.3.1. Sites et technique d'échantillonnage

Les HCT ont été dosés mensuellement de janvier à décembre 2009 selon la méthode normalisée NF T90-114. L'analyse est faite pour des échantillons provenant de sites choisis selon les sources de pollution en amant, notamment, les effluents de l'industrie pétrochimique et de raffinage du pétrole ainsi que les rejets pouvant être occasionnés par la navigation, assez importante à Skikda.

Nous avons retenus 9 stations de prélèvement répartis d'Est en Ouest comme suit:

N° Station	Nomenclature
01	Site de référence
12	Rejet RA1/K
13	Rejet CP1/K
14	Rejet GL1/K
15	Nouveau port
16	Oued Safsaf
17	Point chaud
18	Ancien port
21	Port de pêche

Selon les recommandations de la Commission Océanographique Internationale (C.O.I) (1985), l'eau est prélevée à -1m de profondeur, dans des flacons propres, en verre fumé avec un goulot étroit de 2 à 3 cm de diamètre pour qu'ils se remplissent lentement après s'être enfoncés dans l'eau.

Selon les recommandations de Roussel *in* Aminot *et al*., (1983), au préalable, les flacons sont parfaitement nettoyés et rincés comme indiqué ci-après :

- lavage au détergeant,
- rinçage sous l'eau du robinet,
- rinçage au solvant

Afin d'éviter la contamination de l'échantillon par des substances qui pourraient être présentes dans les bouchons, ces derniers sont recouverts de feuilles d'aluminium rincées au solvant S-316.

Lors du prélèvement, le flacon est attaché à un flotteur par une ligne d'1 m de long, une deuxième ligne de récupération est fixée au flotteur pour permettre de ramener le flacon à bord. Lorsque la pilotine est presque complètement arrêté et qu'elle dérive lentement, le flacon est lancé par dessus bord à l'avant aussi loin que possible pour éviter de prélever de l'eau qui aurait été contaminée par la pilotine. Le flacon s'enfonce immédiatement d'1 m et se remplie d'eau lentement, il est aussitôt récupéré et après avoir vérifié l'intégrité du garnissage du bouchon, on bouche et étiquète le flacon. Selon les recommandations de la COI (1985), les échantillons sont conservés au frais à 4° C et dans l'obscurité (glacière) et l'extraction a été réalisée très rapidement (- de 24h) afin d'éviter l'altération des échantillons par la flore microbienne et en aucun cas les échantillons n'ont été conservés plus de 3 à 4h avant l'addition de solvant. Le volume prélevé, d'environ 200 ml, constitue la totalité de l'échantillon à analyser.

2.3.2. Analyse des échantillons

Au total, 108 dosages pour les HCT ont été mis en œuvre, à raison d'un dosage mensuel, de janvier à décembre 2009, dans les eaux superficielles de 9 stations retenues.

2.3.2.1. Principe de la méthode

Le dosage des hydrocarbures est effectué à l'aide d'un analyseur d'hydrocarbures OCMA-310 (HORIBA) dont le principe de l'extraction par le solvant S-316 est l'absorption infrarouge non dispersive.

La méthode d'extraction par solvant est basée sur le fait que les huiles sont constituées principalement d'hydrocarbures, en conséquence, la concentration en huile peut être déterminée en mesurant l'absorbance dans la bande 3,4 à 3,5 µm. Le S-316 n'absorbe aucune énergie dans cette gamme. L'absorption est donc due à la concentration en hydrocarbures extraits de l'eau par le S-316. Cet appareil est très

sensible aux différents hydrocarbures, et n'est pas affecté par les substances étrangères ou la couleur de l'échantillon.

Matériel utilisé

- Un analyseur d'hydrocarbures **OCMA-310 (HORIBA).**
- Une seringue de 20 ml.
- Une seringue de 10 ml.

Réactifs utilisés

- Du solvant **S-316** (Double chloro-tryfluoro-éthylène).
- De l'acide chlorhydrique.

Mode opératoire

- A l'aide de la seringue de 10 ml on a prélevé 10 ml de solvant S-316 pour l'introduire dans l'injecteur**.**
- Ajouter 01 ou 02 gouttes d'acide chlorhydrique 1/1.
- A l'aide de la seringue de 20 ml prélever 20 ml d'échantillon et l'introduire dans l'injecteur.
- Fermer la capsule de l'injecteur.
- Presser sur EXTRACT et attendre 40 sec.
- Tourner le bouton EXTRACT COCK vers OPEN**.** laisser se stabiliser et presser sur MEAS ; la mesure clignote jusqu'à stabilisation, HOLD s'allume, lire la valeur en mg/l.
- Tourner le bouton DRAIN COCK sur la position OPEN et récupérer le contenu de l'injecteur dans un bêcher propre pour le régénérer.
- Tourner le bouton DRAIN COCK et EXTRACT COCK sur la position CLOSE.
- Presser sur ESC pour retourner en mode mesure.

2.4. Polluants métalliques: Les métaux lourds (ML)

2.4.1. Sites et technique d'échantillonnage

Le choix du maillage des stations de prélèvement a été établi de sorte à prendre en compte les principaux rejets industriels essentiellement ainsi que l'infrastructure portuaire de Skikda. Les 7 stations ainsi définies se répartissent comme suit:

N° Station	Nomenclature
10	Plage Ben M'hidi Poste 1
15	Nouveau port
16	Oued Safsaf
17	Point chaud
18	Ancien port
21	Port de pêche
23	PL. Miramare

Les prélèvements du sédiment sont effectués en mai 2009 et pour chaque site, la concentration de 9 métaux lourds: Zn, Cu, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd, Fe et Hg a été déterminée.

Les prélèvements du sédiment sont faits grâce à l'intervention d'un plongeur en utilisant comme pour le carottier-boite, un seau de 20 à 30 cm de diamètre qui a été enfoncé dans le sédiment pour prélever l'échantillon. Une quantité d'environ 500 g est récupérée, mise dans un sachet en plastique étiqueté et placée dans une glacière à 4°C. Cette méthodologie est préconisée par Aminot *et al*., (1983). Ensuite, les échantillons sont congelés pour analyse ultérieure.

2.4.2. Analyse des échantillons

Les analyses du sédiment superficiel, au nombre de 63, ont été mises en œuvre à raison de 9 éléments pour 7 stations dont les caractéristiques sont indiquées dans le tableau 14.

Tableau 14: Caractéristiques des stations de prélèvement des sédiments pour l'évaluation des polluants métalliques.

Stations	10	15	16	17	18	21	23
Température (° C)	26.50	26.00	27.50	27.00	26.05	25.40	25.50
Profondeur (m)	-2.50	-7.50	-2.00	-2.50	-7.00	-4.00	-2.00
Distance du rivage (m)	200	-	200	150	-	-	150
Nature du sédiment	Sable	Sable	Vase	Sable	Sable	Vase	S. grossier

2.4.2.1. Principe de la méthode

Pour la détermination des concentrations en métaux lourds, il existe de nombreuses variantes à tout stade du protocole analytique d'un sédiment comme le montrent les synthèses de Aminot *et al*., (1983). Cependant, il semble nécessaire de préconiser un mode opératoire unique, applicable pour tous les laboratoires et permettant d'évaluer le degré de pollution.

Du fait qu'elle convienne pour la gamme de concentrations trouvées dans le sédiment, la spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme a été utilisée comme technique de mesure dans notre étude. Elle consiste à porter les éléments à leur état atomique sur le trajet même d'un rayon lumineux (lampe cathodique) et à effectuer simultanément une mesure de l'absorption à une longueur d'onde spécifique des atomes formés.

2.4.2.2. Appareillage

Nous avons utilisé du petit matériel de laboratoire ainsi qu'un appareillage analytique.

- **Petit matériel de laboratoire**
    - Becher
    - Pipette
    - Eprouvette jaugée de
    - Filtre de papier WHATMAN n°42
    - Mortier en porcelaine
    - Eau bi-distillée

Toute la verrerie est soigneusement lavée au détergeant et abondamment rincée à l'eau bi-distillée

- **Matériel analytique**

  - Etuve.
  - Tamiseur (type Retsch) et tamis de maillages adéquats.
  - Balance de précision.
  - Bain de sable.
  - Centrifugeuse.
  - Spectrophotomètre d'absorption atomique (type AA-680 SHIMADZU) équipé d'une imprimante graphique (type PR-5 GRAPHIC PRINTER).

2.4.2.3. Réactifs

Pour quantifier les ML nous avons utilsé principalement 3 réactifs:

- De l'acide nitrique (HNO_3) 3 mol/l.
- De l'acide chlorhydrique (HCL).
- Solution de Lanthane (La_2O_3).

2.4.2.4. Mode opératoire

Phase pré-analytique

Après décongélation, le sédiment est soumis à une phase pré-analytique qui consiste en:

- Un séchage: le séchage est réalisé à l'étuve à 105° C pendant 6 à 8h.
- Un tamisage du prélèvement.

Les résultats de l'analyse de la totalité du sédiment ont l'inconvénient de ne pas être directement comparables et nécessitent une normalisation par rapport à un autre paramètre caractérisant le sédiment (granulométrie, concentration en fer, etc.).

De ce fait, représentant une coupure sédimentologique traditionnelle entre le sable et la vase, nous avons choisi la coupure à 63μm.

Une fois séché, le sédiment est broyé doucement à l'aide d'un mortier de façon à restituer la granulométrie initiale. L'échantillon est ensuite tamisé et l'analyse est faite sur la fraction du sédiment qui passe à travers un tamis avec une ouverture de maille de 63 μm comme le préconise Aminot et *al*., (1983).

Phase analytique

- **Digestion du sédiment**

Des précautions préliminaires sont prises par le rinçage des récipients de digestion à l'eau de grande pureté (eau bi-distillée) et à l'acide nitrique (HNO_3) 3 mol/l avant l'utilisation.

Pour être analysés, les échantillons sont mis en solution par minéralisation acide et ce dans le but de mettre les éléments à analyser dans leur état ionique le plus oxydé en procédant comme suit:

- Peser exactement une masse de sédiment sec de l'ordre de 5 g dans un Becher de 100 ml.
- Mouiller avec 70 ml d'eau bi-distillée.
- Ajouter 5 ml d'HCl, opérer avec précaution (bouillonnement, projection…).
- Ajouter 25 ml d' HNO_3 concentré.
- Couvrir et porter à ébullition douce sur un bain de sable pendant 15 à 24h, et veiller à ce que la solution ne vienne pas à sec. Rajouter éventuellement de l'acide nitrique et réduire le chauffage.
- Laisser refroidir et reprendre en ajoutant quelques gouttes d'HCl 1mol/l.
- Chauffer non couvert au bain de sable pendant ½ h avec homogénéisation toutes les 5 min.
- Centrifuger avec précaution après avoir récupéré l'eau bi-distillée servant au rinçage du récipient de digestion.
- Recueillir le surnageant dans une éprouvette jaugée de 100 ml.
- Ajouter 1ml de solution de Lanthane.
- Ajuster à 100 ml par l'HCl (1mol/l).

La solution obtenue est prête pour l'injection dans le brûleur du spectrophotomètre.

- **Analyse de l'échantillon prétraité**

Pour l'utilisation du spectrophotomètre d'absorption atomique, nous nous sommes référés au manuel du constructeur qui se résume en 2 étapes initiales:

Etape 1: Etalonnage et interférences

La solution de Lanthane est apportée à la préparation de façon à limiter les interférences dues notamment au Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{++} pour effectuer des mesures directes dans les meilleures conditions possibles, nous nous sommes servis de solutions étalons contenant diverses grandeurs en éléments considérés pour les solutions à analyser.

Etape 2: Mesure des blancs

Pour connaître la contribution en métaux des réactifs de digestion, des blancs sont préparés avec chaque série d'échantillons en ne mettant dans les récipients de digestion que les réactifs. Ces blancs subissent alors le protocole général.

Expression des résultats

La concentration C_{Me} de l'élément métallique dans le sédiment est obtenue par la formule de Joanny et *al., in* Aminot *et al.,* (1983) :

$$\mathbf{C_{Me}\ (mg / kg) = \frac{C_E \times V}{M}}$$

Avec :

C_E: Concentration lue sur la courbe d'étalonnage en mg / kg.

V : Volume de la solution finale après digestion en ml.

M : Masse du sédiment minéralisé en g.

Les résultats sont exprimés en mg de métal par kg de sédiment sec.

L'état de la pollution peut être aussi apprécié par le calcul de l'indice de contamination (IC) dont l'expression est précisée par l'Agence du Bassin Rhône Méditerranée Corse (*in* Hariti, 2000) :

$$\mathbf{IC = \frac{Concentration\ observée}{Concentration\ considérée\ comme\ normale}}$$

Pour ce qui est des concentrations normales, nous nous sommes référés aux normes Françaises pour le calcul de l'IC (Tab. 1 en Annexe 2).

Analyse statistique des résultats

L'ensemble des résultats obtenus a fait l'objet d'une étude statistique à l'aide de l'analyse de la variance selon un modèle linéaire général (Logiciel MINITAB 15 pour Windows).

CHAPITRE III :
RESULTATS ET INTERPRETATION

Cette partie expose les résultats obtenus et leur interprétation, elle s'articule autour de 4 axes: paramètres physicochimiques, paramètres microbiologiques, hydrocarbures totaux et métaux lourds mettant en évidence la variation spatiotemporelle des différents paramètres considérés.

1. Caractéristiques physico-chimiques

1.1. Température

La variation temporelle des températures observées au cours de la présente étude est marquée par un maximum de 31.60° C pour la St.12 (RA1K) en juin 2009 et un minimum de 10° C pour la St.22 correspondant à la plage Mollo en mars de la même année. Nous pouvons considérer ces températures comme normales car elles sont saisonnières.

La température est caractérisée par une variabilité spatiale (Fig. 31) hautement significative avec $P \leq 0{,}001$ avec une valeur moyenne maximale de 27,48 °C pour la St.14 (GL1K) et une valeur moyenne minimale de 21,68° C pour la St.15 (Nouveau port).

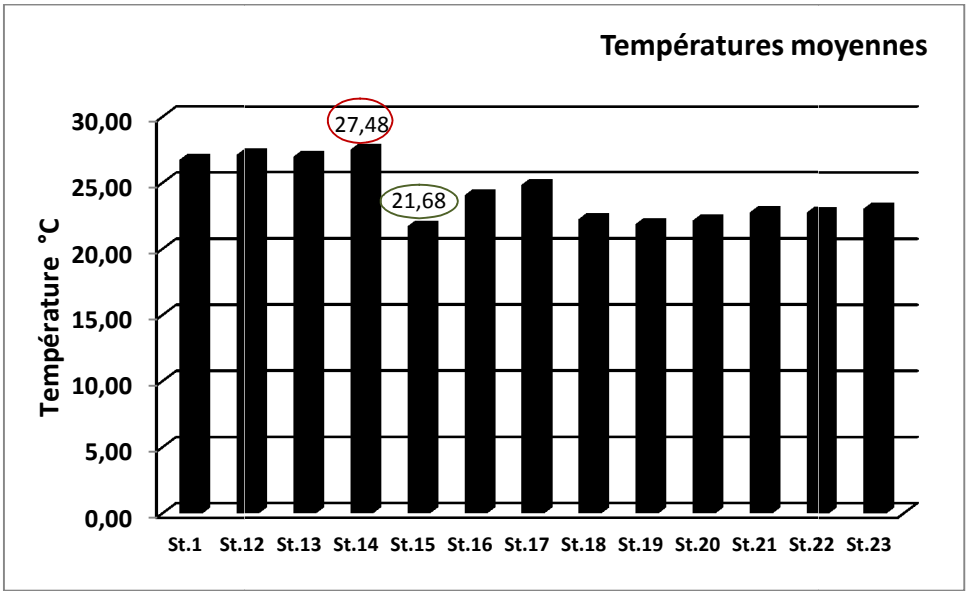

Figure 31: Représentation graphique de la variation spatiale de la température moyenne.

La variation temporelle de la température des 3 rejets industriels de la zone d'étude est représentée par la figure 32, il en ressort que ces derniers sont en conformité avec la règlementation en vigueur (Décret exécutif n° 06-141 définissant les valeurs limites des

rejets d'effluents liquides industriels) à l'exception de la station 12 (RA1K) ou un léger dépassement de la valeur limite qui est de 30° C est observé en juin.

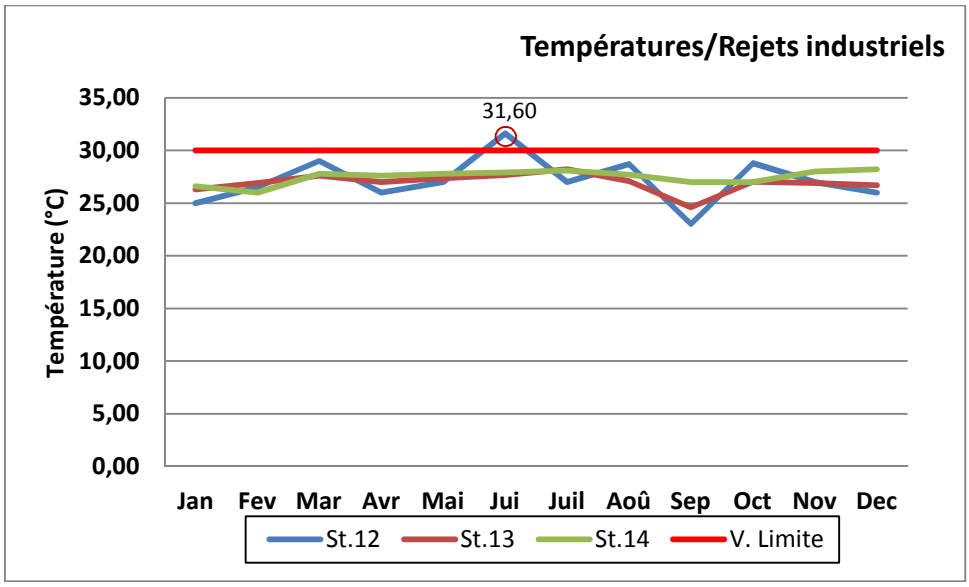

Figure 32: Représentation graphique de la variation temporelle de la température dans les eaux des rejets industriels.

1.2. Potentiel hydrogène

La variation temporelle du pH fluctue entre un maximum de 9.80 en avril pour la St.13 (Rejet du CP1/K) et un minimum de 6.50 pour la St.18 (ancien port) en novembre.

Les valeurs annuelles moyennes du pH oscillent entre un maximum de 9,03 pour la St.13 (CP1/K) et un minimum de 7,44 pour la station 12 (RA1/K), les 2 stations correspondent à 2 rejets d'eaux industrielles (Fig. 33). L'analyse statistique montre que la variation spatiale du pH est hautement significative avec $P \leq 0{,}001$.

Le point chaud (St.17: 8) présente un pH légèrement supérieur à celui de la station de référence (St.1: 7,9); ces valeurs sont toutefois considérées comme normales.

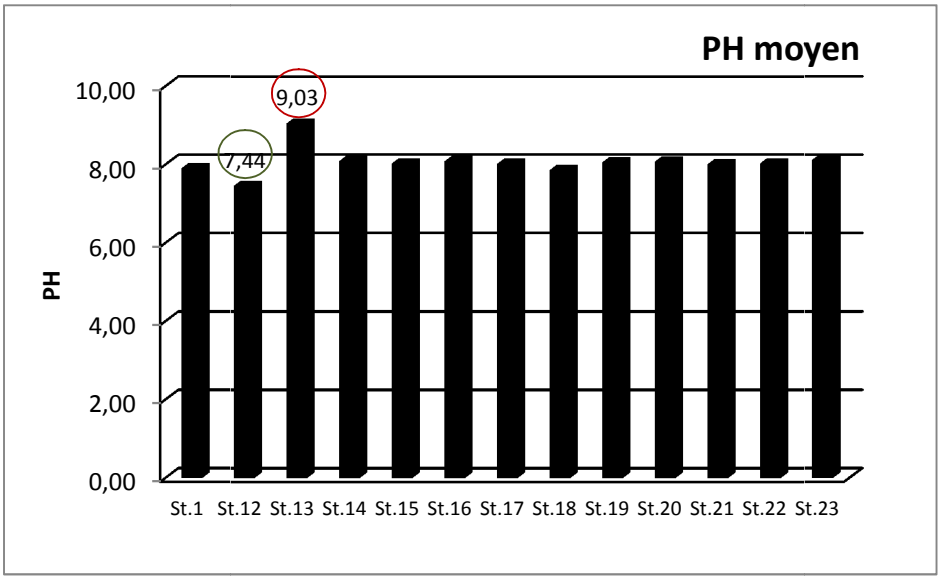

Figure 33: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du pH.

La variation temporelle des 3 rejets industriels (Fig. 34) indique un dépassement de la valeur limite inférieure règlementaire qui est de 6,5 (Décret exécutif n°06-141 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels) cette tendance basique pourrait trouver son explication dans la concentration et le type de produits chimiques rejetés, notamment pour la St.13 (CP1/K) ou nous observons un dépassement de la valeur limite supérieure de 8,5 indiquant un non respect de la règlementation.

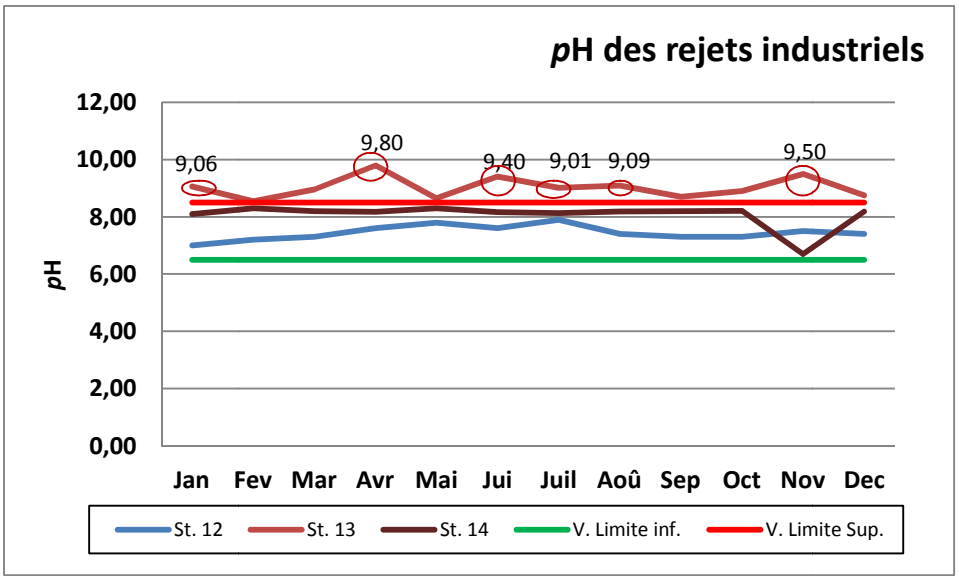

Figure 34: Représentation graphique de la variation temporelle du pH dans les eaux des rejets industriels.

Les valeurs limites règlementaires sont plus spécifiques et plus rigoureuses pour l'industrie de raffinage d'où une limite règlementaire (Décret exécutif n°06-141) comprise entre 5,5 et 8,5.

La valeur limite inférieure est largement dépassée tout au long de l'année 2009 dans les eaux superficielles de la St.12 (RA1/K) tel que représentée par la figure 35.

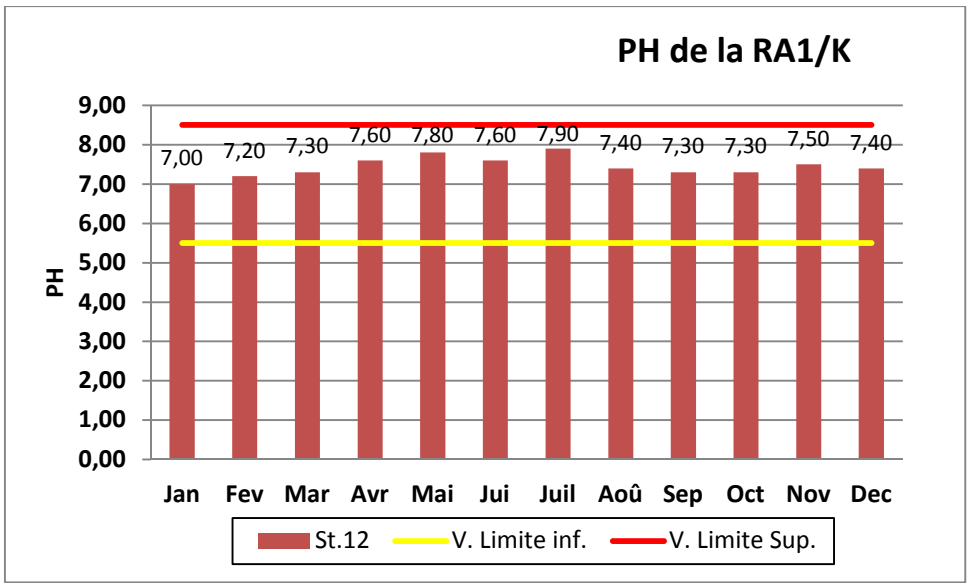

Figure 35: Représentation graphique de la variation temporelle du pH dans les eaux du rejet de la raffinerie de Skikda.

1.3. Salinité

Nous observons graphiquement une salinité variant entre un maximum pour la St.1 (point de référence) et un minimum de 19,33 ‰ pour la St.16 (Oued Safsaf) (Fig. 36). Cette variation spatiale est hautement significative avec $P \leq 0{,}001$.

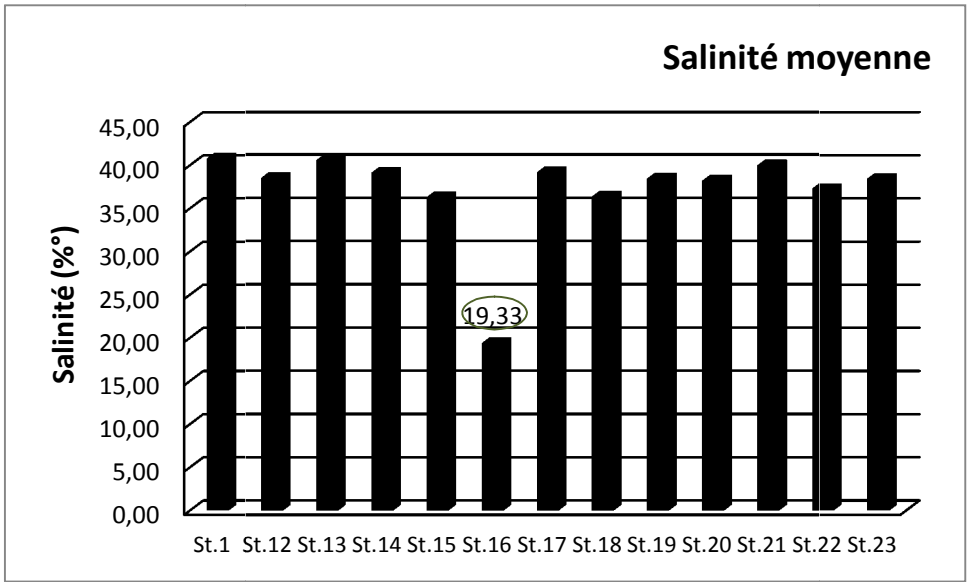

Figure 36: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes de la salinité.

1.4. Oxygène dissous

Les moyennes du taux de saturation en O_2 dissous varient d'une station à une autre avec un maximum de 91,62 % mesuré dans les eaux de la plage Mollo correspondant à la St.22 et un minimum de 37,21 % pour la station de référence (St.1) (Fig. 37).

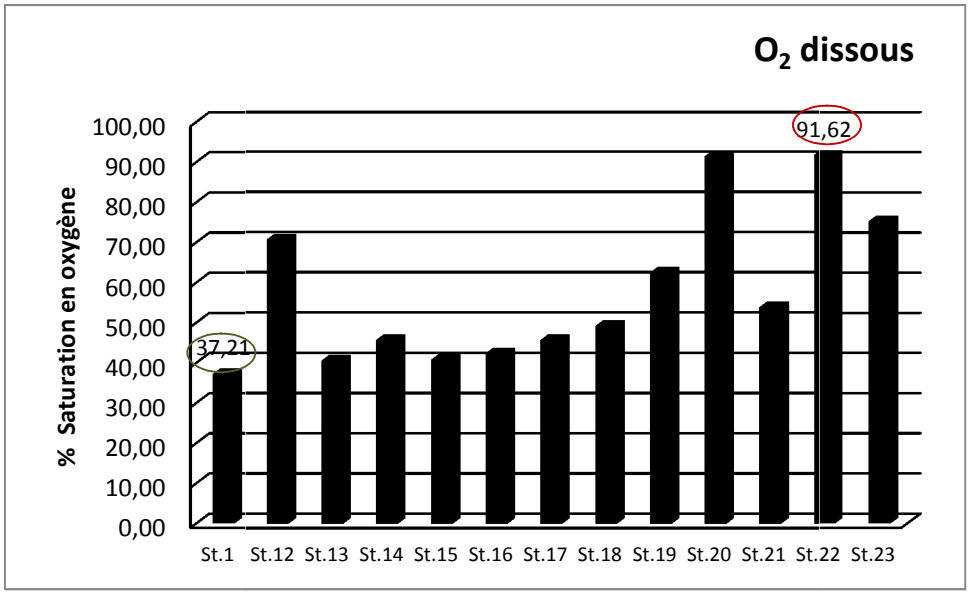

Figure 37: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du taux de saturation en O_2.

Les résultats de l'approche statistique montrent une variation spatiale hautement significative avec $P \leq 0{,}001$.

Le taux de saturation en O_2 observé dans les eaux des stations 20 (PL. Militaire) et 22 (PL. Mollo) est compris entre les valeurs limites (80 %-120 %) règlementaires (Extrait du Décret exécutif N° 93-164 spécifiant la qualité requise des eaux de baignade) (Fig. 38).

Les valeurs maximales du taux de saturation en O_2 dissous sont observées au printemps et en automne ce qui peut être expliqué par l'activité photosynthétique intense du phytoplancton caractéristique en ces périodes de l'année.

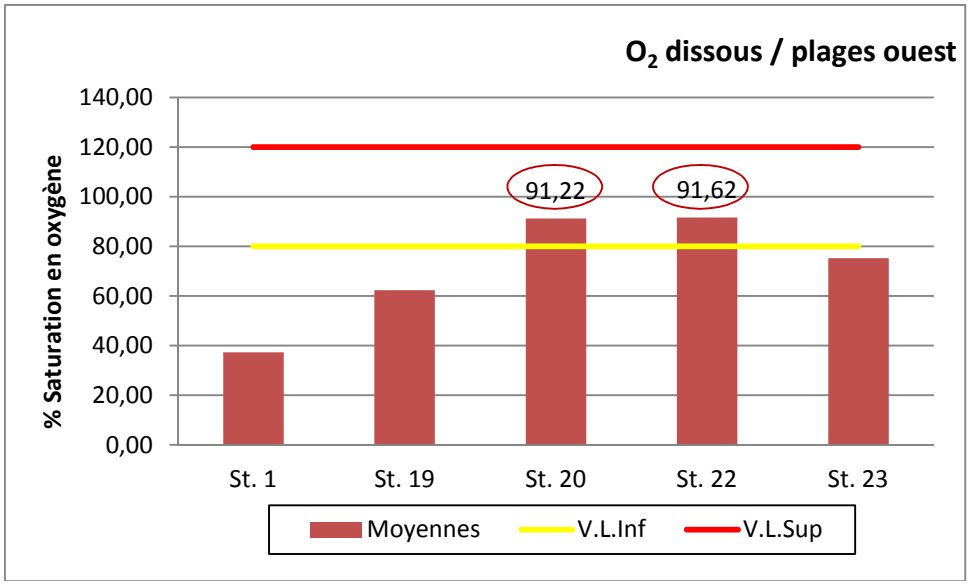

Figure 38 : Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du taux de saturation en O_2 dans les eaux des plages de la région Ouest de Skikda.
(V.L.Inf : valeur limite inférieure, V.L.Sup : valeur limite supérieure).

1.5. Conductivité électrique

La variation spatiale des moyennes de la conductivité électrique oscillent entre 915,20 µS/cm observé dans les eaux de la St.12 (RA1/K) indiquant une minéralisation élevée et 217,44 µS/cm dans les eaux de la St.1 (point de référence) indiquant une faible minéralisation (Fig. 39).

L'analyse statistique montre une variation spatiotemporelle hautement significative avec $P \leq 0{,}001$.

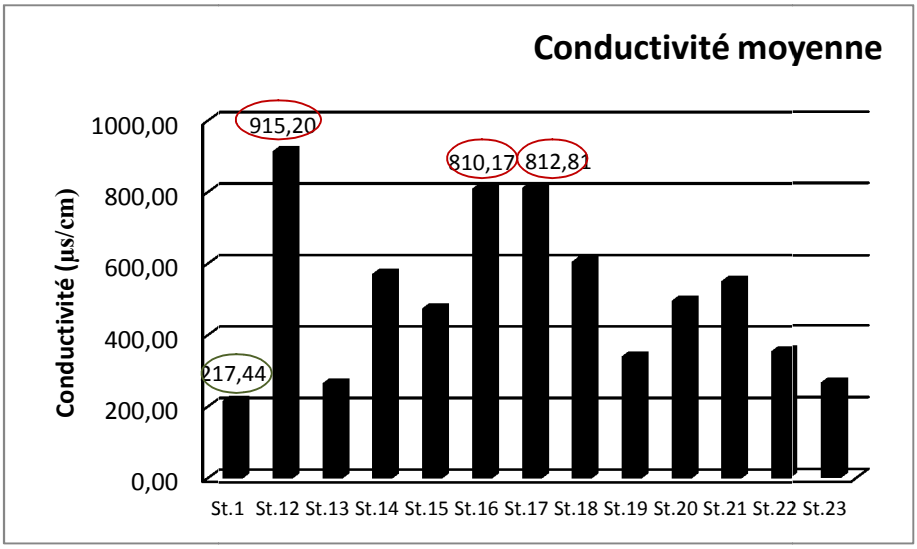

Figure 39: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes de la conductivité électrique.

1.6. Potentiel redox (*r*H)

Avec un maximum de -53,10 mV pour la St. 21 (port de pêche) et un minimum de -226 mV pour la St.13 (CP1/K), une variation spatiale hautement significative (P ≤0,001) est observée pour le potentiel d'oxydoréduction ainsi qu'une variation temporelle significative avec P ≤ 0,05. La distribution spatiale des valeurs moyennes observées indique que le pouvoir réducteur des eaux analysées est plus important dans les eaux de la St.12 (RA1/K) suivi par la St.13 (CP1/K) et St.14 (GL1/K) (Fig. 40).

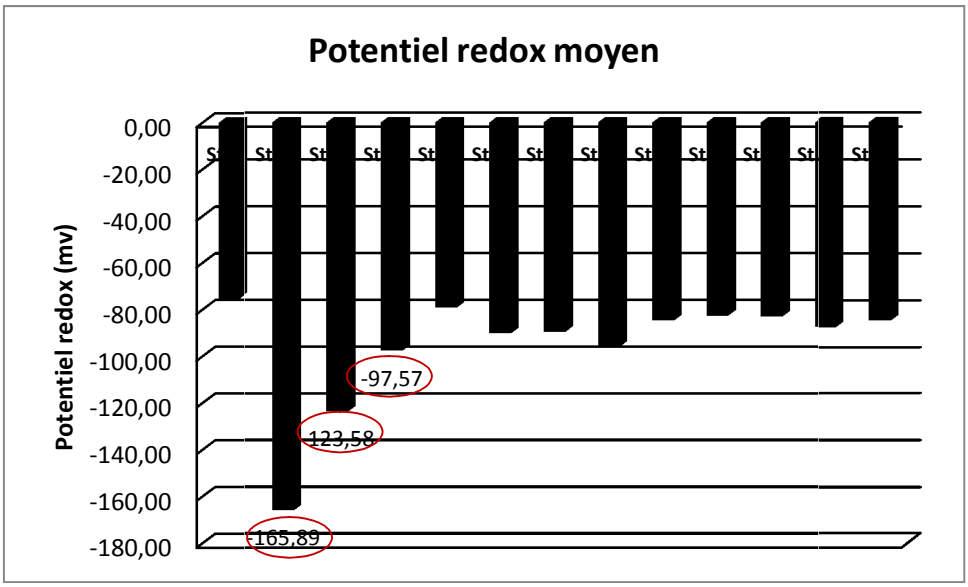

Figure 40: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du potentiel Redox.

1.7. Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5)

L'analyse de la variance pour la demande biochimique en oxygène en 5 jours en fonction des stations indique une variation hautement significative avec $P \leq 0{,}001$. La valeur moyenne maximale de la DBO_5 est observée dans les eaux de la St.12 (RA1/K) suivi de la St.16 (Oued Safsaf) et St.17 (Point chaud) (Fig. 41).

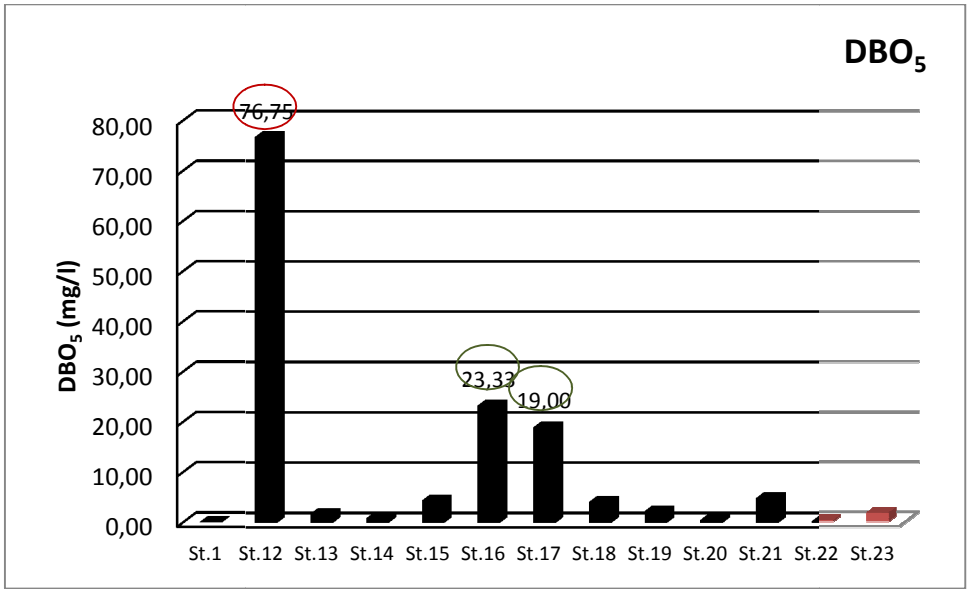

Figure 41: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes de la demande biochimique en oxygène (DBO_5).

A l'exception de la St.12 correspondant au rejet de la RA1/K où un dépassement des valeurs limites comprises entre 35 mg/l et 40 mg/l est observé 8 mois / 12, une conformité de la DBO_5 des eaux des rejets industriels avec la règlementation en vigueur (Décret exécutif 06-141) est mise en évidence (Fig. 42).

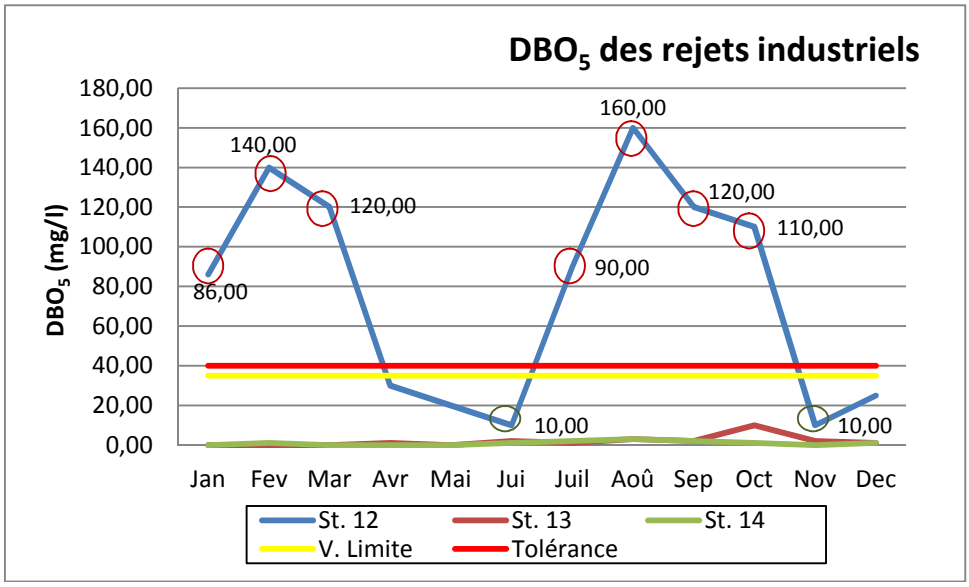

Figure 42: Représentation graphique de la variation temporelle de la demande biochimique en oxygène (DBO_5) dans les rejets industriels.

2. Paramètres microbiologiques

2.1. Coliformes totaux

Avec un maximum de 92,75 CT dans la ST.2 (PL. poste 8) et un minimum de 30,42 CT dans la St.5 (PL. poste entre 5 et 6), les valeurs moyennes observées pour les CT dans les eaux des plages de Filfila situées dans la zone Est de Skikda restent en dessous des valeurs guides règlementaires de 500 CT/100 ml (Décret exécutif 93-164) (Fig. 43).

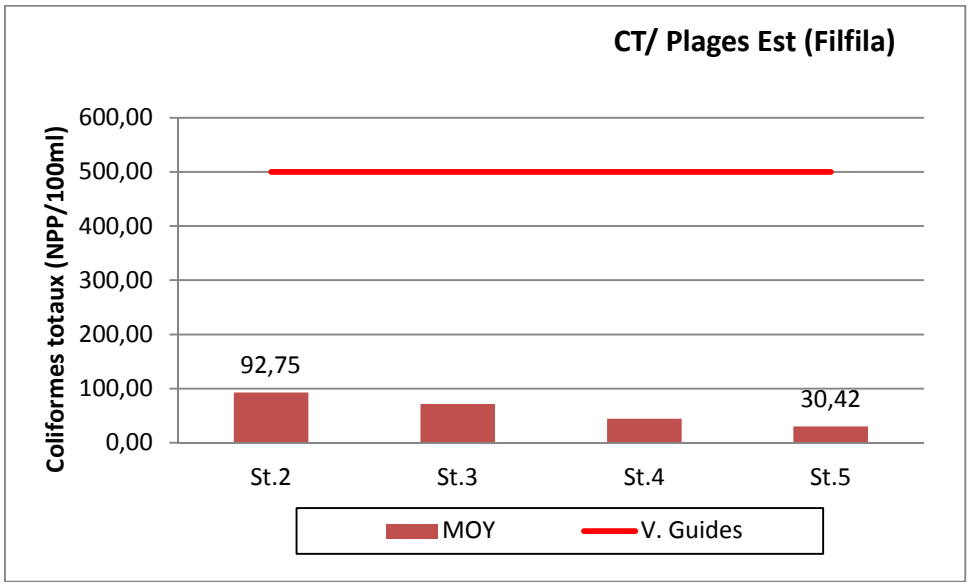

Figure 43: Représentation graphique de la variation spatiale du nombre moyen des coliformes totaux (CT) au niveau des plages de Filfila.

L'analyse statistique des résultats de quantification des CT montre une variation de la distribution spatiale non significative avec P > 0,05.

La variation temporelle du NPP des CT dans les eaux des plages de la commune de Filfila est illustrée par la figure 44. Nous notons qu'il n'y a pas de dépassement de la valeur règlementaire de 500 CT/100 ml tout en observant 2 pics en mars et novembre 2009 pour la St.2 (PL. Poste 8) avec 460 CT qui correspondent aux périodes des grandes crues transportées par l'Oued Righa déversant à ce niveau. Ce nombre est 150 fois supérieur à celui de la St.4 (PL poste 6: 3CT)

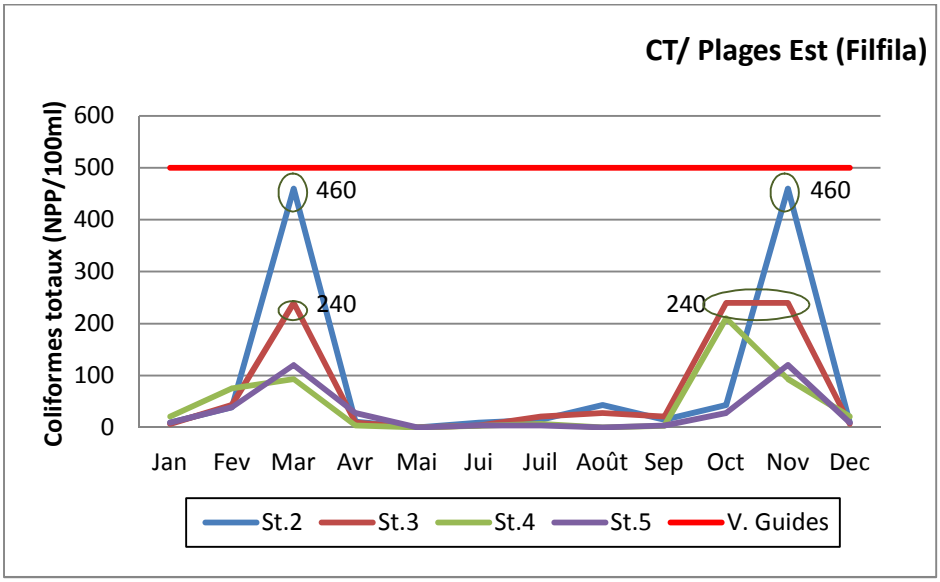

Figure 44: Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des plages de Filfila.

La distribution spatiale du nombre moyen des CT dans les eaux des plages de Ben M'hidi situées dans la zone Est de Skikda est relativement variable et nous pouvons constater le dépassement de la valeur guide de 500/100ml dans toutes les stations considérées à l'exception de la St.6 (PL. Ben M'hidi P5). Pour la St.8 (PL. Ben M'hidi P3) la valeur limite de10000/100ml est largement dépassée (Fig. 45) il s'agit d'une station comportant un rejet urbain.

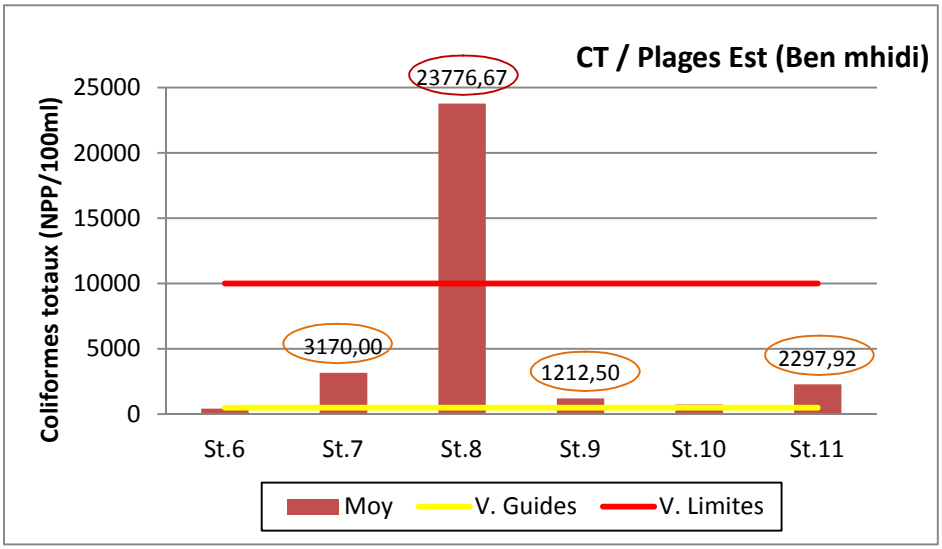

Figure 45: Représentation graphique de la variation spatiale du nombre moyen des coliformes totaux (CT) dans les eaux des plages de Ben M'hidi.

Les dépassements des valeurs règlementaires dans les eaux des différentes stations des plages de la zone Est (Ben M'hidi) ont été observés entre avril et août 2009 avec un maximum de 240000 CT dans la ST.8 et 24000 CT dans la ST.7 (PL. Ben M'hidi Poste 4) en juillet suivie de la St.11 (PL. Ben M'hidi. Camp de toile) avec 14000 CT en mai et 11000 CT en avril (Fig. 46).

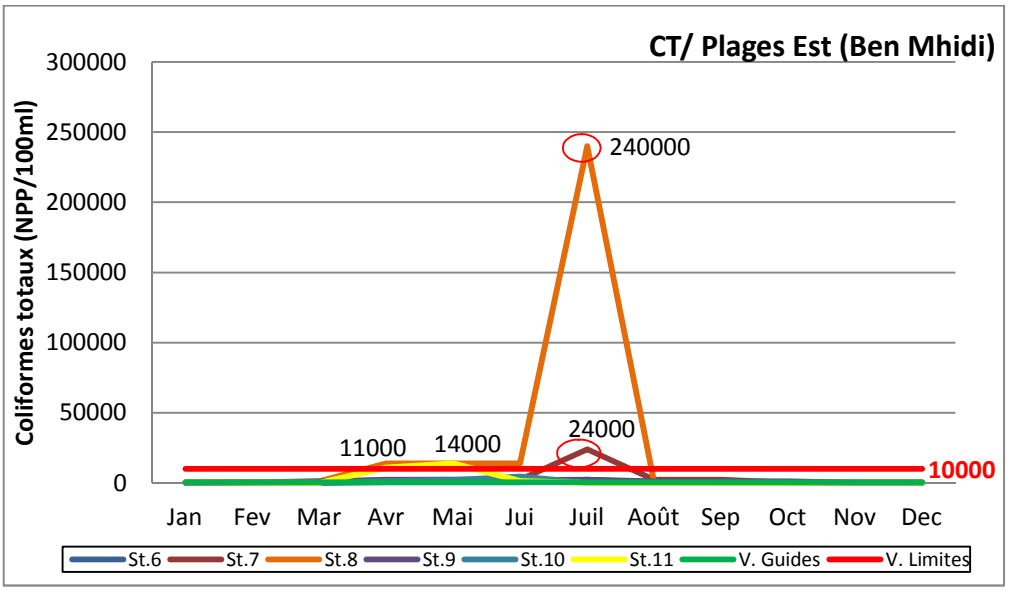

Figure 46: Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des plages de Ben M'hidi.

Pour les plages de la zone Ouest (Stora), un dépassement important équivalent à 4 fois la valeur limite règlementaire pour la St.22 (PL. Mollo) et 2 fois la valeur limite règlementaire pour la St.23 (PL. Miramare) est observé (Fig.47).

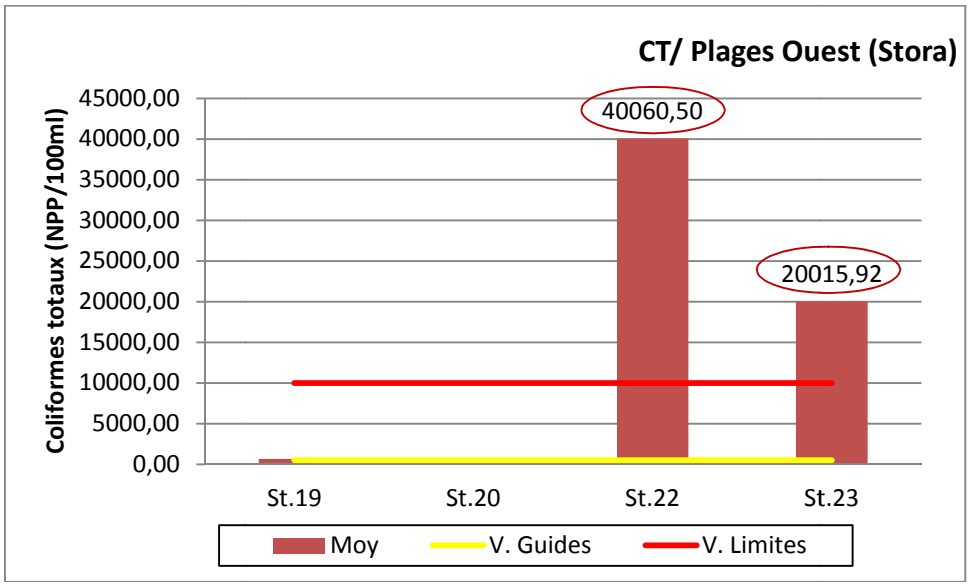

Figure 47: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des plages de Stora.

Ces dépassements équivalents à 240000 CT sont observés en juillet et en septembre (Fig.48), ils sont probablement dus aux apports ponctuels (estivants, été) en plus de la présence de l'Oued Mdini dont l'embouchure se situe au niveau de la St.23 correspondant à la plage Miramare.

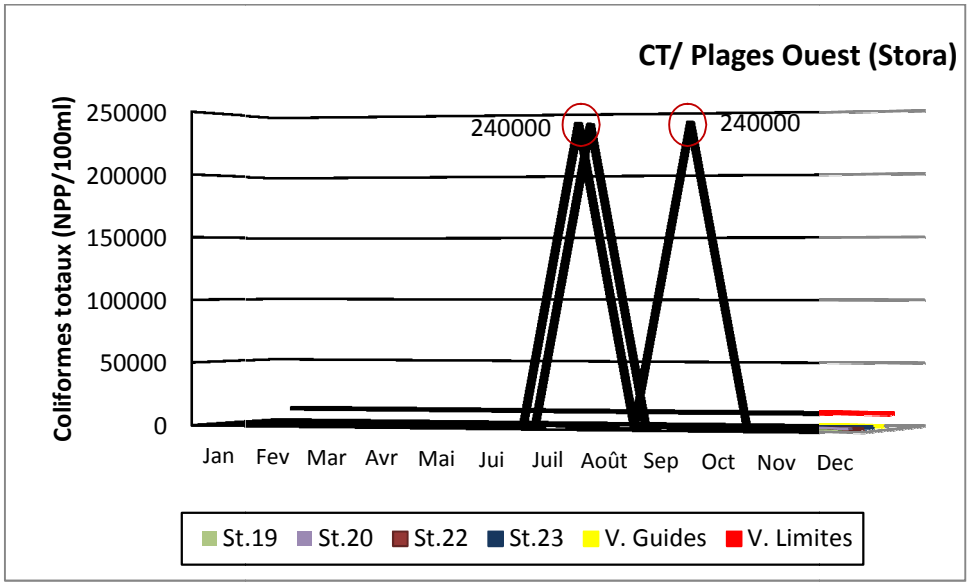

Figure 48: Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des plages de Stora.

Pour ce qui est des rejets industriels, la St.14 (GL1/K) sort du lot avec une valeur moyenne de 83075 CT/100 ml ce qui équivaut à plus de 8 fois la valeur limite règlementaire. Les eaux de la St. 12 (RA1/K) et de la St.13 (C1P/K) sont quand à elles en conformité avec la règlementation en vigueur (Fig. 49).

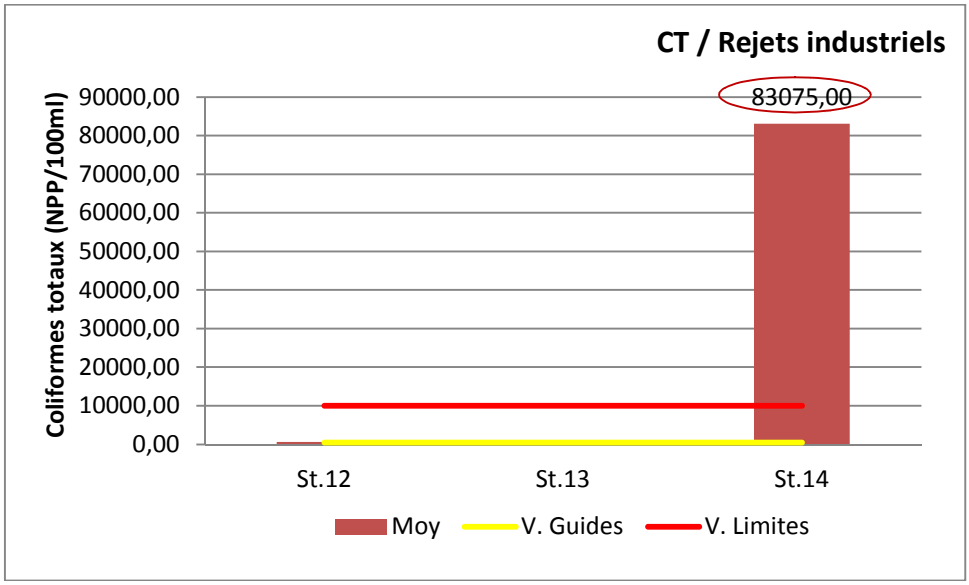

Figure 49: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des rejets industriels.

Nous notons mensuellement le dépassement des valeurs règlementaires pour la St.14 de février à octobre 2009 (Fig. 50). Ce résultat nous oblige à remettre en question l'efficacité du traitement biologique des effluents mis en place dans ce complexe.

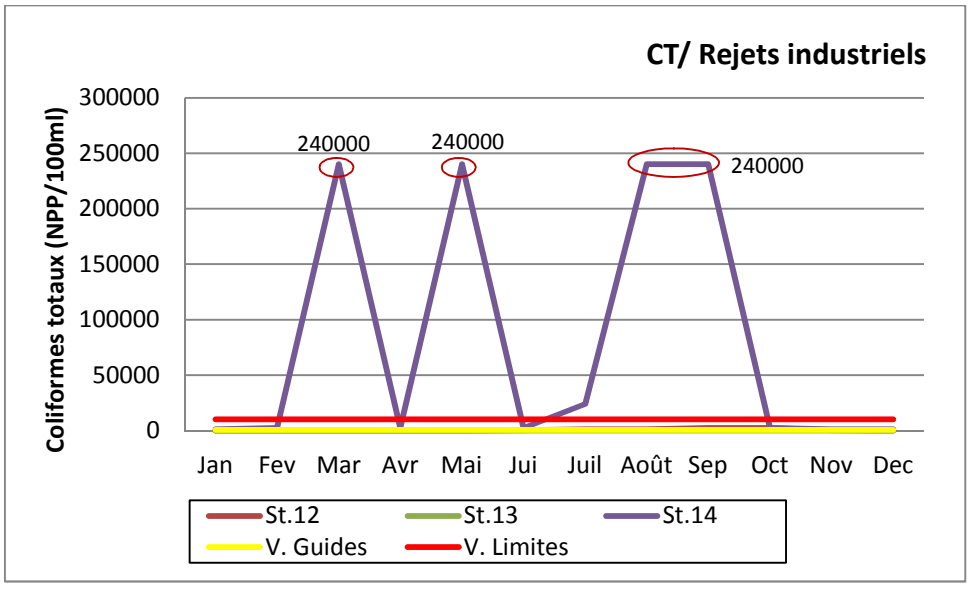

Figure 50: Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des rejets industriels.

Dans les eaux des 3 ports de Skikda, on observe, des niveaux de contamination globalement stables et conformes à la réglementation en vigueur notamment pour la St.15 (Nouveau port- hydrocarbures) et St.18 (ancien port- mixte) et ce malgré la présence de rejets urbains dans les eaux de l'ancien port. En revanche, dans la St.21 (Port de pêche) la moyenne du nombre des CT est de 91790CT/100 ml elle est 9 fois supérieure aux valeurs règlementaires malgré le traitement des eaux résiduaires urbaines rejetées à ce niveau, l'efficacité d'un traitement désinfectant en amont est donc remise en question (Fig. 51).

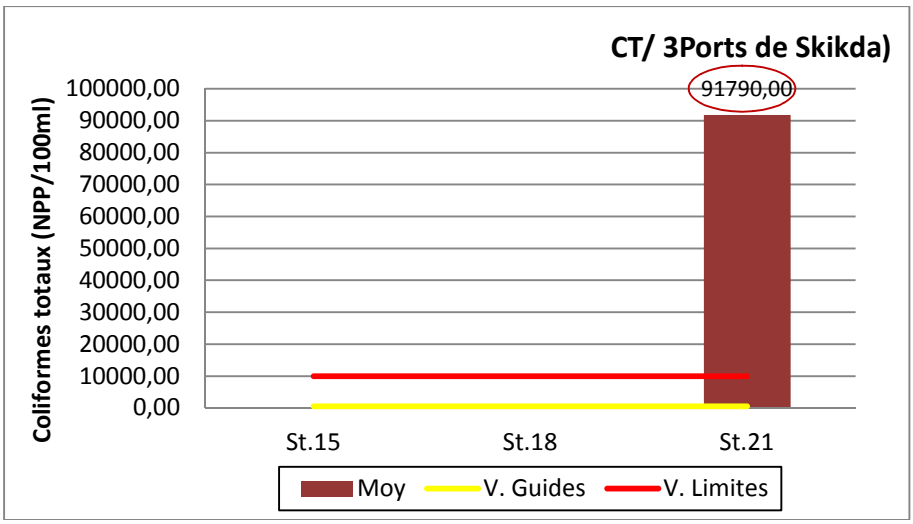

Figure 51: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux des ports de Skikda.

De même pour l'Oued Safsaf (St.16), nous ne pouvons que constater une inefficacité du traitement désinfectant des divers rejets déversés dans ce cour d'eau vu que le nombre des CT atteint 201109 CT/100 ml équivalent à 20 fois la valeur règlementaire (Fig. 52).

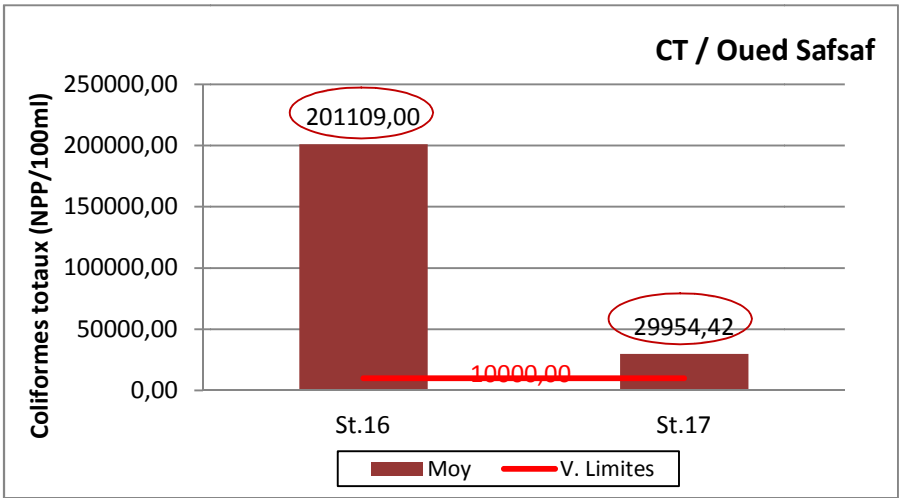

Figure 52: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux de l'Oued Safsaf.

La grande plage dans la commune de Ain Zouit ou se trouvent les St.24 et St.25avec les NPP moyens respectifs de 2,83 CT/100ml et de 0,92 CT/100ml semble être une zone vierge dépourvue de toute forme de pollution microbienne (Fig. 53) et ce malgré la présence de rejets domestiques, cela semble t-il n'altère en aucun cas la qualité des eaux réceptrices.

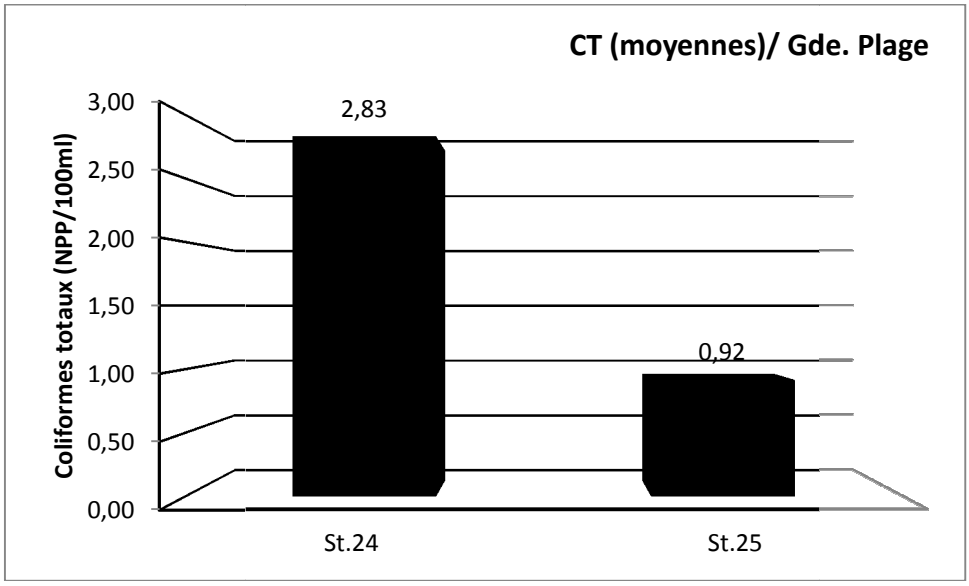

Figure 53: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes totaux (CT) dans les eaux de la Grande Plage (Commune de Ain Zouit).

2.2. Coliformes fécaux

D'un point de vue global, les résultats statistiques de la quantification des CF indiquent une variation spatiale significative avec $P \leq 0,05$.

La distribution spatiale du NPP (moyenne) des CF dans les eaux des plages de la commune de Filfila est illustrée par la figure 54. Il est évident que les valeurs observées sont bien loin des valeurs limites règlementaires qui sont de 100-2000CF / 100 ml ce qui nous permet de classer ces eaux comme étant de bonne qualité microbiologique.

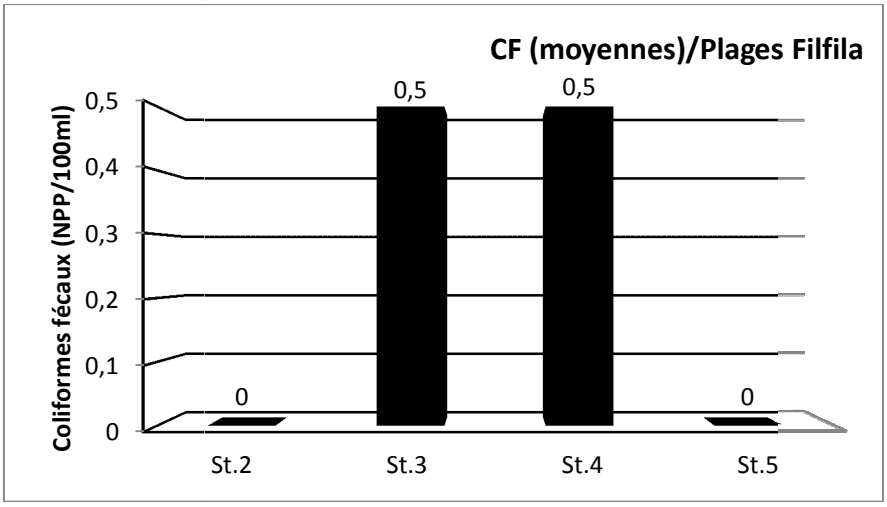

Figure 54: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux des plages de la commune de Filfila.

Pour les plages de Ben M'hidi en région Est de la commune de Skikda, une conformité à la règlementation en vigueur est observée dans toutes les stations considérées à l'exception de la St.8 (PL. Ben M'hidi P.3) ou l'on observe une valeur moyenne de 916,76 CF/100ml (Fig. 55) dépassant la valeur guide règlementaire de 100 CF / 100ml. La variation temporelle indique une absence totale des CF dans cette station tout au long de l'année. Cependant, en juillet nous avons noté la présence de bactéries avec le NPP de 11000 CF/100ml dépassant ainsi la valeur guide et la valeur limite (2000 CF / 100 ml) indiquant ainsi une contamination fécale ponctuelle. Ceci est en rapport direct avec l'aspect récréatif des eaux de cette zone surtout en cette période de l'année ou le nombre d'estivants est à son apogée.

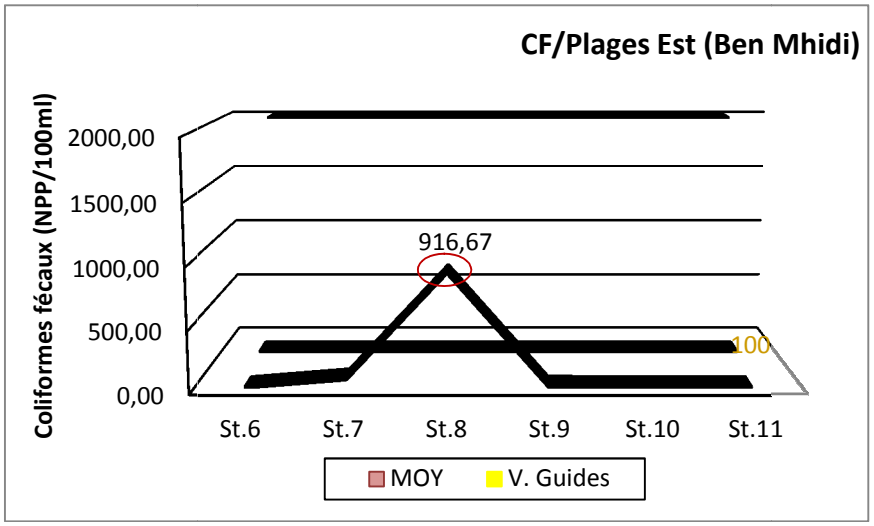

Figure 55: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux des Plages Est (Ben M'hidi).

Les plages de la zone Ouest (Stora) ne présentent aucune pollution d'origine fécale (Fig. 56), pourtant d'un point de vue temporelle nous observons un dépassement de la valeur guide de 100 CF/100ml dans la St. 20 (plage Militaire) et la St.22 (plage Mollo) en septembre et octobre indiquant ainsi une contamination fécale ponctuelle.

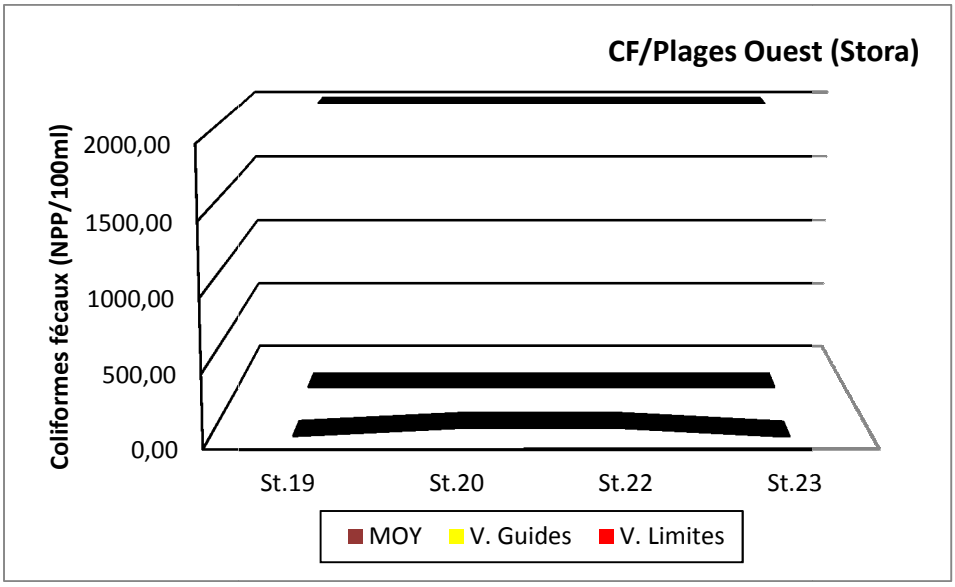

Figure 56: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes fécaux (CF) au niveau des Plages Ouest (Stora).

La variation spatiale des valeurs moyennes du NPP des CF dans les rejets industriels retenus dans notre étude est illustrée par la figure 57, nous constatons une conformité à la règlementation en vigueur avec un maximum de 60,67 CF/100ml dans la St.14 (GL1/K).

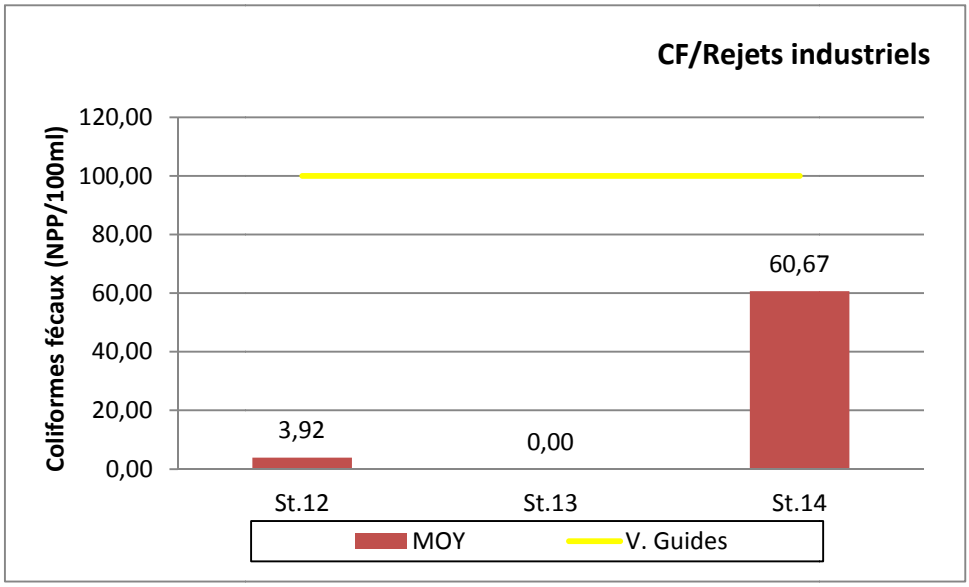

Figure 57: Représentation graphique de la variation spatiale des moyennes du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux des rejets industriels de Skikda.

Il apparait claire à travers la figure 58 que le NPP des CF dans les eaux de la St.14 (GL1/K) est assez variable d'un point de vue temporel avec des valeurs proches de la valeur guide règlementaires pratiquement toute l'année.

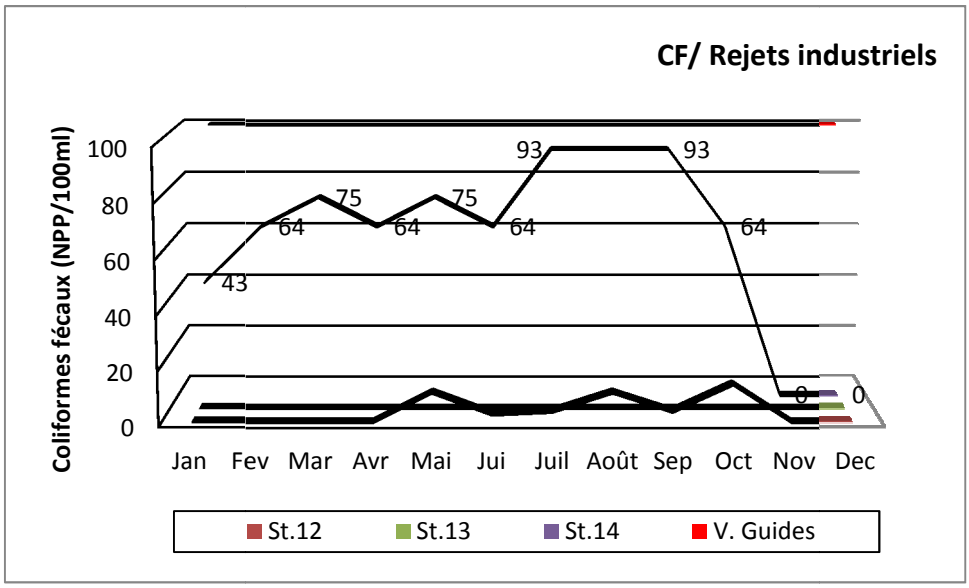

Figure 58 : Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux des rejets industriels de Skikda.

Avec une moyenne de 190,92 CF/100 ml, le port de pêche de Stora se distingue des 3 ports considérés dans notre étude (Fig. 59), cette valeur moyenne est au dessus de la valeur guide ce indiquant une contamination fécale qui ne peut que provenir des rejets des eaux urbaines déversant dans ce port.

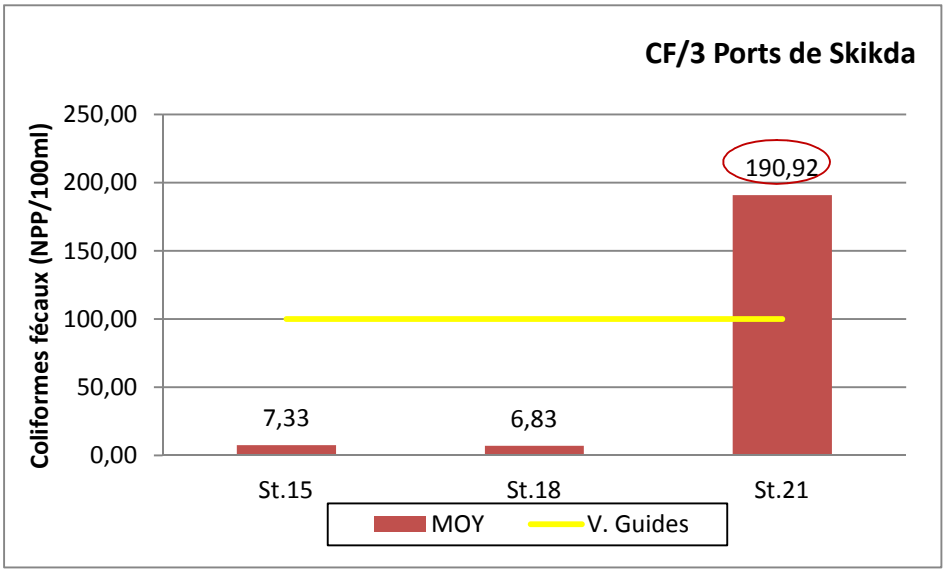

Figure 59: Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux des ports de Skikda.

Le dépassement de la valeur guide observé dans les eaux du port de pêche de Stora est quasi permanent le long de l'année 2009. En effet, présent 10 mois/12 justifiant l'urgence de revoir l'efficacité du traitement des eaux usées en amont (Fig. 60).

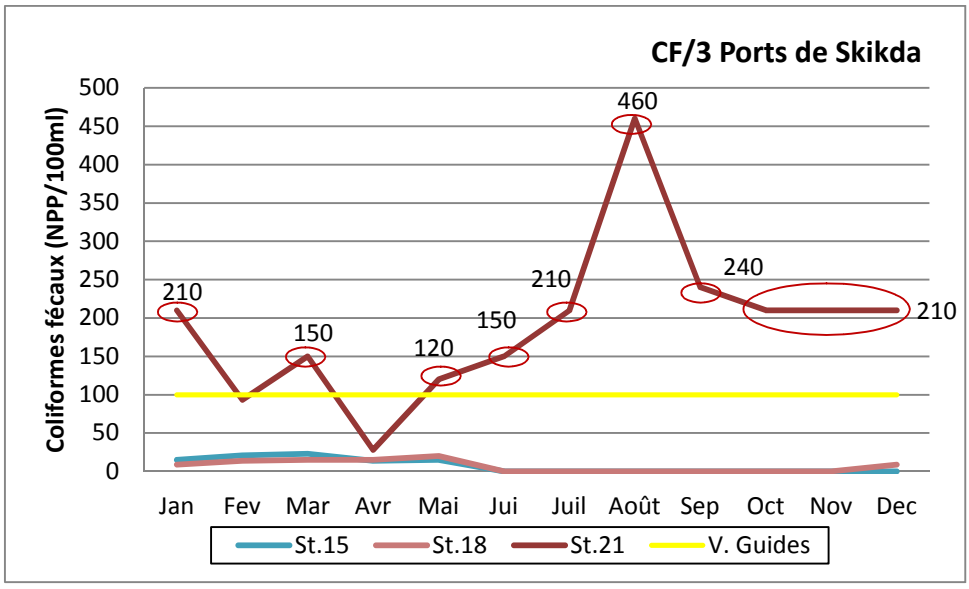

Figure 60: Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux des ports de Skikda.

L'oued Safsaf (St.16) et le point chaud (St.17) se caractérisent par les moyennes respectives de 9294,58 CF/100ml et de 9319,75 CF/100ml, ces valeurs sont plus de 4 fois supérieures à la valeur limite règlementaire qui est de 2000CF/100ml ce qui est indicateur

d'une contamination fécale non négligeable provenant des rejets urbains et industriels en amont.

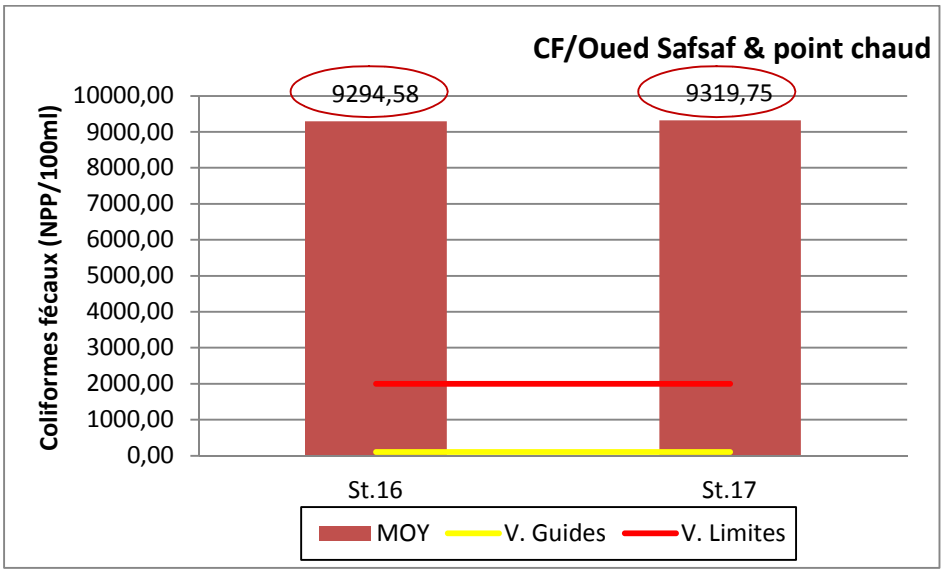

Figure 61: Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux de l'oued Safsaf et du point chaud.

Selon la figure 62, le dépassement de la valeur limite dans les eaux de l'oued Safsaf (St.16) et du point chaud (St.17) est observé principalement en octobre, le reste du temps, le dépassement n'est observé que pour la valeur guide ce qui indique la nécessité d'une surveillance continue de la qualité des eaux rejetées en amont.

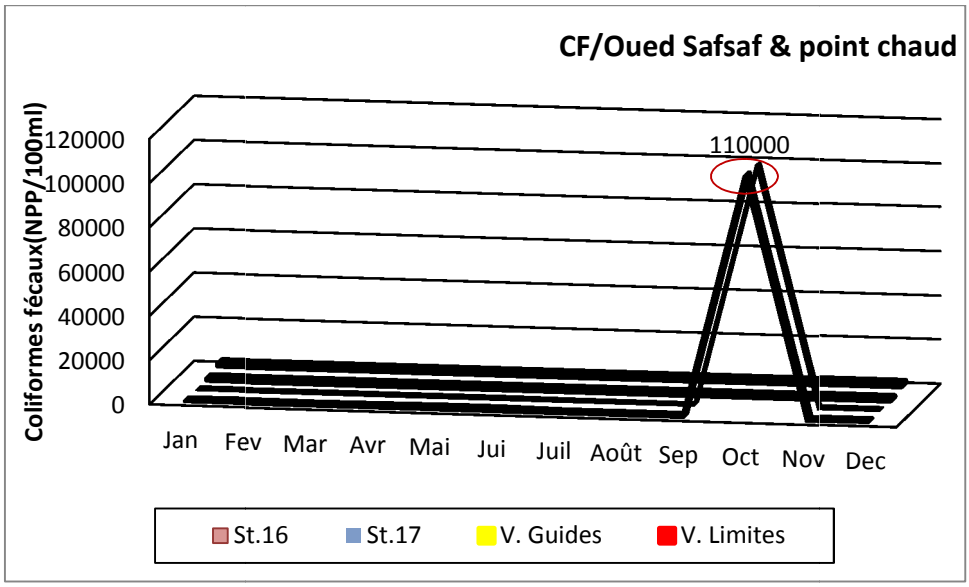

Figure 62: Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des coliformes fécaux (CF) dans les eaux de l'oued Safsaf et du point chaud.

2.3. Streptocoques fécaux

L'analyse statistique des résultats de la quantification des SF montre des différences hautement significatives d'un point de vue spatiotemporel avec $P \leq 0{,}001$. En effet, la distribution des streptocoques fécaux (SF) est variable en fonction des mois et des stations.

Nous constatons la présence des SF dans les eaux de différentes stations considérées (plages de la zone Est / Filfila) avec une valeur moyenne maximale de 5,75 SF/100ml pour les St.2 et 3 correspondant respectivement à la plage Ben M'hidi Poste 8 et à la plage Ben M'hidi Poste 7 et une valeur moyenne minimum de 3,17 SF/100ml pour la St.5. Toutes ces valeurs demeurent en dessous de la valeur guide qui est de 100 SF/100ml ce qui nous permet de classer les eaux de ces plages dans la catégorie des eaux de bonne qualité microbiologique selon la règlementation Algérienne (Fig. 63).

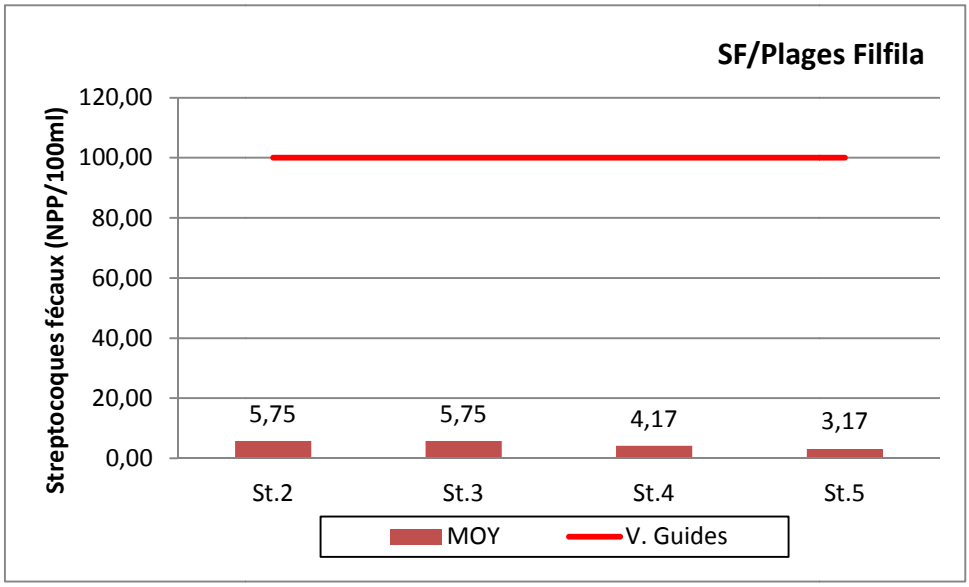

Figure 63: Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des plages de Filfila.

Les variations temporelles du NPP des SF dans les eaux des plages de Filfila (Fig. 64) nous permettent de constater que leur présence n'est observée qu'en période estivale entre juillet et octobre avec des maximas automnaux de 43 SF/100ml dans la St. 3 (PL. Filfila poste 7) et la St.4 (PL. Filfila poste 6).

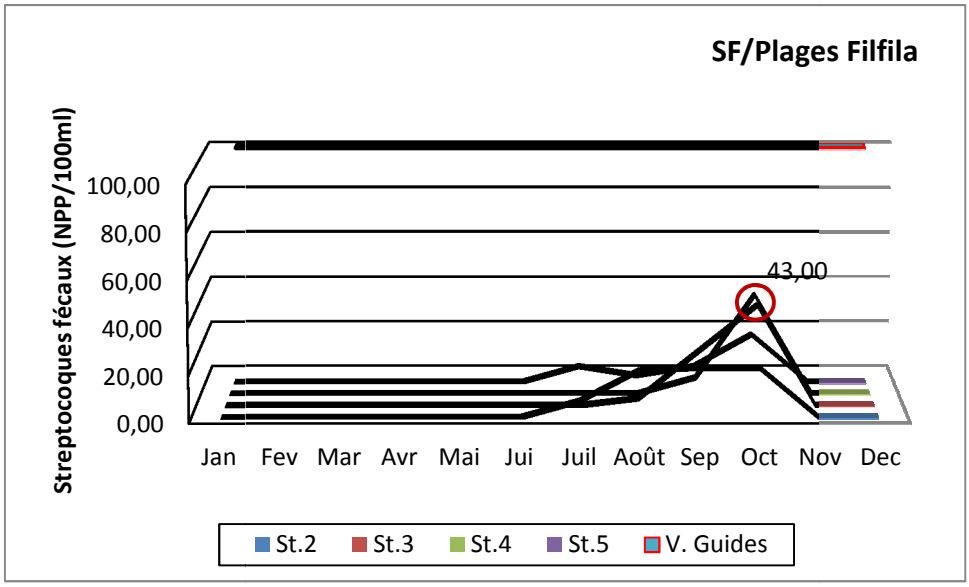

Figure 64: Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des plages de Filfila.

Les valeurs moyennes observées dans les eaux des plages de la région Est de la zone d'étude de Ben M'hidi sont assez variables et en dépassement de la valeur guide règlementaire de 100 SF/100 ml à l'exception de la St. 6 (PL. Ben M'hidi poste 5) et la St. 10 (PL. Ben M'hidi poste 1) où nous observons une conformité avec la règlementation en vigueur (Fig. 65).

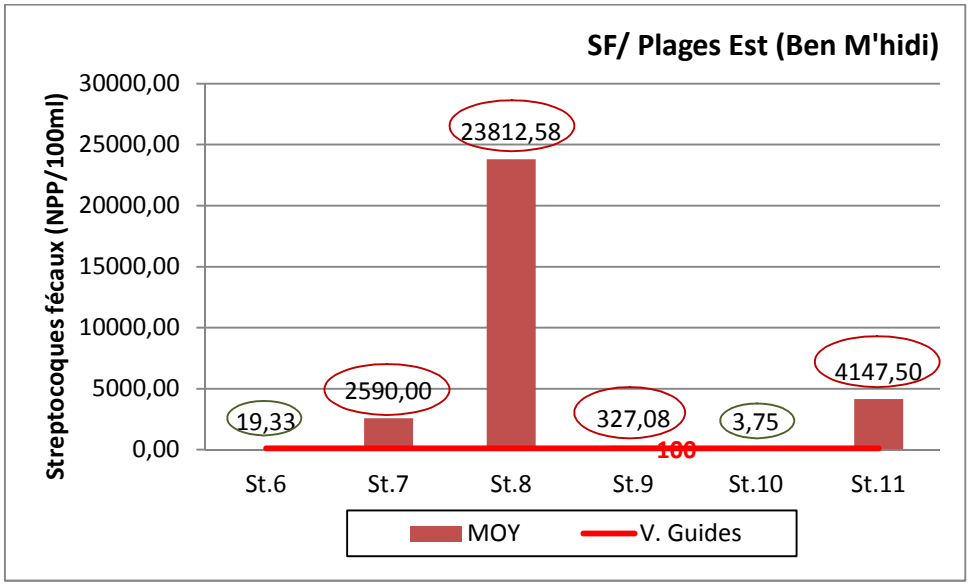

Figure 65: Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des plages de la zone Est (Ben M'hidi).

La valeur moyenne maximale de 23812,58 SF/100ml est observé pour la St.8 (poste 3 de la plage de Ben M'hidi) et une valeur moyenne minimale de 3,75 SF/100ml pour la St.10 (poste 1 de la plage de Ben M'hidi).

Néanmoins, la variation spatiale des SF dans les eaux de ces plages (Fig. 66) indique des pics principalement en saison estivale avec un maximum en juillet de 240000 SF/100ml dans la St.8 (PL. Ben M'hidi poste 3) suivie de la St. 11 (Camp de toile de Ben M'hidi) avec 11000 SF/100ml du fait de la présence de nombreux estivants dans ces plages pendant l'été.

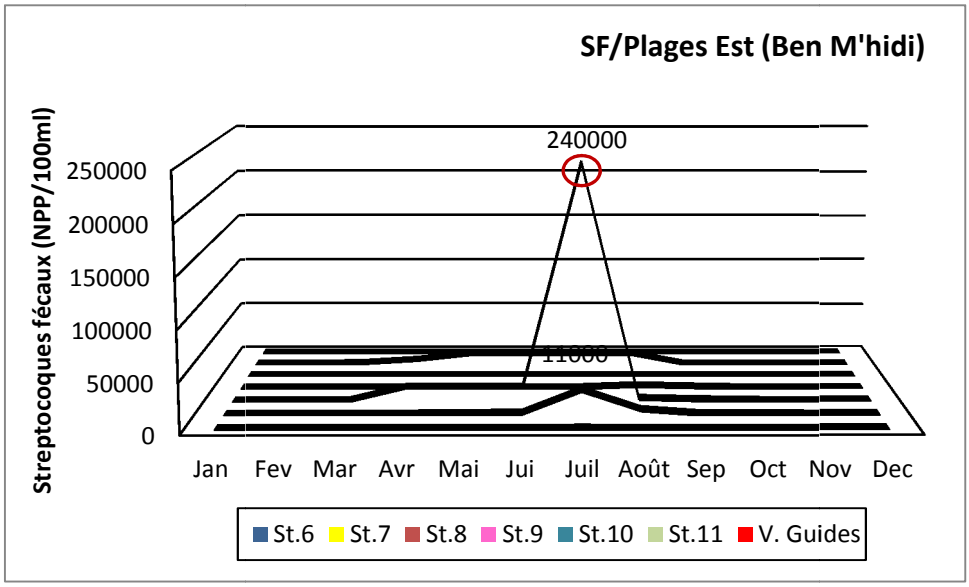

Figure 66: Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des plages de la zone Est (Ben M'hidi).

Les valeurs moyennes observées dans les eaux des plages de la région Ouest (Stora) sont assez variables (Fig. 67) et en dépassement de la valeur guide règlementaire (100 SF/100ml). La valeur moyenne maximale de 20201,25 SF / 100 ml est observé pour la St.23 (plage Miramare) et une valeur moyenne minimale de 242,83 SF/100ml pour la St.19 (plage Marquette) et la St.20 (plage Militaire).

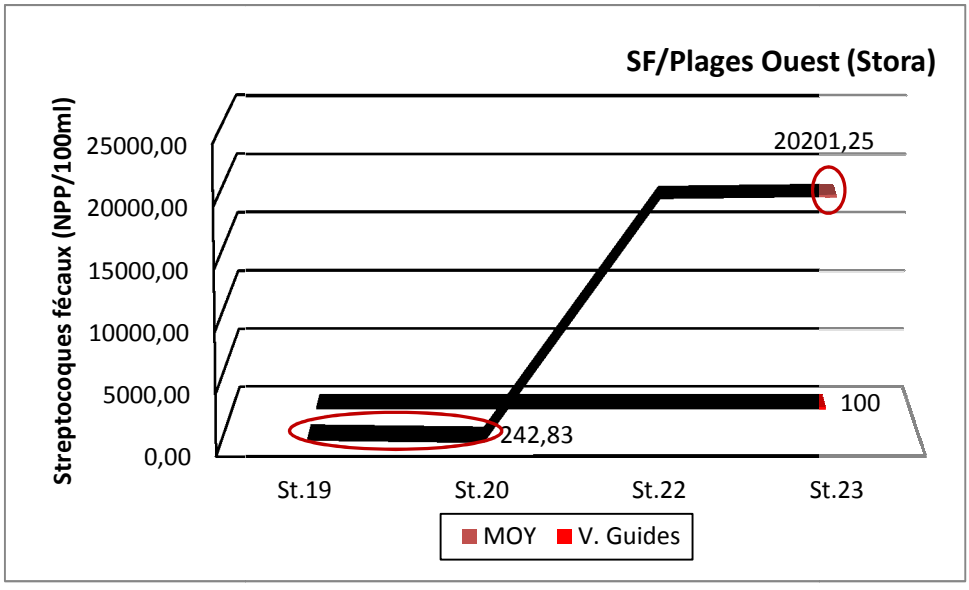

Figure 67: Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des plages de la zone Ouest (Stora).

Les plages de la zone Ouest sont également caractérisées par des pics en saison estivale avec des dépassements de la valeur guide (Fig. 68).

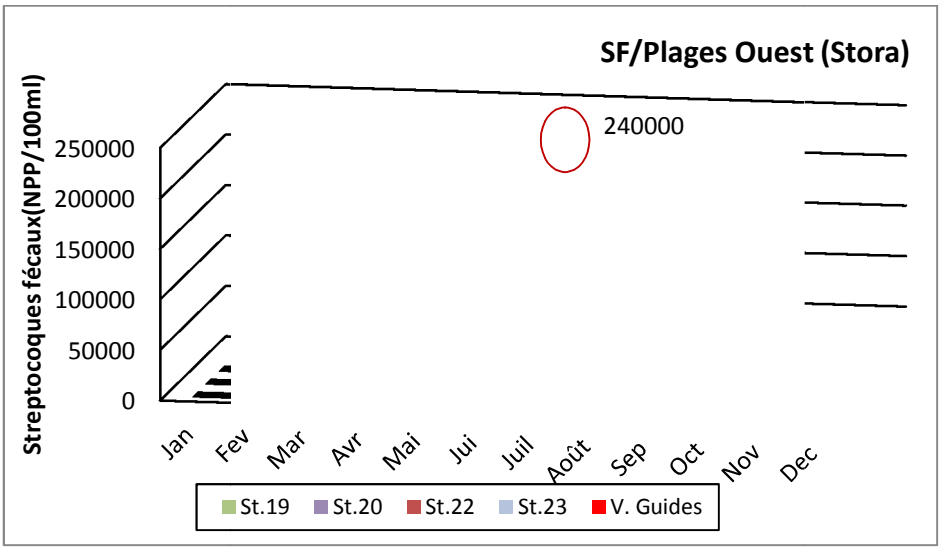

Figure 68 : Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des plages de la zone Ouest (Stora).

Les streptocoques fécaux sont omniprésents dans les eaux des 3 rejets industriels retenus (Fig. 69), la valeur moyenne maximale de 390 SF/100ml est observée au niveau de la St.14 (Rejet GL1/K) et une valeur moyenne minimale de 92,42 SF/100ml observée dans la St.12 (Rejet RA1/K). Un dépassement de la valeur guide est observé pour les stations 13 (C1P/K) et 14 (GL1/K) ce qui indique une non-conformité de ces rejets avec la règlementation en vigueur.

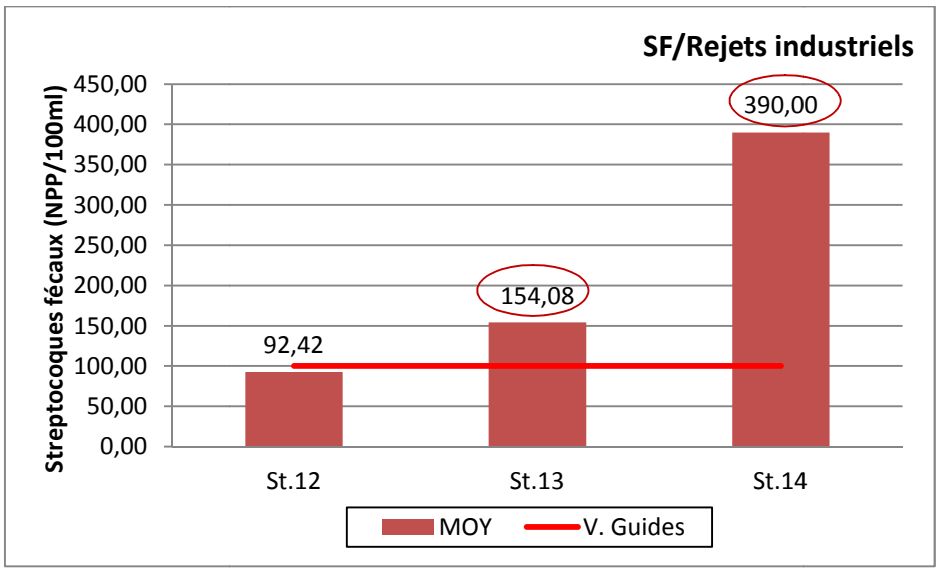

Figure 69: Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des rejets industriels.

Un dépassement de la valeur guide est observé tout au long de l'année dans les eaux des 3 rejets industriels avec une spécificité pour la St. 13 (CP1/K) où 2 pics sont observés en mai (460 SF/100ml) et en septembre (210 SF/100ml) et la St. 14 (GL1/K) avec également 2 pics équivalant à 1100 SF/100ml en juin et en octobre (Fig. 70). Dans les eaux de la St. 12 (RA1/K) un maximum de 240 SF/100ml est observé en juillet et en octobre. Ceci implique la nécessité de reconsidérer le traitement biologique des effluents de ces complexes ainsi que l'intervention de l'ANPE de Skikda.

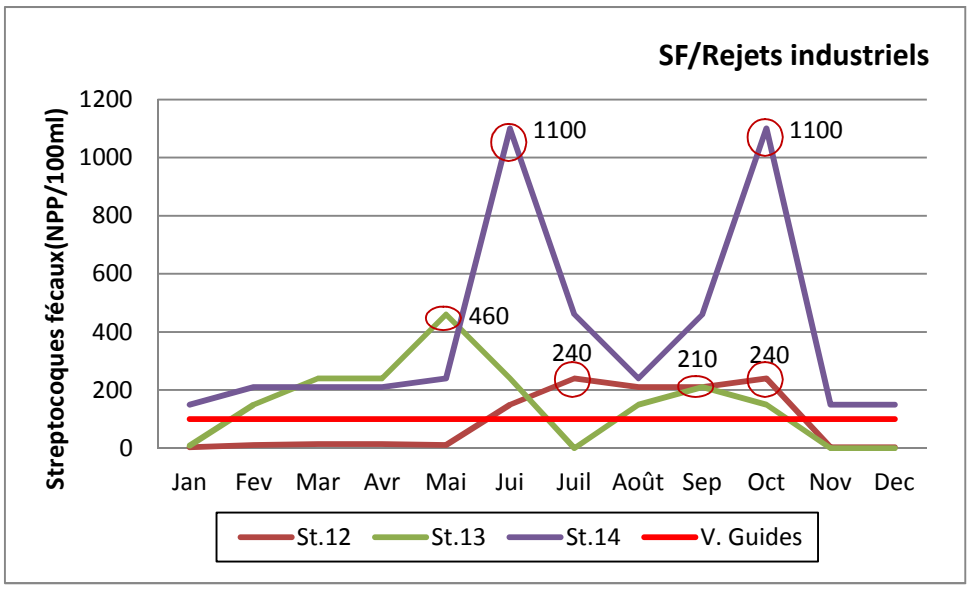

Figure 70: Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des rejets industriels.

La distribution spatiale des SF dans les eaux des 3 ports de Skikda montre une conformité des valeurs moyennes observées pour la St.15 (Nouveau port- hydrocarbures) et la St.18 (Ancien port) avec la valeur guide règlementaire, cependant avec 60837,50 SF/100ml un dépassement important de cette valeur guide est observé pour la St.21 (Port de pêche de Stora) au niveau de laquelle il y a des rejets urbains pouvant être des sources potentielles de cette contamination (Fig. 71).

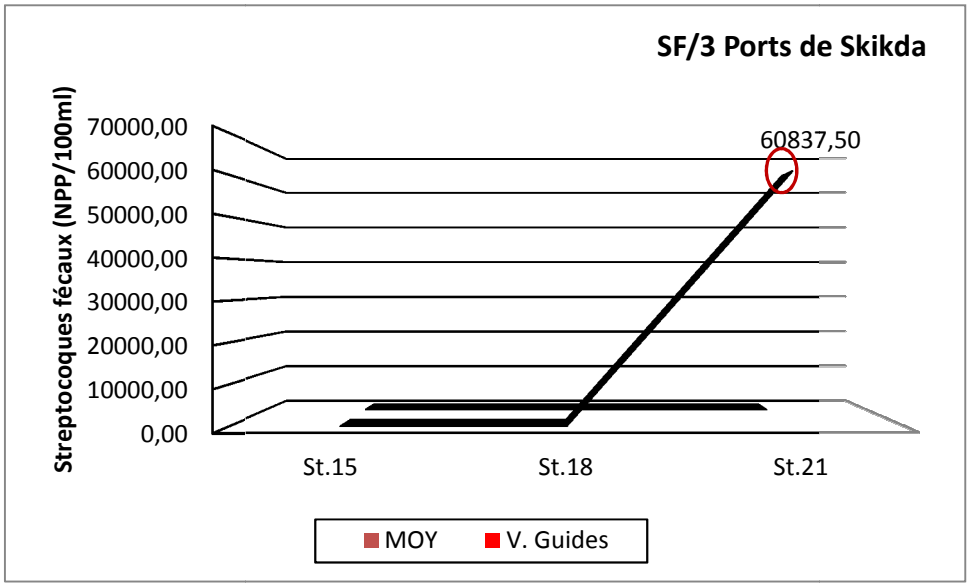

Figure 71: Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux des ports de Skikda.

La distribution temporelle des SF dans les eaux du port de pêche de Stora présente des valeurs supérieures à la valeur guide de façon quasi permanente avec un pic de 240000 SF/100ml en mai suivi d'un plateau jusqu'à juillet (Fig. 72). Cela confirme l'inefficacité du traitement des effluents en amont et la nécessité de le reconsidérer.

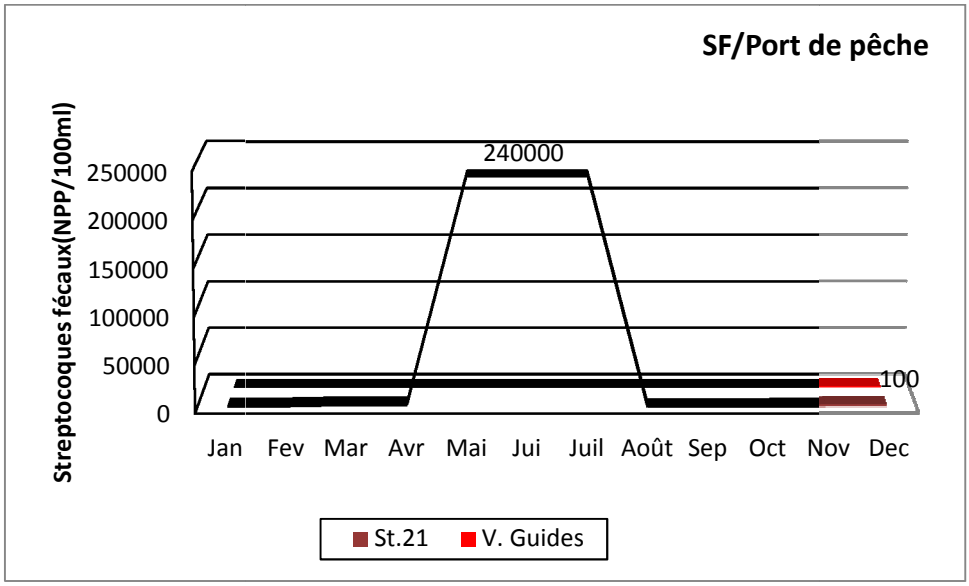

Figure 72: Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux du port de pêche de Stora.

Les valeurs moyennes des SF observées pour la St.16 (Oued Safsaf) et la St.17 (Point chaud) sont supérieures à la valeur guide règlementaire (Fig.73). Ces valeurs moyennes relativement élevées s'expliquent par le fait que l'Oued Safsaf (St.16) est le réceptacle de divers effluents industriels et urbains (avec ou sans traitement préalable), le point chaud (St.17) non loin de l'embouchure de l'Oued Safsaf est également sous l'influence de ces divers rejets.

La valeur moyenne maximale de 390,25 SF / 100 ml est observé au niveau de l'Oued Safsaf (St.16) et la valeur moyenne minimale de 245,83 SF/100 ml est observée au niveau du point chaud. Ces valeurs sont plus de 2 fois supérieures à la valeur guide règlementaire.

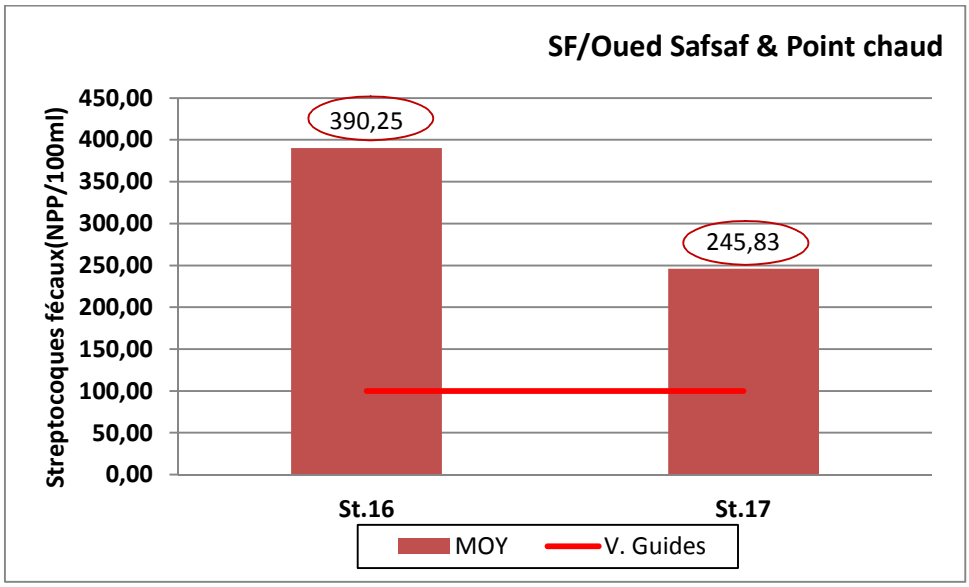

Figure 73: Représentation graphique de la variation spatiale du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux de l'Oued Safsaf et du point chaud.

La variation temporelle du NPP des SF dans les eaux de l'oued Safsaf (St.16) et du point chaud (St.17) est illustrée par la figure 74. Nous notons 2 pics distincts en période hivernale (1400 SF/100ml) et automnale (2400 SF/100ml) pour la St.16 ce qui correspond au lessivage suite aux crues survenant en ces périodes de l'année, il en est de même pour le point chaud où nous observons un pic en période automnale équivalant à 2400 SF/100ml. Ces valeurs sont en dépassement de la valeur guide règlementaire.

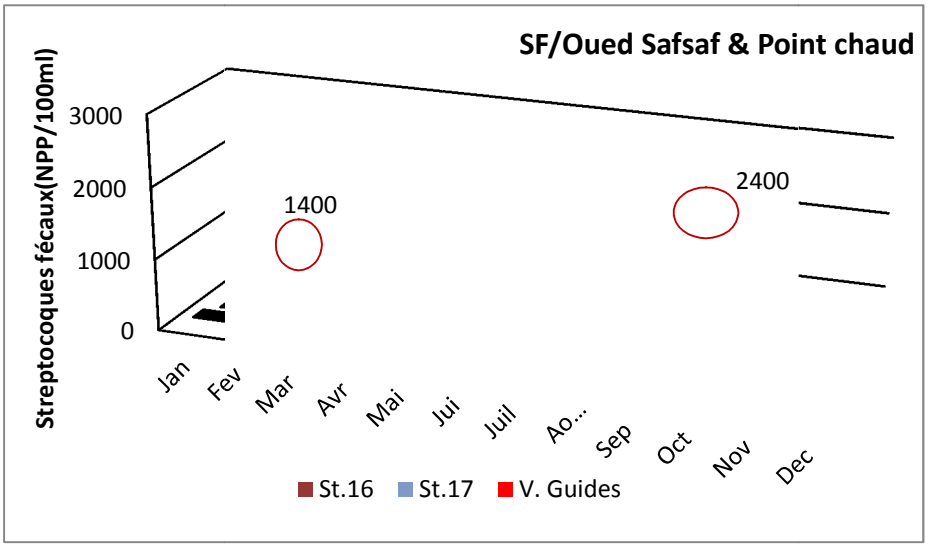

Figure 74: Représentation graphique de la variation temporelle du NPP des streptocoques fécaux (SF) dans les eaux de l'Oued Safsaf et du point chaud.

Indice de Bourgeois (1980)

Avec des valeur de 37,91 pour la St.17 (point chaud) et de 23,82 pour la St.16 (Oued Safsaf), l'indice de Bourgeois (1980) est supérieure à 1 indiquant ainsi que la contamination bactérienne au niveau de ces stations est principalement d'origine humaine. En effet, ces 2 stations reçoivent divers rejets urbains de la ville sans aucun traitement préalable pour la plupart d'entre eux. Dans les eaux des autres stations l'indice de Bourgeois (1980) indique une origine animale ceci s'explique par la spécificité des activités en amont pour la plupart de ces stations à vocation agricole.

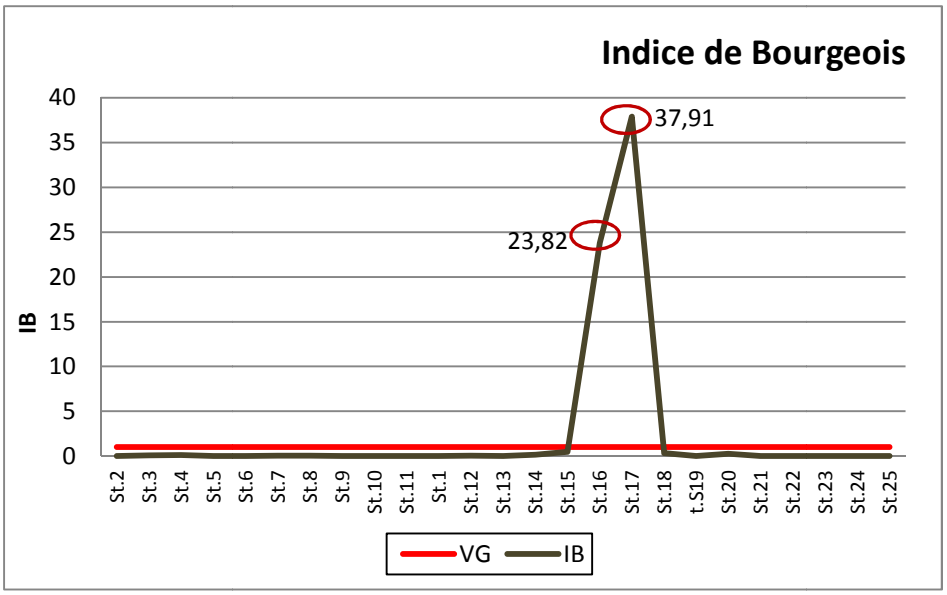

Figure 75: Représentation graphique de la variation de l'Indice (IB) de Bourgeois (1980).
(VG : valeur guide, IB : Indice de Bourgeois).

3. Paramètres organiques: Les hydrocarbures totaux

L'analyse des résultats obtenus lors du suivi de la variation spatiale des hydrocarbures totaux nous a permis de mettre en évidence une différence hautement significative avec $P \leq 0{,}001$ et une valeur moyenne maximale de 49,11 ppm pour la St.12 (Rejet RA1/K) et une valeur moyenne minimale de 0,75 ppm pour la St.16 (Oued Safsaf) et une valeur moyenne de 0,54 ppm pour le point de référence (St.1) (Fig. 76).

En comparant les 3 rejets industriels (Fig. 76), on note une différence entre les concentrations mesurées des HCT pour chaque station, en effet, au niveau de la St.12 (Rejet RA1/K) nous observons les taux les plus élevés qui sont près de 5 fois supérieurs aux valeurs limites règlementaires (10 ppm et 15 ppm/tolérance pour les anciennes installations).

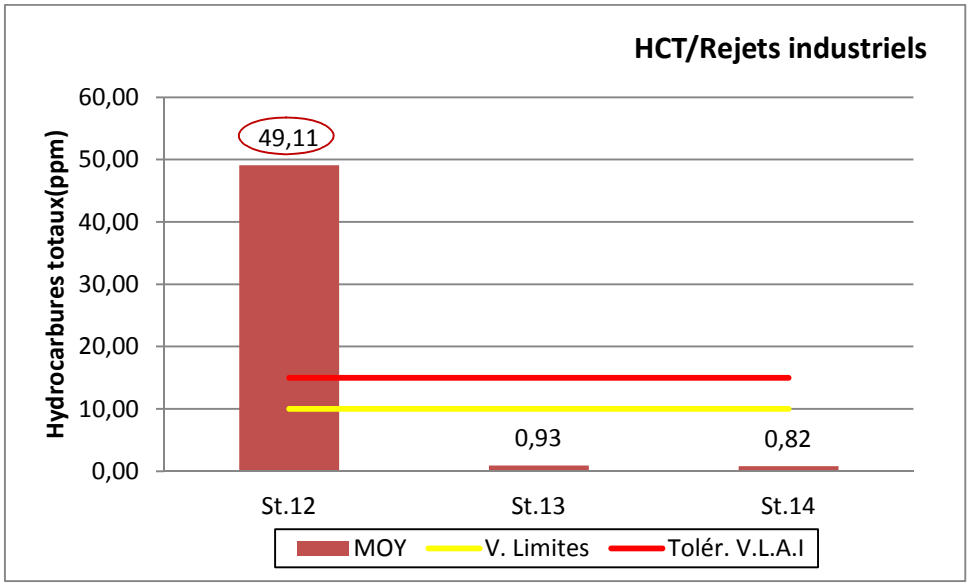

Figure 76: Représentation graphique de la variation spatiale des hydrocarbures totaux dans les eaux des rejets industriels.
(V.Limites : valeur limites, Tolér.V.L.A.I : tolérance à la valeur limite pour les anciennes installations).

Même si la présence des hydrocarbures est observée dans les eaux des rejets des St.13 (Rejet CP1/K) et 14 (Rejet GL1/K), leurs concentrations restent conformes à la règlementation en vigueur tout au long de l'année 2009. En revanche, dans la St.12 (Rejet RA1/K) nous retrouvons des teneurs supérieures aux valeurs limites règlementaires tout le long de l'étude avec un pic en août équivalant à 136,90 ppm (Fig. 77).

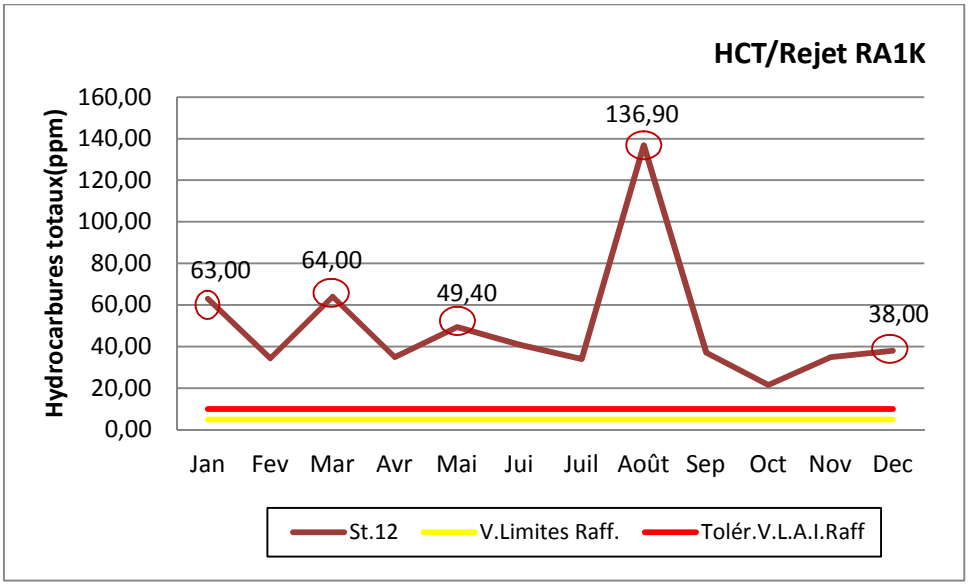

Figure 77: Représentation graphique de la variation temporelle des hydrocarbures totaux dans les eaux du rejet industriel de la raffinerie de Skikda.

(V.Limites Raff: valeur limites pour les raffineries, Tolér.V.L.A.I.Raff: tolérance aux valeurs limites pour les anciennes installations de raffineries).

Dans les eaux du rejet de la St.12 (RA1/K), les dépassements des valeurs règlementaires des teneurs en HCT sont non seulement dus aux différentes pannes qui surviennent dans la station d'épuration mais aussi à l'inefficacité des traitements ce qui implique la nécessité de revoir toute la stratégie de dépollution appliquée au niveau de la raffinerie de Skikda.

La variation spatiale des hydrocarbures totaux dans les eaux des 3 ports est illustrée par la figure 78, il en ressort une nette conformité des valeurs observées au niveau des St.15 (Nouveau port) et 18 (Ancien port) avec les limites règlementaires en vigueur avec les teneurs respectives de 1,39 ppm et 1,05 ppm. Cette conformité est observée tout au long de l'année ce qui indique une vigilance certaine de l'autorité portuaire.

En revanche, pour la St.21 (Port de pêche de Stora), nous observons des teneurs légèrement supérieures aux limites règlementaires avec une valeur moyenne de 12,26 ppm.

Les hydrocarbures rencontrés dans les eaux peuvent provenir de différentes sources : effluents urbains, ateliers de mécanique ou encore bitume des routes. D'autant plus que pendant notre étude le port de pêche subissait des aménagements importants.

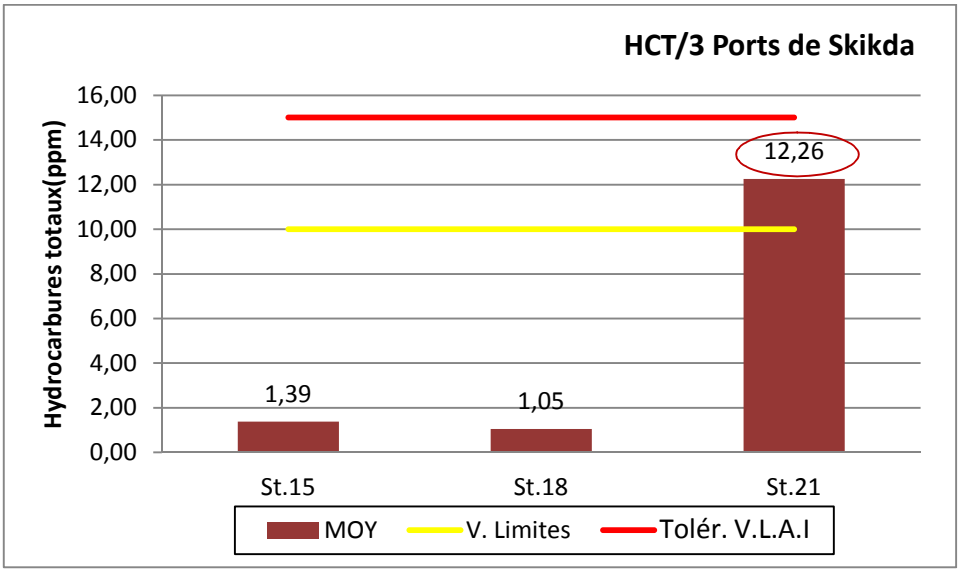

Figure 78: Représentation graphique de la variation spatiale des hydrocarbures totaux dans les eaux des 3 ports de Skikda.
(V.Limites : valeurs limtes, Tolér.V.L.A.I : tolérance aux valeurs limites pour les anciennes installations).

La figure 79, montre que le dépassement des valeurs règlementaires n'est observé que de façon distincte en février avec 47,60 ppm, en mai avec 14 ppm et en décembre avec 43,40 ppm ce qui peut être dû à des déversements accidentels voir intentionnels lors de nettoyage des bateaux de pêche.

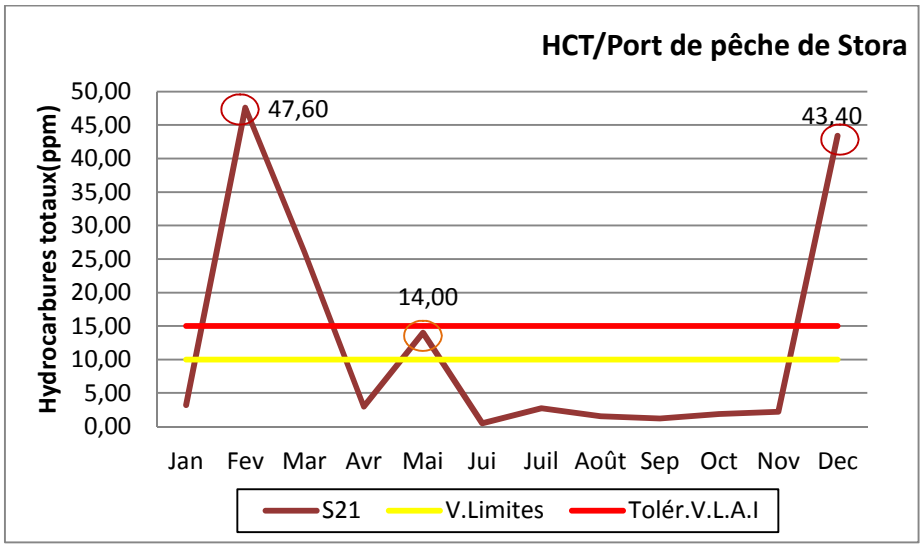

Figure 79: Représentation graphique de la variation temporelle des hydrocarbures totaux dans les eaux du port de pêche de Stora.

4. Eléments traces: Les métaux lourds

L'analyse des résultats obtenus lors du dosage des métaux lourds dans les sédiments marins nous a permis de mettre en évidence une variation spatiale significative avec $P \leq 0,05$ pour les différents éléments.

4.1. Le Zinc

Le Zn est présent avec une nette différence spatiale avec des teneurs en deçà de la limite A des normes Hollandaises. En revanche, la St.18 (ancien port) sort du lot avec une teneur maximale de 175,90 mg/ kg qui est supérieure à la valeur limite A des normes Hollandaises ce qui place le sédiment de cette station dans la classe 2 spécifiant ainsi un sédiment pollué par cet élément.

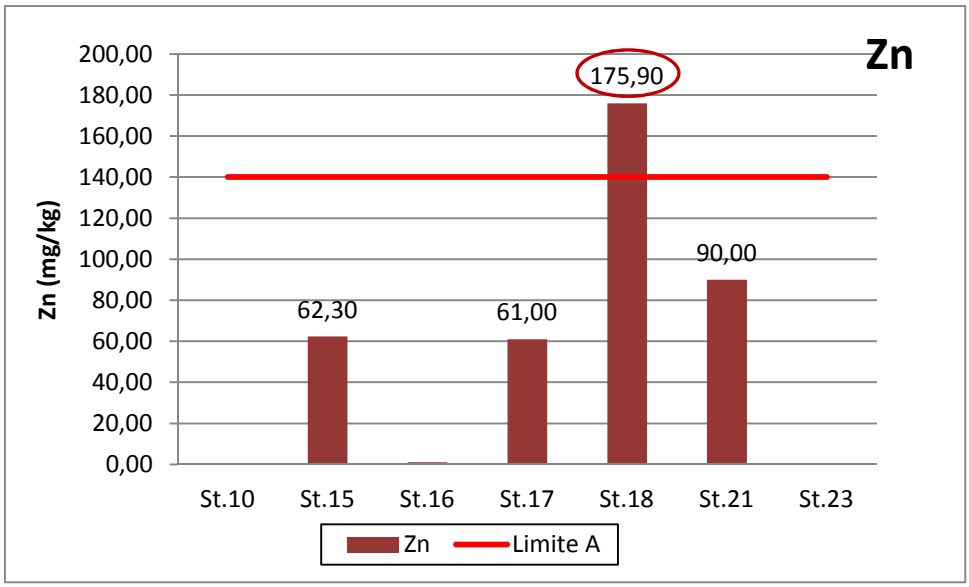

Figure 80: Représentation graphique de la variation spatiale du Zn dans les sédiments.

Si nous devions prendre en considération l'indice de contamination calculé pour le zinc (Fig.81) il en ressort que les sédiments des différentes stations considérés ne présentent aucun état de pollution y compris la St.18 (ancien port) où l'indice de contamination est équivalent à 2 et de ce fait en dessous de la valeur guide qui est de 3.

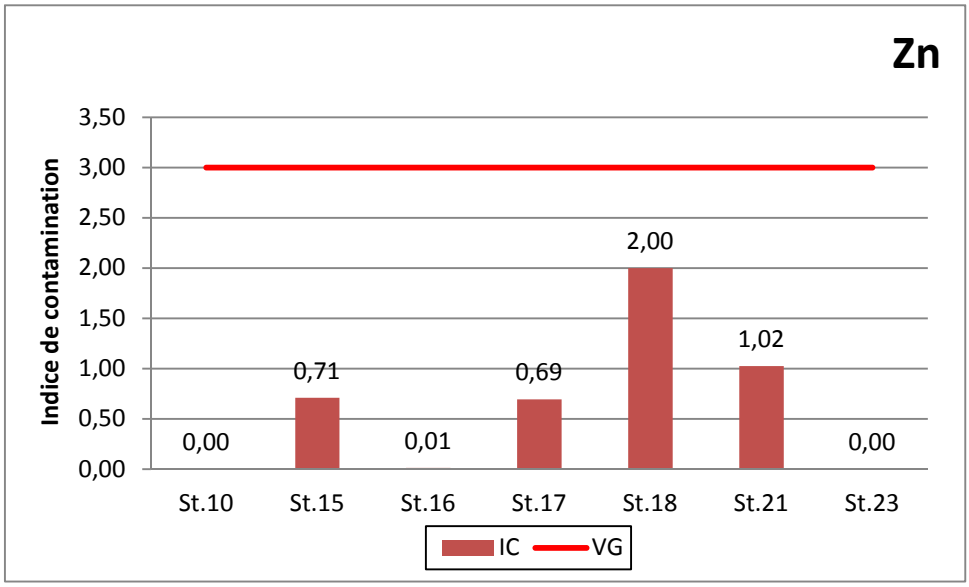

Figure 81: Représentation graphique de l'indice de contamination pour le Zn.

4.2. Le Cuivre

Le cuivre est absent dans la St.10 (poste 1 de la plage Ben M'hidi), la St.16 (Oued Safsaf) et la St.23 (Plage Miramare) alors qu'il est présent dans les stations 15, 17, 18 et 21 avec des teneurs relativement élevées. Les sédiments de la St.17 (Point chaud) et 21 (Port de pêche) sont pollués avec des teneurs respectives de 38,40 mg/kg et 50 mg/kg dépassant la limite A des normes Hollandaises. Toutefois, ces teneurs en Cu restent en dessous des recommandations Algériennes (150 mg/kg) (Fig. 82).

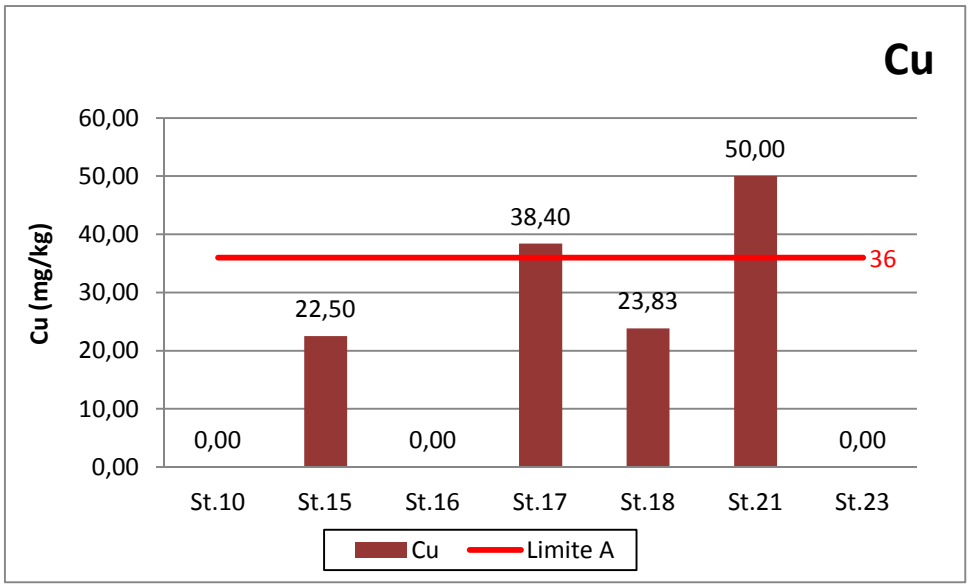

Figure 82: Représentation graphique de la variation spatiale du Cu dans les sédiments.

Selon la figure 83, l'indice de contamination calculé pour le cuivre dans les différentes stations indique l'absence de contamination par cet élément avec un maximum de 1,92 pour la St.21 (port de pêche) et un minimum de 0,87 pour la St.15 (nouveau port) ces valeurs restent en dessous de la valeur guide qui est de 3.

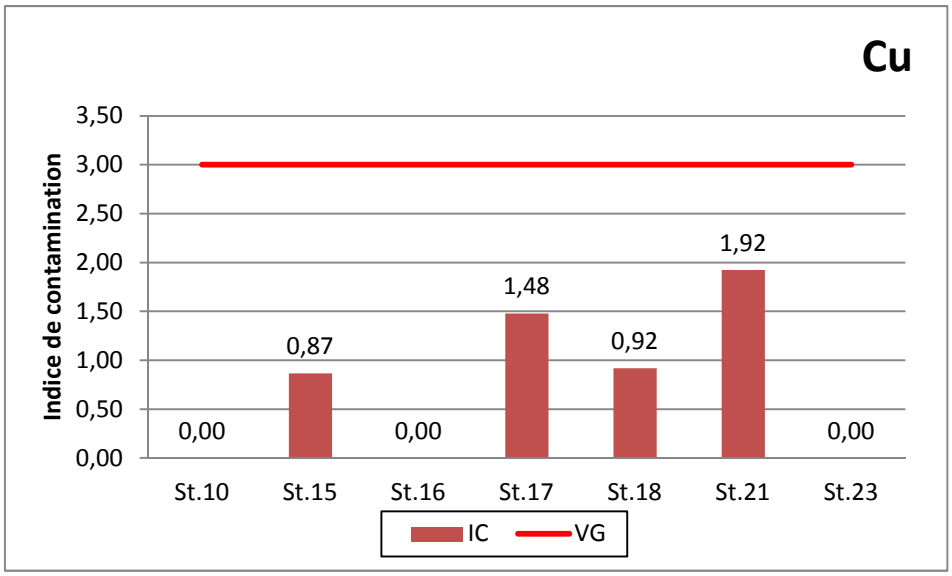

Figure 83: Représentation graphique de l'indice de contamination pour le Cu.

4.3. Le Chrome

Le chrome est présent dans toutes les stations retenues avec des teneurs inférieures à la valeur limites A des normes Hollandaises (Fig.84). Le chrome pur est assez peu employé dans l'industrie, mise à part la fabrication des aciers spéciaux ; par contre, ses dérivés sont très utilisés.

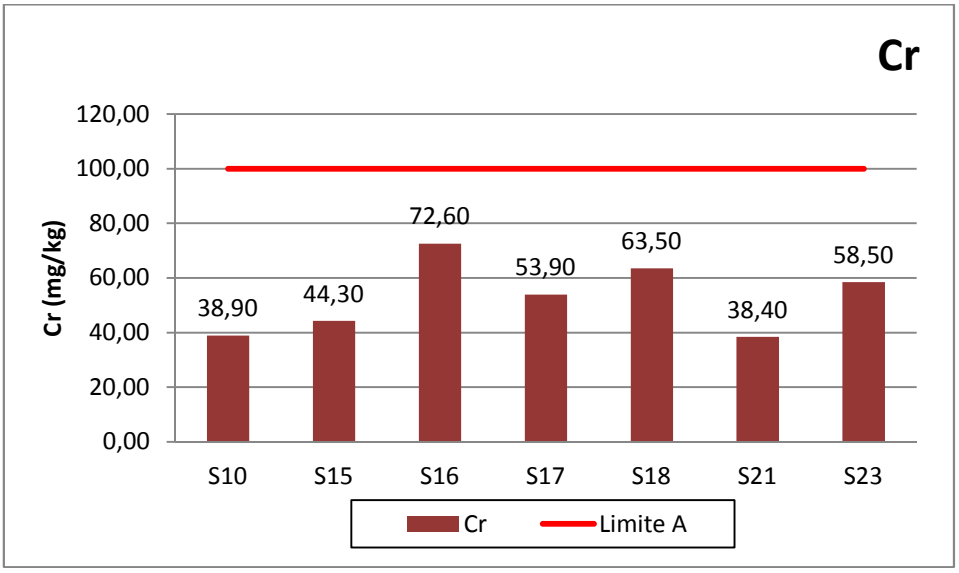

Figure 84: Représentation graphique de la variation spatiale du Cr dans les sédiments.

4.4. Le Plomb

Selon la figure 85, le plomb est très présent, ce dernier est un constituant naturel, largement réparti dans la croûte.

Les sédiments superficiels de la St.18 (Ancien port) et de la St.21 (Port de pêche) présentent des teneurs respectifs en plomb de 130 mg/kg et 150 mg/kg celles-ci sont supérieures à la limite A des normes Hollandaises et classant ces stations parmi les sédiments pollués. Cependant, ces teneurs demeurent en dessous des recommandations Algériennes établissant une valeur limite de 250 mg/kg.

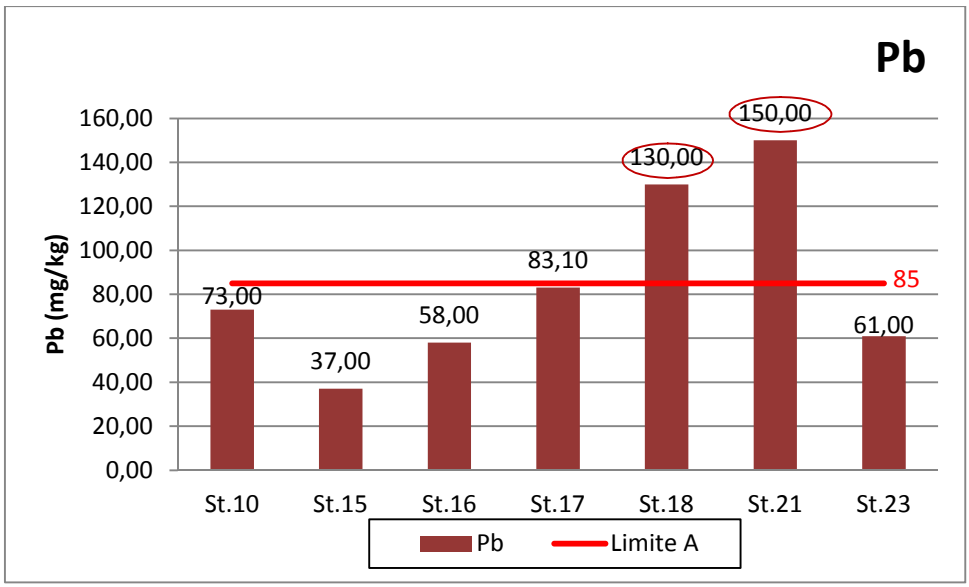

Figure 85 : Représentation graphique de la variation spatiale du Pb dans les sédiments.

4.5. Le mercure

Une variation spatiale du Hg est notable (Fig. 86) avec un maximum de 2,10 mg/kg pour la St.15 (Nouveau port) et un minimum de 0,02 mg/kg pour la St.10 (Poste 1 Plage Ben Mhidi). Il est clair que des teneurs supérieures à la limite A sont observées pour les St.18 (Ancien port) et St.21 (Port de pêche) ce qui nous permet de classer ces derniers parmi les sédiments pollués par le Hg. En revanche, la teneur en Hg observée dans la St.15 (Nouveau port) est nettement plus élevée, étant ainsi supérieure à la limite B des normes Hollandaises nous permettant ainsi de classer cette station parmi la classe 3 indiquant des sédiments très pollués. La teneur en Hg dans cette station est également supérieure à la valeur limite des recommandations Algériennes pour cet élément.

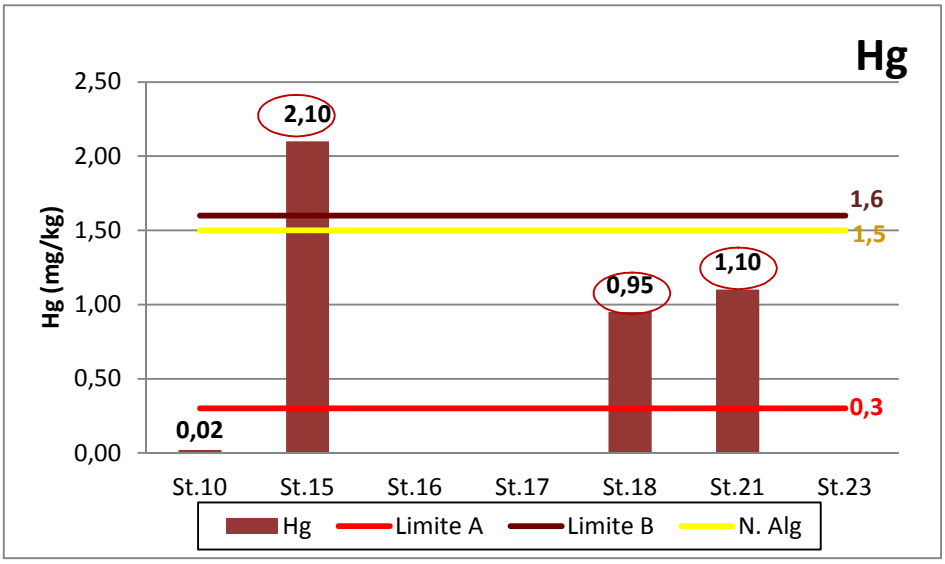

Figure 86: Représentation graphique de la variation spatiale du Hg dans les sédiments marins.

(N.Alg : Valeur limite admissible pour le Hg selon les recommandations algériennes).

Bien qu'étant un élément peu répandu sur l'écorce terrestre, le mercure peut se retrouver dans les sols à des teneurs variant de 0,01 à 20 mg/kg.

4.6. Le Nickel

Avec un maximum de 39,90 mg/kg dans la St.18 (ancien port) et un minimum de 15 mg/kg dans la St.17 (point chaud), les teneurs en nickel indiquent une appartenance des échantillons prélevés à la catégorie des sédiments naturels et non pollués selon les normes Algériennes (recommandations) (Fig. 87).

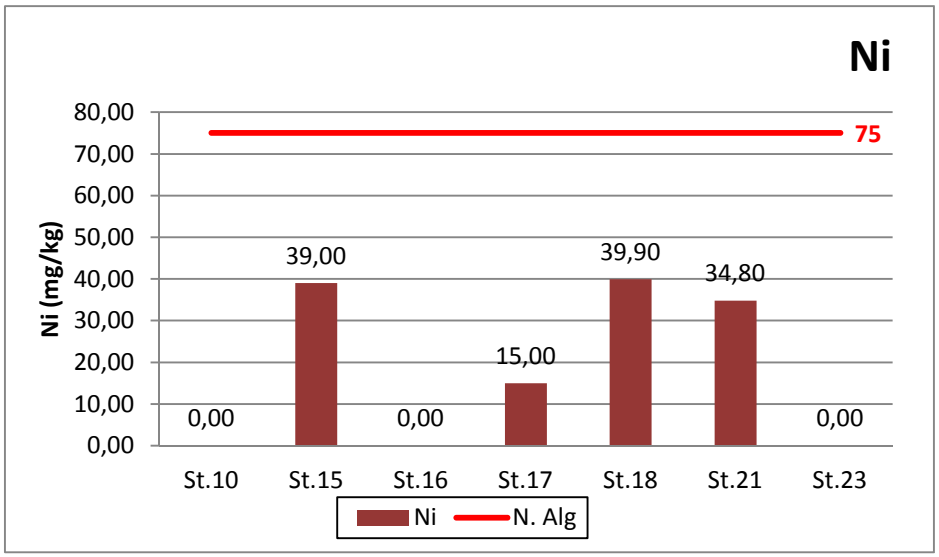

Figure 87: Représentation graphique de la variation spatiale du Ni dans les sédiments.

4.7. Le Fer

Les teneurs en fer mesurées dans les sédiments durant notre étude (Fig.88) varient entre un maximum de 16850 mg/kg dans la St.18 (Ancien port) et un minimum de 1mg/kg pour la St.17 (Point chaud), les teneurs les plus élevées sont observées principalement dans les sédiments des 3 ports considérés (St.15, St.18 et St.21).

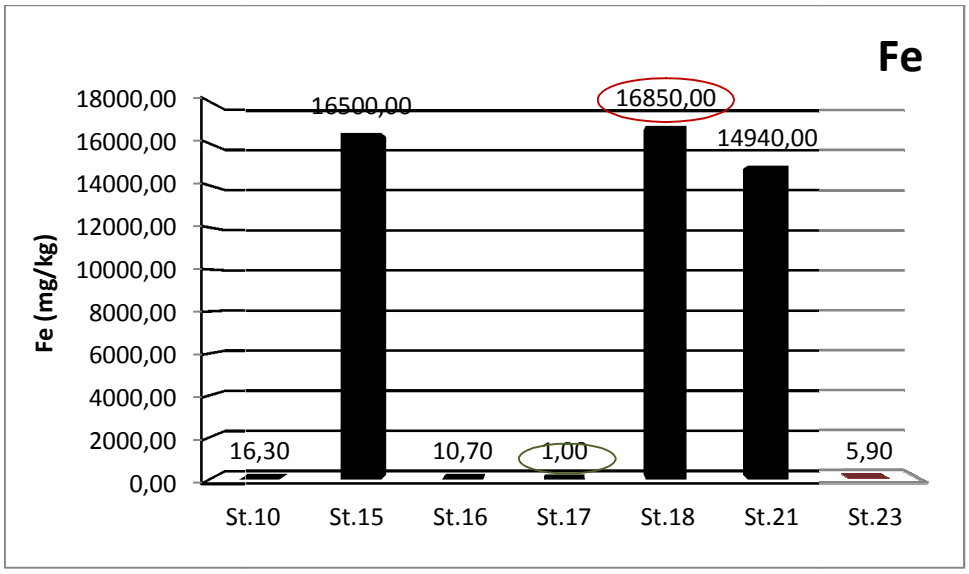

Figure 88: Représentation graphique de la variation spatiale du Fe dans les sédiments.

4.8. Le Manganèse

Une variation spatiale des teneurs en Mn est notable avec un maximum de 261 mg/kg pour la St.18 (Ancien port) et un minimum de 1 mg/kg pour la St.23 (Plage Miramare) (Fig. 89).

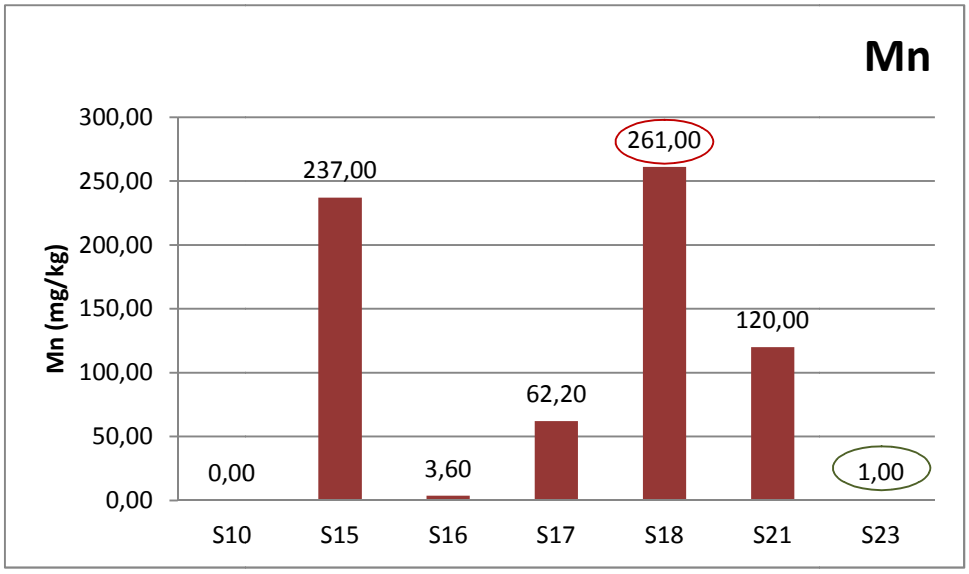

Figure 89: Représentation graphique de la variation spatiale du Mn dans les sédiments.

En prenant en considération l'indice de contamination calculé pour le manganèse, aucune forme de contamination par le Mn n'est observée (Fig. 90).

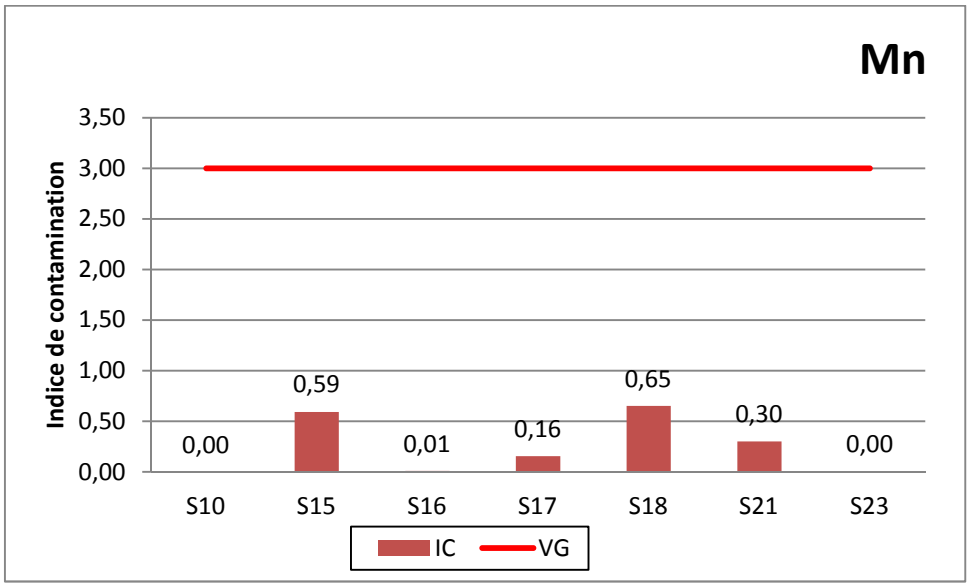

Figure 90 : Représentation graphique de l'indice de contamination pour le Mn.

4.9. Le Cadmium

La présence du Cd n'a pas été observée dans les différentes stations considérées, ce qui classe les échantillons prélevés parmi les sédiments non pollués par cet élément.

CHAPITRE IV :
DISCUSSION

Au vu de la réglementation Algérienne, les résultats obtenus pour les paramètres physicochimiques sont dans les normes que ce soit pour la T°, le pH ou encore l'O_2 dissous.

La variation spatiotemporelle des températures des eaux superficielles dans les 13 stations est conforme à celle observée dans la même région ce résultat est conforme à celui obtenu par Roudi (2002), Gueddah (2003) et LAQ (2005). Il en est de même dans la baie de Annaba à l'Est de Skikda (Bouhayene, 2002 et Ounissi *et al*., 1998) ou encore à Port-Cros en France (Augier *et al*.,1980). Les valeurs obtenues sont saisonnières et en conformité avec celles observées pendant la dernière décennie, notamment pour l'ancien port de Skikda (St.18) et les sites avoisinants (LEM, 1998).

Pour ce qui est des valeurs des *p*H de l'eau les moyennes demeurent assez proches de celles enregistrées au cours d'études réalisées dans la région de Skikda en 1997 par Hamidi, en 1998 par le LEM et par Gueddah en 2003. En effet, les eaux du point de référence (St.1) sont caractérisées par un *p*H minimum de 7,9 et un *p*H maximum de 8 est observé pour le point chaud (St.17), ces valeurs sont considérées comme normales d'autant plus qu'en pratique, selon Rodier (2009), les eaux ayant un *p*H < 6 ou >8 sont rares. Des *p*H > 8,5 ne s'observent généralement que dans les eaux stagnantes (marais, étangs, barrages) où la réaction ionique est influencée par la photosynthèse de la végétation et la nature chimique des fonds avec déplacement de l'équilibre carbonique. La valeur limite inférieur est largement dépassée tout au long de l'année dans les eaux de rejet de la RA1/K (St.12) ce qui nécessite une vigilance accrue de la part de l'ANPE de Skikda.

Pour la salinité, les valeurs observées sont comparables aux moyennes observées en mer méditerranée et à celles observées sur les côtes Algériennes (Gueddah, 2003; Bouhayene 2002; Ounissi et Frehi, 1999 et LEM, 1998).

Quand la température s'élève, la teneur en O_2 diminue en raison de sa plus faible solubilité, mais aussi à cause de la consommation accrue par les êtres vivants et les bactéries qui se multiplient (Rodier, 2009). Le taux de saturation en O_2 observé dans les eaux de la plage Militaire (St.20) et de la plage Mollo (St.22) est compris entre 80% et 120%, valeurs limites règlementaires selon le Décret exécutif N° 93-164 spécifiant la

qualité requise des eaux de baignade. Ce qui ne pose pas de problèmes car selon Rodier (2009), l'OMS recommande que les niveaux d'O_2 dissous soient maintenus aussi près que possible de la saturation.

Les valeurs maximales du taux de saturation en O_2 dissous sont observées au printemps et en automne ce qui peut être expliqué par l'activité photosynthétique intense du phytoplancton caractéristique en ces périodes de l'année. Les résultats obtenus sont identiques à ceux observées au cours de suivis réguliers accomplis en 1997 et en 2003 respectivement par Hamidi et Gueddah

Concernant la conductivité, nous avons noté qu'aussi bien dans les eaux de surface que dans les rejets d'eaux usées, des modifications importantes peuvent intervenir rapidement au cours de la même journée. On peut admettre que la situation est particulière ou anormale au-delà de 2 000 µS/cm et le pouvoir réducteur d'une eau sera d'autant plus grand que le *rH* du milieu étudié sera plus faible et inversement (Rodier, 2009).

Le pouvoir réducteur des eaux analysées, est plus important dans les eaux de la RA1/K (St.12) suivi par le CP1/K (St.13) et le GL1/K (St.14) ce qui peut être indicateur de la nécessité de contrôle de l'arrivée d'éventuels agents de réduction dans les eaux de ces rejets industriels susceptibles de perturber le traitement des effluents en amont.

Pour la DBO_5, les valeurs observées dans les eaux de la RA1/K (St.12), de l'Oued Safsaf (St.16) et du Point chaud (St.17) indiquent une très mauvaise qualité de ces eaux et une altération du milieu par les matières organiques biodégradables contrairement aux autres stations où nous pouvons considérer qu'ils bénéficient d'une eau de bonne qualité selon la classification établit par Rodier (2009).

Les valeurs observées dans les eaux du CP1/K (St.13) sont conformes à la règlementation en vigueur contrairement à celles obtenues par le LAQ en 2005 pour la même station lors d'une évaluation de la qualité du milieu marin le long du littoral Algérien. Cette différence pourrait avoir son explication dans l'éventuelle présence de substances chimiques inhibitrices au niveau des effluents en tenant compte des activités du complexe industriel rejetant ces eaux d'effluents dans cette station.

Les coliformes sont intéressants car un très grand nombre d'entre eux vivent en abondance dans les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait, constituent des indicateurs fécaux de première importance. Par ailleurs, leur résistance aux agents antiseptiques, et notamment au chlore et à ses dérivés, est voisine de la résistance des bactéries pathogènes vis-à-vis desquelles ce type de traitement est instauré ; ils constituent donc comme le signale Rodier (2009) d'excellents indicateurs d'efficacité des traitements.

Les pics de concentration des CT observés en mars et en novembre dans les eaux de la plage Ben M'hidi. P8 (St.2) correspondent aux périodes des grandes crues liées à la présence de l'Oued Righa qui achemine leurs eaux en mer.

Le dépassement des valeurs règlementaires observé dans les eaux du rejet GL1/K (St.14) est pratiquement permanant on le rencontre de février à octobre, par conséquent le traitement biologique des effluents de ce complexe sont à reconsidérer.

Dans les eaux du Port de pêche (St.21) le nombre de CT est supérieure aux valeurs règlementaires du fait de la présence de rejets d'eaux résiduaires domestiques, l'efficacité d'un traitement désinfectant en amont est donc remise en question. Les résultats obtenus pour les CT sont comparables à ceux observés par Gueddah (2003) et Hamidi (1997).

La recherche et le dénombrement des coliformes fécaux est un examen sans base taxonomique, mais proposé en raison d'une concordance statistique entre leur présence et l'existence d'une contamination fécale quasi certaine. Cet examen comme le signale Rodier (2009) est donc essentiel dans le diagnostic d'une contamination fécale.

Le dépassement de la valeur guide dans les eaux de la plage Militaire (St.20) et de la plage Mollo (St.22) en septembre et en octobre indique une contamination fécale ponctuelle. Alors que le dépassement de la valeur guide observé dans les eaux du port de pêche de Stora (St.21) est quasi permanent ce qui implique la nécessité d'améliorer le traitement des eaux usées en amont.

Escherichia coli est le plus important des coliformes fécaux. C'est le plus important des indicateurs fécaux, sa présence dans les eaux ne peut provenir que quasi uniquement des matières fécales des mammifères. Ce sont donc des témoins sensibles indicateurs de

matières fécales et donc potentiellement, comme l'indique Rodier (2009), de pathogènes, du fait de leur grande quantité dans les fèces.

En comparant les résultats obtenus pour les CF nous constatons une similitude avec ceux obtenus par Gueddah en 2003 ou encore ceux de Merabtine en 1998. En effet, 2 constats communs sont signalés le 1er concerne la contamination en germes fécaux qui présente une saisonnalité principalement automnale et estivale, le 2eme concerne l'absence de germes fécaux dans les eaux de la commune de Ain Zouit (St.24 et St.25) En revanche, l'absence de germes témoins ne vaut pas preuve de l'absence de contamination, car le devenir ou le comportement des germes témoins dans le milieu n'est pas obligatoirement le même que celui des pathogènes entre l'émission des matières fécales et l'utilisation de l'eau contaminée.

Des épisodes de contamination par les CT et les CF sont observés et semblent être liés à une saisonnalité. Donc les apports issus des sources de pollutions diffuses contribuent à la contamination microbienne. Le point chaud (St17) au centre de Skikda comporte les niveaux de contaminations maximums (9319 CF).

La variation spatiale des SF dans les eaux de la plage de Ben M'hidi poste 3 (St.8) et de celle de Ben M'hidi poste 1 (St.10) se caractérisent par des pics principalement en été du fait du nombre important des estivants fréquentant ces plages. Ces résultats sont comparables à ceux observés en 2003 par Gueddah pour les mêmes stations.

Il en est de même pour les valeurs moyennes observées pour la plage Miramare (St.23) et la plage Militaire (St.20) qui sont proches de celles observées par Gueddah (2003).

Les plages de la zone Ouest sont également caractérisés par des pics en saison estivale avec des concentrations supérieures à la valeur guide. Ceci vient appuyer les observations de Gueddah en 2003 et de Merabtine en 1998.

Il semble également nécessaire de reconsidérer le traitement biologique des effluents des complexes de la RA1/K (St.12) et du GL1/K(St.14) ainsi que l'intervention de l'ANPE de Skikda car les eaux de ces 2 complexes présentent une pollution fécale permanente.

Les valeurs du NPP des SF observées dans les eaux du port de pêche ne sont pas négligeables comparées à celles observées par Gueddah en 2003. En effet, malgré une diminution des apports contaminant au vue d'une meilleure gestion des eaux usées déversant dans les eaux de ce port, il semble que les concentrations en SF augmentent lorsque les conditions hydrodynamiques entrainent une dilution moindre de ces apports.

L'Oued Safsaf (St.16) est le réceptacle de divers effluents industriels et urbains avec ou sans traitement préalable, le point chaud (St.17) non loin de l'Oued Safsaf est également sous l'influence de ces divers rejets ce qui explique la pollution fécale dans les eaux de ces stations.

Les flux issus des exutoires identifiés sont probablement l'origine principale de la contamination microbiologique mesurée dans les eaux de la région de Skikda. Cependant d'autres origines restent possibles.

Pour ce qui est des HCT, les dépassements des valeurs règlementaires dans les eaux du Rejet RA1/K (St.12) sont dus aux différentes pannes qui surviennent au niveau de la station d'épuration mais aussi à l'inefficacité des traitements ce qui implique la nécessité de revoir toute la stratégie de dépollution appliquée au sein de la raffinerie de Skikda.

Le tableau 15 montre une comparaison entre les concentrations des HCT obtenues dans les 3 ports de Skikda et l'ensemble des résultats obtenus par le LEM en 1998, Rouidi en 2002 et Gueddah en 2003 est apprécié par rapport aux valeurs règlementaires Algériennes.

Dans les eaux de l'ancien port (St.18) les concentrations des HCT sont quasi similaires et en dessous des valeurs règlementaires (Gueddah, 2014, Gueddah, 2003 et LEM, 1998) alors que pour celles du nouveau port (St.15) les valeurs observées par Gueddah en 2014 et en 2003 sont nettement inférieures aux normes Algériennes comparées à celles observées par Rouidi en 2002 qui sont largement supérieures valeurs limites règlementaires.

Ce constat est la conséquence d'une prise en charge vigilante de l'entreprise portuaire de Skikda par la mise en place de mesures de prévention très strictes.

En revanche, dans les eaux du port de pêche de Stora, nous constatons une augmentation 6 fois plus importante que celle rencontrée en 2003 et près de 4 fois plus grandes que celle observées en 1998 par le LEM.

Tableau 15: Comparaison entre les concentrations des HCT dans les eaux des 3 ports de Skikda et celles obtenues antérieurement.

Ports de Skikda	**Hydrocarbures totaux (ppm)**	**Références**
Ancien port	1.48	LEM (1998)
	1.74	Gueddah (2003)
	1.05	Gueddah (2014)
Nouveau port	33.35	Rouidi (2002)
	1.82	Gueddah (2003)
	1.39	Gueddah (2014)
Port de pêche	3.91	LEM (1998)
	2.07	Gueddah (2003)
	12.26	Gueddah (2014)
Valeur limite règlementaire	10	Décret exécutif n°06-141 (J.O.R.A N°26 du 23 avril 2006)

Pour ce qui est des ML, les teneurs évoluent de l'Ouest à l'Est selon un gradients décroissant avec une prédominance pour le Fe suivie du Mn, Pb, Zn, Cr, Cu , Hg et Cd . Au vue des normes en vigueur, les valeurs les plus élevées sont rencontrés dans les 3 ports notamment pour le Pb dans le port de pêche avec un maximum de 150 mg/kg et le Hg dans le port commercial avec un maximum de 2,10 mg/kg.

Pour ce qui est du zinc, l'Ancien port (St.18) sort du lot avec une teneur en Zn de 175,90mg/kg qui est en dépassement de la valeur limite A des normes hollandaises. Cette

teneur en zinc élevée concorde avec les études antérieures où des teneurs comparables ont été observées pour la même station (LEM, 1998 et Gueddah, 2003).

Pour le Cu, nous constatons un dépassement de la limite A dans les sédiments du Point chaud la (St.17) et du Port de pêche (St.21) classant ainsi les sédiments de ces stations parmi la classe 2 (Sédiments pollués). Ces résultats sont comparables à ceux obtenus pour les mêmes stations lors de suivie antérieur (Gueddah, 2003) voir même en légère baisse.

En dehors des pollutions industrielles ou de traitements agricoles, ce métal provient habituellement de la corrosion des tuyauteries de distribution (0,5 à 1 mg/L), plus rarement il constitue le résidu d'un traitement des algues par les sels de cuivre (Rodier, 2009).

Une très légère hausse des teneurs en chrome est observée en comparaison avec les teneurs observées par Gueddah (2003) et par le LEM (1998) pour les mêmes stations.

Le chrome est présent en petites quantités dans la nature. Il est plus important dans les roches de type basique que dans celles de type siliceux. D'une façon générale, sa solubilité est faible vis-à-vis des phénomènes de lessivage des sols. De ce fait, les eaux brutes n'en contiennent que de faibles quantités (Rodier, 2009).

Le chrome pur est assez peu employé dans l'industrie, mise à part la fabrication des aciers spéciaux ; par contre, ses dérivés sont très utilisés. Dans les industries chimiques, ce sont surtout les dichromates qui sont les plus employés. Enfin, certains composés du chrome sont quelquefois ajoutés à l'eau industrielle de refroidissement comme éléments anticorrosion.

L'ancien port (St.18) et le Port de pêche (St.21) présentent des teneurs importantes en plomb dépassant ainsi la limite A et classant les sédiments de ces derniers parmi les sédiments pollués. Ces dépassements ont déjà été observés par Gueddah en 2003 et le LEM en 1998. Ce métal est en effet si répandu et si utilisé dans l'industrie que les possibilités de pollution sont extrêmement nombreuses et variées.

Le dépassement de la limite A observé pour l'ancien port (St.18) et le Port de pêche (St.21) nous permet de classer ces derniers parmi les sédiments pollués par le Hg. En revanche, la teneur en Hg observée dans les sédiments du nouveau port (St.15) est encore

plus élevée, dépassant ainsi la limite B des normes hollandaises nous permettant ainsi de classer cette station parmi la classe 3 indiquant des sédiments très pollués. La teneur en Hg au niveau de cette station est également en dépassement de la valeur limite des recommandations Algériennes. Ce qui implique la nécessité d'une prise en charge plus rigoureuse de cette situation d'autant plus que nous observons une légère hausse de cette concentration en comparaison avec les études antérieurs (Gueddah, 2003 ; LEM, 1998 et I.Q.E.D, 1994).

Bien qu'étant un élément peu répandu sur l'écorce terrestre, le mercure peut se retrouver dans les sols à des teneurs variant de 0,01 à 20 mg/kg. Par ailleurs, la contamination géologique de nombreux minerais par le mercure explique sa présence dans les rejets de certaines activités industrielles : extractions minières, raffineries, cimenteries, sidérurgie, traitement des phosphates, raffinage du mercure, combustion des hydrocarbures fossiles et du charbon, industries de la pâte à papier, etc (Rodier, 2009). Ceci concorde fortement avec notre zone d'étude qui fait partie d'une région très industrialisée spécifiquement dans le domaine pétrochimique.

Les teneurs en nickel indiquent une appartenance des sédiments à la catégorie des sédiments naturels et non pollués selon les normes Algériennes (recommandations). Ces teneurs sont en très légère baisse en comparaison avec les teneurs observées par Gueddah en 2003 pour les mêmes stations.

Le fait que le nickel ne soit généralement pas retrouvé dans les eaux souterraines ou en quantités très faibles indique que la présence de ce métal est principalement liée aux activités humaines. Les quantités retrouvées dans les eaux de surface varient de quelques microgrammes à 100 µg/l. L'eau de mer en contient de 0,1 à 0,5 µg/l (Rodier, 2009). Si nous devions comparer les teneurs du Ni observées au niveau des sédiments lors de notre étude avec les teneurs maximales observées en eau de mer comme décrit par Rodier (2009) nous devrons signaler des teneurs relativement élevées.

Pour le fer, les teneurs les plus élevées sont observées principalement au niveau des sédiments des 3 ports considérés. Les résultats obtenus concordes avec ceux observés en 2003 par Gueddah, il n'en demeure pas moins qu'une légère augmentation de ces teneurs

est tout de même observée. Les teneurs élevées en fer au niveau du port de pêche (St.21), peuvent être expliquées par les travaux de dragage effectués en période d'échantillonnage.

La valeur maximale de Mn est observée pour l'ancien port (St.18) et la valeur minimum pour la Plage Miramare (St.23). Des teneurs très proches ont été observées par Gueddah en 2003 pour les mêmes stations.

Le manganèse est très répandu dans la nature. Les concentrations dans l'écorce terrestre peuvent varier de 500 à 900 mg/kg. La concentration en manganèse de l'eau de mer varie suivant les zones de 0,5 µg/L à 6 µg/L. La teneur de l'air peut varier de 0,01 à 0,07 $\mu g/m^3$ dans les zones non polluées ; à proximité des installations industrielles, la concentration peut s'élever de 0,2 à 0,3 $\mu g/m^3$ (Rodier, 2009).

La présence du Cd n'a pas été observée dans les sédiments des différents sites considérés, ce qui classe ces sédiments parmi les sédiments non pollués par cet élément.

Le tableau 16 établit une comparaison des résultats obtenus pour les métaux lourds lors de la présente étude au niveau des ports de Skikda avec ceux observés lors d'études antérieurs pour différents ports Algériens. Il est à noter qu'une légère hausse est observée pour différents éléments traces au niveau des ports de Skikda.

Les teneurs en mercure au niveau des ports de Skikda indiquent des sédiments pollués par cet élément selon les normes hollandaises.

Les teneurs en chrome les plus élevés sont observées au niveau du port d'Annaba où le sédiment semble pollué par cet élément, de même pour le cuivre et le zinc.

Les teneurs les plus élevées pour le plomb sont observées au niveau du port de pêche de Skikda et nous constatons une hausse continue de cet élément au niveau des différents ports de Skikda indiquant une source potentielle pour ce dernier.

Il nous ait donné de constater que les teneurs en fer au niveau des ports de Skikda sont relativement élevées en comparaison avec le port d'Annaba.

Tableau 16 : Comparaison des teneurs des métaux lourds observées au niveau des sédiments de différents ports Algériens.

ML (mg/kg) / Ports	Hg	Cr	Cu	Pb	Zn	Cd	Mn	Ni	Fe	Références
Skikda (Ancien port)	0,92	67,89	59,64	118,73	166,51	<10	-	-	-	LEM (1998)
	0,91	63,47	58,66	129,60	175,87	00	260,50	40,00	16846,50	Gueddah (2003)
	0,95	63,50	23,83	130,00	175,90	00	261,00	39,90	16850,00	Gueddah (2014)
Skikda (Nouveau port)	2,01	44,25	18,00	36,50	62,25	1,5	236,50	38,00	16457,50	Gueddah (2003)
	2,10	44,30	22,50	37,00	62,30	00	237,00	39,00	16500,00	Gueddah (2014)
Skikda (Port de pêche)	1,23	48,31	40,62	125,59	73,51	<10	-	-	-	LEM (1998)
	1,07	38,33	45,00	145,00	85,00	00	115,00	35,00	14935,50	Gueddah (2003)
	1,10	38,40	50,00	150,00	90,00	00	120,00	34,80	14940,00	Gueddah (2014)
Annaba	-	-	116,77	-	427,60	-	279,38	-	-	Hariti et *al.,* (2000)
	-	295,00	208,00	-	401,00	-	203,78	-	1548,00	Gharsallah (2002)
Mostaganem	-	-	47,66	-	142,96	-	219,43	-	-	Hariti et *al.,* (2000)
Normes hollandaises (Limite A)	**0,3**	**100**	**36**	**85**	**140**	**0,8**	**-**	**-**	**-**	Donze (1990) et Davis et *al.,* (1990)
Recommandations Algériennes	**1,5**	**250**	**150**	**250**	**500**	**3**	**-**	**75**	**-**	Ministère délégué à la Recherche, à la Technologie et à

										l'environnement (1991)

CONCLUSION
ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

La préservation de la qualité du milieu marin littoral nécessite non seulement une connaissance quantitative des apports polluants vers l'environnement marin, mais également une connaissance des niveaux de présence des différents contaminants chimiques et microbiologiques identifiés dans cet environnement. Ainsi, l'utilisation des paramètres physicochimiques et des indicateurs microbiologiques pour l'évaluation et la détermination du niveau de contamination ont été orientés dans l'optique de cet objectif. La pluridisciplinarité par l'utilisation d'une approche multi-paramètres confère à notre travail une originalité basée sur le suivi des indicateurs de pollution microbienne (Coliformes totaux, coliformes fécaux et Streptocoques fécaux), l'estimation des teneurs en hydrocarbures totaux dans les eaux littorales superficielles et des teneurs en métaux lourds; Zn, Cu, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd, Fe et Hg dans les sédiments de différentes stations le long du littoral de la région de Skikda.

Nos résultats nous ont permis d'identifier une zone vierge dépourvue de toute forme de pollution il s'agit de la commune de Ain Zouit (St.23 et St.24) ainsi qu'une variation notable des niveaux de pollution en fonction des différents paramètres considérés. En effet, parmi les 3 ports considérés le port de pêche (St.21) est le plus pollué, de même pour les 3 rejets industriels, celui de la raffinerie de Skikda (St.12) est à surveiller car ses eaux contiennent des teneurs élevées en hydrocarbures totaux. Pour ce qui est des différentes plages de la zone d'étude, il est indispensable et urgent de revoir la stratégie de prise en charge des différents rejets urbains en amont afin d'améliorer la qualité microbiologique des eaux dans ces secteurs. Toutefois, il faut signaler que malgré les niveaux de pollution observés il semble que les seuils alarmants des polluants que nous avons quantifiés ne sont pas encore atteints selon la règlementation Algérienne à l'exception de certains éléments traces notamment le Pb et le Hg dans les sédiments superficiels ainsi que les HCT dans les eaux des effluents de la raffinerie de Skikda.

L'ensemble de nos résultats nous a permis d'évaluer la qualité des eaux et des sédiments superficiels de la côte de Skikda pendant une année, un élargissement de la démarche, à une échelle régionale puis nationale, s'avère nécessaire pour appréhender plus globalement les diverses contaminations du milieu marin.

Perspectives

Enfin, il semble opportun de compléter ce travail par d'autres études notamment à travers l'utilisation d'organismes marins en tant qu'indicateurs biologiques voir une modélisation de la bioaccumulation des différents contaminants chimiques dans les différents réseaux trophiques. Les différents niveaux de pollution observés sont en relation directe avec les nombreuses sources anthropiques ce qui doit inciter les décideurs et les scientifiques à adopter conjointement une politique innovante loin des schémas traditionnels antérieurs à la hauteur des enjeux renforcé par un suivi permanant. De ce fait, il est impératif de promouvoir une gestion intégrée et durable de tout le littoral et de renforcer les mécanismes de participation de la société civile notamment par:

1. Création d'une banque de données environnementale recensant les différentes sources de pollution et quantifiant les niveaux des différents polluants (naturels ou anthropiques).
2. Estimer certains paramètres à partir d'images satellitaires, excellent moyen de suivi de la pollution de grandes zones côtières.
3. Mise en œuvre d'un programme efficace destiné à résoudre la problématique de la gestion des eaux usées urbaines et industrielles par la mise en place de stations d'épuration fonctionnelles.
4. Renforcer les installations portuaires destinées à la réception des eaux de ballast.
5. Restreindre l'utilisation des métaux lourds dans les secteurs de l'agriculture et de l'industrie.
6. Appliquer la règlementation en vigueur notamment celle liée à la gestion des rejets industriels.
7. Sensibilisation et éveil de la conscience environnementale du grand public.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

A

A.E.E (Agence Européenne pour l'Environnement)., (1999). Le milieu marin et littoral méditerranéen : état de pression. A.E.E, Copenhague. pp 33-44.

A.N.P.E., (1994). Monographie de la wilaya de Skikda.186 p.

Abdenour C., Smith B., Boulakoud M S., Samraoui B., Rainbow P S., (2000). Trace metals in marine brackish and freshwater prawns (Crustaces, Decapoda) from northeast Algeria. *Hydrobiologia* 432:pp 217-227.

Aminot A., Chaussepied M., (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'exploitation des Océans, 396 p.

Ammar E., Sassadat K., Bouzid J., Charfi M., Bendjemaa M., Medhioub K., (1991). Impact des rejets industriels du complexe chimique de Gannouche sur la qualité des eaux marines du golf de Gabès. Rapport à la demande de l'A.N.P.E.

Anonyme., (2002). La wilaya de Skikda, 95 p.

Aoudjit N., (2001). Contribution à l'étude de quelques paramètres de la reproduction de la bogue (Boops boops L., 1758) et son utilisation comme indicateur biologique de la pollution par les métaux lourds (zinc, fer, nickel, cuivre et plomb) dans la baie d'Oran. Thèse de Magister. 243 p.

Arfi R., Leveau M., (1983). Impact d'une perturbation détritique et polluante sur la structure et le fonctionnement des populations phytoplanctoniques. *Océanis. Vol. 9, Fasc*. 8 : pp 653-675.

Asso A., Abdelwaheb N., Azzouz M., Naceur J., (1986). Distribution de quatre métaux lourds (Zn, Hg, Cu et Cd) chez deux espèces de moules présentes dans la baie d'Alger. *Comm. Int. Mer Med.,* 30 (2).

Aubert M., Aubert J., Daniel S., Garotta J.P., Romey L.A., Mangin J.Ph., Bulard P.F., Irr P., Chevalier Y., (1967). Dynamique d'eaux résiduaires rejetées en bassin maritime. *Rev. Intern. Océanogr. Med*., 8: pp 5-40.

Augier H., Robert P., Maffer R., (1980). Etude du régime thermique annuel des eaux au niveau des peuplements des phanérogames marines de la baie de Port-Cros. *Tav. Sci. Parc National*. Port-Cros, Fr. ; 6 : 69-130.

B

Bakalem A., (1980). Pollution et source de pollution marine d'origine industrielle sur la côte algérienne : étude préliminaire. 5eme journée d'étude de pollution, Cagliari, CIESM : pp 195-200.

Bakalem A., (1990). Aménagement du littoral Ouest. Problèmes de pollution marine : étude préliminaire de la zone Arzew Mers El Hedjadj. Cahier Géographique de l'Ouest, n° 5-6 : pp 115 - 149.

Bakalem A., Romano J.C., (1985). Etude des peuplements benthiques d'un milieu perturbé : le port d'Alger. Réunion PNUE/FAO, Blanes : 7-11 octobre 1985, *FAO Fischeries Report* n° 352 suppl. : 27-43.

Bakalem A., Romano J.C., (1982). Pollution et peuplements benthiques dans la région algéroise (Baie d'Alger et Baie de Bou-Ismaîl). 6eme journée d'étude de pollution, Cagliari, Cannes : pp 687-697.

Bassin Rhône-Mediterranée-Corse., (2002). Pollution toxique et écotoxicologie: notions de base. Guide technique N°7. Novembre 2002.

Bei F., Catsiki V., Strogyloudi E., (1998). Seasonal and spatial variation of Cu, Cr, Ni and Pb concentrations in *Mitilus galloprovincialis* of saronikos gulf, Greece. *Rapp. Comm. Int. Mer Med.* Vol 35.

Belabed B.E., Laffray X., Dhib A., Fertouna-Belakhal M., Turki S., Aleya L., (2013). Factors contributing to heavy metal accumulation in sediments and in the intertidal mussel *Perna perna* in the Gulf of Annaba (Algeria). *Mar.Poll. Bull*. 74 (2013) 477–489.

Bélanger., (2009). Utilisation de la faune macro benthique comme bioindicateur de la qualité de l'environnement marin côtier. Faculté des Sciences, Université de Sherbrook. Quebec. Canada. Août 2009.

Benamar M.A., (1997). Techniques d'analyse pour le dosage des métaux lourds et substances radioactives dans le sédiment marin. Premier Atelier Régional Est sur la surveillance de la qualité des eaux de baignade, El Tarf, 12 p.

Benguedda RW., (1993). Contribution à l'étude de quelques polluants métalliques chez la moule *Perna perna* (L) et le rouget *Mullus surmuletus* (L) dans la partie occidentale du golf d'Arzew. Thèse de Magister. Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, Université d'Alger. 108 p.

Boudjellal B., Refes W., Eddalia N., Ounadi F., Benchikh S., Azzouz M., (1998). Etude de la variabilité des teneurs en métaux lourds chez la moule *Mutilus galloprovincialis* (LMK) d'un milieu lagunaire : le lac El Mellah (El Kala, Algérie). *Rapp. Comm. Int. Mer Med. Vol.* 35.

Bougherira N., Hani A., (2012). Évaluation du risque pour l'environnement des métaux lourds [Fe(T)-Mn+2] issus du milieu Industriel : cas de la plaine de la Meboudja, Nord-Est Algérien. *Afr.Sci*. 08(1) (2012) 30-41.

Bouhayene S., (2002). Contribution à la connaissance des herbiers à *Posidonia oceanica* dans la baie d'Annaba -Est Algérien- : Phénologie, biomasse, lépidochronologie et production primaire. Thèse de Magister. Université d'Annaba. 151p.

Bouhayene S., Djebar A.B., (2013). Suivi de la Contamination Fécale des Eaux de Baignade du Golfe de Skikda (Nord-Est Algérien). *Eur. Jour. Sci. Res*. Vol. 112 N° 4 October, (2013), pp.529-536.

Bourdial I., (1988). L'invasion sournoise des métaux lourds. Science et vie n° 852, septembre 1988. pp 52-59.

Bourgeois C.M., (1980). Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaires. Ed. TEC & DOC, Paris. Vol. 3. pp 90-224.

Boutiba Z., (1998). Biodiversité marine en Méditerranée du Sud-Ouest: 9-11. (*In* PAM, 1998).

Boutiba Z., (1992). Les mammifères marins d'Algérie, Statut, Répartition, Biologie et Ecologie. Thèse de Doctorat. Université d'Oran. 575 p.

Bruno A., Jean Y S., Didier S., Yves S H., Herve T., Pierre B., (1998). Etude des niveaux de contamination chimique en Méditerranée basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules. *Rapp. Comm. Int. Mer Med*. 35.

C

C.D.D (Commission du Développement Durable)., (2002). Profil de l'Algérie . *Sommet de Joeinsbourg 2002*. 71 p.

C.N.E.S (Conseil National Economique et Social)., (1997). Rapport sur l'environnement en Algérie. 63 p.

C.O.I., 1985. Manuel et guide C.O.I. n° 13 : Manuel sur la surveillance continue du pétrole et des hydrocarbures pétroliers dissous et dispersés dans l'eau de mer et sur les plages. Commission Océanographique Intergouvernementale de l'Unesco, Paris, 35 p.

Chouikhi A., Naceur I., Talbi D., (1988). Niveaux en pesticides organochlorés et en PCB dans les moules présents dans la baie d'Alger. *Com. Int. Mer Med*., 31 (2).

Chouikhi A., Sellali B., Khetib N., Rezzoug S., Boudjellal B., (1992). Distribution spatiale des métaux lourds dans le sédiment superficiel de la côte Ouest Algérienne. *Rapp. Comm. Int. Mer Med*.,33.

D

Danovaro R., (2003). Pollution threats in the Mediterranean Sea: an overview. *Chem. Ecol.* 19: 15-32.

Darmoul B., Hadj Ali Salem M., Vitelli P., (1980). Effets des rejets industriels de la région de Gabès (Tunisie) sur le milieu marin récepteur. *Bull. Inst. Nat. Scien. Tech. Océanogr*. Pêche Salammbô, 7: pp 5-61.

Darmoul B., (1977). Recherche sur l'influence des rejets de phosphogypse dans le golf de Gabès et étude expérimentale de leur toxicité. D.E.A, Université de Tunis.

Davis J.D., Macknight S., IMO Staff., (1990). Environnemental considerations for Port and Harbor developpements. World Bank Technical Paper. 126.

Dellali M., El bour M., Aissa P., (2001). Evaluation de la pollution bactérienne dans la lagune de Bizerte : Résultats préliminaires. *J. Rech. Océanographique*. Vol. 26 n° 1-2: pp 18-28.

Donze M., (1990). Aquatic pollution and dreding in the European Community. Delwel Publishers, La Haye.

E

E.P.S. (Entreprise Portuaire de Skikda)., (2012). Annuaire statistique, 32 p.

F

Friligos N., (1985). Nutrient conditions in two Aegean Gulf. *MARPOL Bull*. Vol. 16 (5): pp 208-209.

G

Gharsallah Z., (2002). Evaluation de la pollution du littoral d'Annaba : qualité micro biologique de l'eau et teneur en métaux lourds du sédiment superficiel. Thèse de Magister. Université d'Annaba, 82 p.

Gilet R., (1959). Water pollution in Marseille and its relations with flora and fauna. *Inter. Conf*. On waste disposal in the marine environnement.

Grimes S., (2003). Bilan et Diagnostique National de la pollution marine de la côte algérienne liée à des activités menées à terre. Programme d'Action Stratégique (PAS) destiné à combattre la pollution due à des activités menées à terre et de sa stratégie opérationnelle. *Rapport PAM/PAS MED/MEDPOL*.

Grimes S., Ruellet T., Dauvin J.D. et Boutiba Z., (2010). Ecological quality status of the soft-bottom communities on the Algerian coast: General patterns and diagnosis. *Mar.Pollut.Bull*. 60, 1969-1977.

Gueddah, D., (2003). Evaluation de la pollution industrielle et urbaine dans la région de Skikda ; Impact sur l'écosystème marin côtier. Thèse de Magister. Université Badji Mokhtar. Annaba. Algérie. 114 p.

Gueddah D., Djebar A.B., (2014). Pollution by the heavy metals of the superficial marine sediment of Skikda city (Northeastern Algeria). *Ann. Biol. Res*. 2014, 5 (1): 40-45.

Guillaud J.F., Aminot A., (1991). Devenir des éléments nutritifs en zone littorale. La mer et les rejets urbains. Bendor, 13-15 juin 1990. *IFREMER. Act. Coll*. 11: pp 27-34.

H

Hamidi S., (1997). Bilan de la saison estivale 1996 (observations et remarques). Premier Atelier Régional Est sur la surveillance de la qualité des eaux de baignade, El Tarf, 24 p.

Hamidi S., (1997). Conception et objectif du réseau de surveillance de la qualité des eaux de baignade. Premier Atelier Régional Est sur la surveillance de la qualité des eaux de baignade, El Tarf, 14 p.

Hariti R., Laroussi A., (2000). Contribution à l'étude de la pollution par les métaux lourds dans les sédiments des ports de Mostaganem et d'Annaba.

Hocini N., Mami M., (1991). Application des traceurs radioactifs à l'étude de l'ensablement du nouveau port de Skikda. Rapport préliminaire : méthodes et résultats sédimentologiques . C.D.T.N. (Centre de Développement des Techniques Nucléaires). 84p.

I

Institut pour la qualité des Eaux, Danemark., Laboratoire d'étude Maritime, Algérie., Dorsch Consult, Allemagne., Institut Danois d'Hydraulique, Danemark., (1994). Etude de protection contre la pollution des ports et du littoral Algérien. Direction des Ports d'Algérie, 166 p.

J

Jullian M., Tysset C., Espinasse., (1962). Etude bactériologique des eaux du port et la baie d'Alger. *Archives de l'Institut Pasteur d'Algérie 40 n° 1. Mars 1962.*

K

Kerambrun P., (1983). Conséquences de la pollution thermique sur les organismes marins. *Océanis*. Vol. 9, Fasc. 8 : pp 627-651.

L

L.E.M. (Laboratoire d'Etudes Maritimes)., (1998). Etude d'impact sur l'environnement du dragage de l'ancien port de Skikda. Entreprise Portuaire de Skikda. 36 p.

Laouira A., (2002). Note relative aux pollutions marines accidentelles - Tel Bahr -. Rencontres -Villes propres-. 12 janvier 2002. Alger.

Le Hir P., Guillaud J.F., (1989). Simulation de l'effet des remises en suspension sur la qualité bactériologique de l'eau. *Rapport statistique*. *IFREMER*.

M

Maatallah R., Mezedjeri L., Djebar A.B., (2013). Evaluation Quantitative des Hydrocarbures Totaux de la Zone Côtière de Skikda (Nord Est, Algérie). *Eur. Jour. Scien.Res*. Vol. 114 N°2 November, 2013, pp.284-294.

Medhioub K., (1981). Aperçu sur la pollution côtière dans la région de Sfax. 1er Congrée des Sciences de la Terre. Tunis.

Merabtine H., Merzoug A., (1997). Salubrité des sites récréatifs marins: méthodes d'analyse microbiologique de l'eau de mer. Premier Atelier Régional Est sur la surveillance de la qualité des eaux de baignade, El Tarf, 13 p.

Merabtine H., Merzoug A., Bouali B., Boukahrl C., Bouhank S., Refes N., Chaab H., (1998). Evaluation de la qualité micro biologique de l'eau de mer de la plage Ouest de Sidi Fredj (Algérie). *Rapp. Comm. Int. Mer Med*. Vol.35.

Mouffok F., (2001). Guide technique d'analyses bactériologiques des eaux de mer. Institut Pasteur d'Algérie. 40 p.

N

Noemie E., Castallenet F., Debas L., (2003). 20 Prestiges souilleront la méditerranée cette année !. Rapport sur la pollution marine par hydrocarbures et les dégazages sauvages en méditerranée. WWF. France. Janvier 2003.

O

Ouahidi M., Slimano R., (1997). Maladies à transmission hydrique et qualité des eaux de baignades : Bilan des activités du contrôle bactériologique des eaux de baignade pour l'année 1996. Premier Atelier Régional Est sur la surveillance de la qualité des eaux de baignade, El Tarf, 3 p.

Ounissi M., Frehi H., (1999). Variabilité du microphytopancton et des *Tintinidea* (Protozoaires ciliés) d'un secteur eutrophe du golf d'Annaba (Méditerranée Sud-occidentale) *Cah. Biol. Mar*. 40 : 141-153.

Ounissi M., Frehi H., Khelifi-Touhami M., (1998). Composition et abondance du zooplancton en situation d'eutrophisation dans un secteur côtier du golf d'Annaba (Algérie). *Ann. Inst. Océanogr*., Paris, 74 (1): 13-28.

P

Patruno R., (2001). Prévention et lutte contre la pollution marine. *REMPEC*, Toulon, 6 juin 2001. 10 p.

R

Rodier J., (2009). L'Analyse de l'eau. DUNOD. 9ème Edition. 1579 p.

Rouane-Hacene O., (2013). Biosurveillance de la qualité des eaux côtières du littoral occidentatl Algérien, par le suivi des indices biologiques, de la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pbet Cd) chez la moule *Mytillus galloprovencialis* et l'oursin *Paracentrotus lividus*. Thèse de Doctorat, Université d'Oran, Algérie. 295p.

Rouidi S., (2014). Évaluation de la contamination par les hydrocarbures des sédiments superficiels (fluviaux et marins) de la région de Skikda (nord-est algérien). Analyses statistiques. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille, France. 164p.

Rouidi S., Hadjem A., Asia L., Mille G., Tahar A., (2013). Sources and distribution of hydrocarbons in surface sediments of saf-saf oued (Skikda city, northeastern Algeria). *Ann. Biol. Res*. 2013, 4 (4):61-69.

Rouidi S., (2002). Cartographie de la pollution par les hydrocarbures totaux au niveau de la plate-forme industrielle de Skikda. Thèse de Magister. Université de Constantine, 112 p.

S

Sarbadji M., (1991). Contribution à l'étude des rejets industriels et urbains sur l'environnement marin de la région de Sfax. Essai de traitement. D.E.A. Université de Tunis.

T

Thomas O., (1995). Métrologie des eaux résiduaires. Ed. CEBEDOC, 192 p.

V

Voirin., (1987). Guide de lutte contre les pollutions par les hydrocarbures en méditerranée. ROCC- PAM, 100 p.

W

WWF-Spain ERGOS., (2000). Environnemental Response Group to Oil Spills. Brochure operative ERGOS.

Y

Yoshida M., (2013). Mobility of Contaminated Heavy Metals and Metalloids in Sediments Caused by Recent Industrial Activities. *EDP Sciences*, 2013.

ANNEXES

ANNEXE 1

Tableau. 1 : Table de Mac- Crady.

Nombre de tubes donnant une réaction positive sur			NPP dans 100 ml	Limite de confiance à 95%	
3 tubes de 10 ml chacun	3 tubes de 1 ml chacun	3 tubes de 0.1 ml chacun		Limite inférieure	Limite supérieure
0	0	0	< 3		
0	0	1	3	< 0.5	9
0	1	0	3	< 0.5	13
1	0	0	4	< 0.5	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	150
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	380
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1300
3	3	1	460	71	2400
3	3	2	1100	150	4800
3	3	3	>2400		

Tableau.2. : Récapitulatif des différents paramètres dosés au niveau de chaque site considéré.

Zones	Site	N°	P. Physico-chimiques	P. Bactériologiques	Hydrocarbures totaux	Métaux lourds
FILFILA	P8	S2		X		
	P7	S3		X		
	P6	S4		X		
	P entre 5&6	S5		X		
BEN MHIDI	P5	S6		X		
	P4	S7		X		
	P3	S8		X		
	P2	S9		X		
	P1	S10		X		X
	C de toile	S11		X		
Ch.L. SKIKDA	P. Ref	S1	X	X	X	
	R. RA1/K	S12	X	X	X	
	R. C1P/K	S13	X	X	X	
	R. GL1/K	S14	X	X	X	
	N. Port	S15	X	X	X	X
	E.O. Safsaf	S16	X	X	X	X
	P. Chaud	S17	X	X	X	X
	A. Port	S18	X	X	X	X
	Pl. Marquette	S19	X	X		
	Pl.Militaire	S20	X	X		
STORA	P. Pêche	S21	X	X	X	X
	Pl. Mollo	S22	X	X		
	Pl. Miramare	S23	X	X		X
AIN ZOUIT	R.F.C.T. G.Pl	S24		X		
	R.F.L.A.G.Pl	S25		X		
		Totale	13	25	9	7

Tableau.3 : Paramètres considérés pour l'évaluation de la pollution dans de la région de Skikda.

	P. Physico-chimiques	P. Bactériologiques	Hydrocarbures	Métaux lourds
Paramètres	Température	Coliformes totaux	Hydrocarbures totaux	Cadmium
	Salinité			Chrome
	pH			Cuivre
	Conductivité	Coliformes fécaux		Mercure
	Potentiel REDOX			Plomb
	Taux de saturation en oxygène dissout			Zinc
	DBO_5	Streptocoques fécaux		Nickel
				Fer
				Manganèse
TOT	07	03	01	09

ANNEXE 2

Tableau. 1 : concentrations de référence pour le calcul de l'IC selon les normes françaises.

Paramètre	Cu	Mn	Zn
Valeur en mg/kg	26	400	88

Tableau. 2 : Valeurs maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industrielles (Extrait du décret exécutif N° 06-141 du 19 avril 2006 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels – J.O : n° 26).

N°	Paramètres	Unité	Valeurs Limites	Tolérance aux Valeurs Limites Anciennes Installations
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5-8,5	6,5-8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	mg/l	30	40
5	Phosphore total	mg/l	10	15
6	DCO	mg/l	120	130
7	DBO_5	mg/l	35	40
8	Aluminium	mg/l	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	mg/l	0,005	0,01
10	Cyanures	mg/l	0,1	0,15
11	Fluor et composés	mg/l	15	20
12	Indice de phénols	mg/l	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	mg/l	10	15
14	Huiles et graisses	mg/l	20	30
15	Cadmium	mg/l	0,2	0,25
16	Cuivre total	mg/l	0,5	1
17	Mercure total	mg/l	0,01	0,05
18	Plomb total	mg/l	0,5	0,75
19	Chrome total	mg/l	0,5	0,75
20	Etain total	mg/l	2	2,5
21	Manganèse	mg/l	1	1,5
22	Nickel total	mg/l	0,5	0,75
23	Zinc total	mg/l	3	5
24	Fer	mg/l	3	5
25	Composés organiques chlorés	mg/l	5	7

PH : Potentiel hydrogène
DBO_5 : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours
DCO : Demande chimique en oxygène
MES : Matière en suspension

D. GUEDDAH, 2015.

Tableau 3 : Tolérance à certaines valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels selon les catégories d'installations (Annexe II du décret exécutif N° 06-141 du 19 avril 2006 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels – J.O : n° 26).

Paramètres	Unité	Valeurs Limites	Tolérance aux Valeurs Limites Anciennes Installations
Débit d'eau	m^3/t	1	1,2
Température	°C	30	35
PH	-	5,5-8,5	5,5-8,5
DBO5	g/t	25	30
DCO	g/t	100	120
MES	g/t	25	30
Azote total	g/t	20	25
Huiles et graisses	mg/l	15	20
Phénol	g/t	0,25	0,5
Hydrocarbures	g/t	5	10
Plomb	mg/l	0,5	1
Chrome 3+	mg/l	0,05	0,3
Chrome 6+	mg/l	0,1	0,5

Tableau. 4 : Qualité requise des eaux de baignade (Extrait du décret exécutif N° 93-164 du 10/07/1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels).

Paramètres	Unités	Valeurs guides	Valeurs limites
Micro biologiques			
1. Coliformes totaux	/100 ml	500	10 000
2. Coliformes fécaux	/100 ml	100	2 000
3. Streptocoques	/100 ml	100	-
4. Salmonelles	1L	-	0
5. Entérovirus	PFU/10L	-	0
6. Vibrion cholérique	/450 ml	-	0
Physico-chimiques			
1. Coloration	mg/l	-	Pas de changement anormal de la couleur
2. Huiles minérales	mg/l	-	Pas de film visible à la surface de l'eau et absence d'odeur
3. substances tensioactives réagissant au bleu de méthylène	mg/l Lauryl-sulfate	>0.3	Pas de mousse persistante
4. Phénols (indice phénol)	mg/l $C^6H^5O^4$	>0.005	0.05 et aucune odeur spécifique
5. Transparence	M	2	1
6. Résidus goudronneux et matières flottantes (bois, plastique, bouteille et toute autre matière débris ou éclats)	-	-	Absence
7. pH	-	-	6-8
8. Oxygène dissous	% Saturation en oxygène	-	80-120
9. Autres substances	-	-	Ne doit pas contenir de substances susceptibles de nuire à la santé des baigneurs.

1.Les concentrations inférieures ou égales aux valeurs guides indiquent une eau de bonne qualité.
2.Les eaux dont les concentrations sont comprises entre les valeurs guides et les valeurs limites sont de qualité acceptable et doivent faire l'objet d'une surveillance continue.

Résumé

Dans cette étude, nous avons évalué les pollutions industrielle et urbaine le long du littoral de la ville de Skikda dans l'Est Algérien pendant un cycle annuel. Nous nous sommes intéressé aux eaux et aux sédiments superficiels dans 25 stations : 16 plages de baignades, 3 ports, 3 rejets industriels, 1 embouchure d'oued et 2 points de références 1 certainement pollué et l'autre pas.

Dans les eaux nous avons d'abord mesuré 7 paramètres physico-chimiques, quantifié les principaux indicateurs de pollution microbienne: les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux avant d'estimer les teneurs en hydrocarbures totaux.

Dans les sédiments nous avons évalué les teneurs de 9 métaux lourds: Zn, Cu, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd, Fe et Hg.

Concernant les eaux, au vu de la réglementation Algérienne, les résultats obtenus sont dans les normes que ce soit pour la T°, le pH ou encore l'O_2 dissous. La pollution microbienne est proche de zéro dans les 2 stations de la Grande plage: rejet du camp de toile et rejet des logements agricoles (commune de Ain Zouit à l'Ouest de Skikda) alors que le point chaud au centre et le port de pêche à l'Ouest comportent des niveaux de contaminations maximums respectifs de 9319 CF et 60837 SF.
Les eaux des ports pétroliers, de pêche et commercial ainsi que celles des 3 rejets industriels (RA1/K, GL1/K, CP1/K) contiennent de fortes teneurs en HCT, elles varient entre 12,26 ppm dans le port de pêche et 49,11 ppm dans le rejet de la raffinerie.

Pour ce qui est des sédiments, les teneurs en métaux lourds évoluent de l'Ouest à l'Est selon un gradients décroissant avec une prédominance pour le Fe suivie du Mn, Pb, Zn, Cr, Cu , Hg et Cd . Au vue des normes en vigueur, les valeurs les plus élevées sont rencontrés dans les 3 ports notamment pour le Pb dans le port de pêche avec un maximum de 150 mg/kg et le Hg dans le port commercial avec un maximum de 2,10 mg/kg.

L'ensemble des résultats montrent l'urgence de la mise en place d'une stratégie de prise en charge des différents rejets urbains et industriels en amont afin d'améliorer la qualité des eaux du littoral de Skikda.

Mot - clés: pollution, littoral, Skikda, bactériologie, hydrocarbures, métaux lourds.