

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
-عناية-

Faculté des Sciences
Département des sciences de la Mer

Thèse

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

Modélisation de l'Impact de la Pollution Industrielle Hydrique dans le Golfe de Skikda (Littoral Est algérien)

Par :

Mezedjri Lyamine

Devant le Jury :

M. Bensouilah,	Professeur	Univ. Badji Mokhtar, Annaba	Président.
A. Tahar,	Professeur	Univ. Badji Mokhtar, Annaba	Directeur de thèse.
A.B. Djebbar,	Professeur	Univ. Badji Mokhtar, Annaba	Codirecteur de thèse.
A. Kerfouf,	M.C.	Univ. Djillali Liabes, Sidi Bel Abes	Examineur.
A. Bensahla Talet,	M.C.	Univ. Sénia, Oran	Examineur.
B. Drardja,	M.C.	Univ. Badji Mokhtar, Annaba	Examineur.

Remerciements

- *Au moment de présenter ce travail, nous tenons à assurer tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, parfois très discrètement, ont prêté leur concours à son élaboration, que nous leur savons sincèrement gré de leur amabilité.*

- *Tout d'abord, je tiens à témoigner ma gratitude à monsieur le professeur Tahar Ali qui a dirigé ce travail et qui m'a consacré un temps précieux malgré la charge de ses responsabilités et ses occupations Scientifiques.*

- *Je souhaite remercier monsieur le professeur Bensouilah Mourad pour avoir, d'une part, bien voulu nous faire l'honneur de présider le jury et, d'autre part, pour ses encouragements tout au long de la réalisation de cette étude.*

- *Je remercie vivement monsieur le professeur Djebbar Abdallah Borhane qui a accepté de codiriger ce travail et de me faire l'honneur de critiquer ce travail scientifique.*

- *Je suis également très reconnaissant à messieurs : Kerfouf Ahmed maître de conférences en écologie marine université Djillali Liabès, Sidi bel Abbés, Bensahla Talet Ahmed maître de conférences en biologie marine à l'université Sénia Oran et Drardja Brahim maître de conférences en sciences de la mer, université Badji Mokhtar Annaba, qui ont tous accepté de faire partie du jury et de me faire l'honneur de critiquer ce travail scientifique.*

- *Je témoigne ma gratitude et mes remerciements à tous mes enseignants du département des sciences de la mer qui ont contribué à ma formation.*

Je tiens également à témoigner ma plus grande gratitude à mesdames et messieurs :

- *Filali Abdel Ouahab ex-directeur HSE et directeur actuel de la sécurité et de la prévention au niveau de l'EGZIK.*
- *Mokhnach Rabah chef de département HSE au niveau de l'EGZIK.*
- *Djamel le chauffeur de la direction HSE au niveau de l'EGZIK.*
- *Tebbani Messaoud l'ex Directeur de l'environnement de Skikda et directeur actuel de l'environnement d'Alger.*
- *Bérririche Samira ingénieur d'état et chef de service de l'industrie et des installations classées, direction de l'environnement de Skikda.*

- *Boughayout Nouara ingénieur d'état et responsable de l'observatoire national de l'environnement de la wilaya de Skikda et toute son équipe.*
- *Chlighame Rachid et Chouguis Kamel responsables du laboratoire central du complexe des matières plastiques CMP.*
- *Mezedjri Hocine et toute l'équipe du laboratoire d'analyse au niveau de la raffinerie de Skikda.*
- *Toubbi Samy, ingénieur d'état en agronomie.*
- *Tout le personnel de la direction de l'environnement de la wilaya de Skikda.*

Pour leurs contributions à l'aboutissement de ce travail.

Enfin, nous exprimons notre profonde reconnaissance à toutes les personnes, parents et amis, qui nous ont aidées d'un sourire, d'une critique, d'un encouragement ou d'un service pour tous les sacrifices consentis.

Que chacun trouve ici le cordial merci qui lui revient !

Dédicace

*A
Ma Mère et mon Père
Ma Femme Nedjoua, Ma sœur
Sabrina, mon frère Med Reda et Imed
Ma Chère petite Marya*

Je dédie ce travail

*Introduction
Générale*

*Chapitre I :
Généralités.*

Chapitre II :
Matériels et méthodes.

Résumé :

Sous le terme d'eaux résiduaires, habituellement on regroupe des eaux de très diverses origines. On retrouve dans cette classification les eaux d'origine urbaine constituées par les eaux ménagères et les eaux vannes chargées de fèces et d'urines. Peuvent s'y ajouter suivant les cas les eaux d'origine industrielle et agricole.

Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont une composition généralement plus spécifique et directement liée au type d'activité considérée.

Dans le golfe de Skikda durant ces dernières décennies, l'activité industrielle a enregistré une croissance importante (industrie pétrochimique, agroalimentaire, bâtiment, etc.), avec tous les problèmes et les conséquences sur le milieu naturel.

C'est dans cette optique, que cette étude est orientée. En effet, dans une absence totale d'informations fiables et exploitables, sur l'impact de l'activité industrielle dans le golfe de Skikda, nous nous sommes intéressés à un aspect des conséquences de cette activité, entre autre l'impact des eaux résiduaires d'origine pétrochimique sur le milieu récepteur naturel.

Cette étude est réalisée à partir d'échantillons d'eaux résiduaires en provenance de sept complexes pétrochimiques, dans la zone industrielle de Skikda. Ces échantillons sont comparés avec trois points témoins dans le milieu récepteur.

Durant une période de vingt-quatre mois successifs, soit durant la période qui s'étale entre Août 2005 et Juillet 2007. Les échantillons récoltés chaque mois dans chaque station, ont subi divers mesures et dosages pour obtenir un maximum d'informations concernant, d'une part la qualité des eaux résiduaires des 10 stations étudiées et, d'autre part les variations des dix-neuf caractéristiques physicochimiques prises en considération.

En effet, l'approche analytique a permis de constater que la qualité des eaux récoltées au niveau de neuf stations parmi dix est dégradées et hors classe. Ces eaux présentent une pollution chimique accentuée et un degré de toxicité pour la vie aquatique très élevé. La dixième station cependant, ne présente pas de pollution chimique, mais beaucoup plus une dégradation de la qualité de ses eaux et une pollution organique, bien que cette station se situe en amont de la zone industrielle.

D'autre part, l'approche statistique, quand à elle, a permis d'effectuer une évaluation spatiotemporelle de la qualité des eaux résiduaires des 10 stations et de modéliser l'impact de l'activité industrielle sur le milieu naturel.

Dans un premier temps, la comparaison entre les moyennes de chaque année pour chacune des variables mesurées et dans chaque station montre que, la qualité des eaux

résiduaire reste inchangée durant les deux années et cela pour l'ensemble des stations étudiées.

Aussi, l'analyse de la variance à un critère de classification modèle fixe, montre l'existence de différences significatives entre les stations pour quinze variables parmi les dix-neuf.

Ensuite, la *p.p.d.s* nous permet de regrouper les stations en groupes, pour chacune des caractéristiques physicochimiques prise en considération.

D'autre part, la recherche de relations entre les différentes variables, prises deux à deux, au moyen du coefficient de corrélation, donne des informations importantes sur ces relations, et montre bien les variations de certaines variables par rapport aux autres.

D'autres approches et d'autres modèles ont été étudiés. Ainsi, d'une manière générale le modèle linéaire général MANOVA, confirme les résultats obtenus par l'ANOVA. Alors que l'ACP et l'analyse hiérarchique des données confirment les résultats obtenus par la *p.p.d.s* et regroupent les stations en cinq groupes homogènes en fonction de la qualité des eaux résiduaire récoltées.

Enfin, l'ACP et l'analyse hiérarchique des données, permettent de regrouper les variables étudiées en quatre groupes homogènes, et de démontrer les liens entre ces variables. Ces deux méthodes aboutissent aux mêmes résultats.

Mots clés : eaux résiduaire, impact sur l'environnement, modélisation statistique, ANOVA, *p.p.d.s*, MANOVA, ACP, analyse hiérarchique, pollution industrielle hydrique, golfe de Skikda.

Introduction générale :

Les premières activités industrielles se limitaient à la poterie et à la fabrication du verre. L'activité chimique telle qu'on la conçoit actuellement est apparue au début du 19^{ème} siècle. En effet, le début de l'industrialisation se situe vers cette époque avec l'apparition de l'industrie du textile et la fabrication de la laine.

Parallèlement, avec l'accroissement de la population et l'accélération du développement technique et industriel, les besoins en eau (eaux de surfaces et souterraines) ont considérablement augmentés conduisant à des pressions sur cette ressource. Malgré le développement des techniques de traitements et de recyclage des eaux usées, ainsi que les procédés de dessalement de l'eau de mer, on remarque en même temps une extension des causes de pollutions massives et variées, avec toutes les conséquences sur la qualité de l'environnement.

Entre temps, on enregistre ces dernières années une prise de conscience du public et des politiques sur les effets négatifs de la pollution industrielle, en partie probablement parce que ces effets, pour la plus part, ne sont visibles que de nos jours.

Notamment en Algérie, où une attention particulière est réservée aux eaux résiduaires rejetées par les usines industrielles. Cette prise de conscience s'est soldée, en Algérie, par l'adoption par les autorités politiques de réglementations pour protéger l'environnement, entre autre la loi du littoral, le décret relatif à la réglementation des déchets liquides industriels et la loi relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

La notion d'eaux résiduaires englobe des eaux de diverses origines. Dans cette classification on retrouve les eaux d'origines urbaine, industrielle et agricole. Dans la région de Skikda (littoral Est Algérien) se trouve un important dispositif industriel (production d'énergie électrique, gaz naturel, pétrochimie, production de plastique et transport et raffinage des hydrocarbures) qui se situe directement sur la frange littorale. Cet important dispositif rejette ces effluents directement dans le golfe de Skikda (Mer Méditerranée). Ce dernier est caractérisé par une ligne côtière de 142 km de long et une surface de pêche de 3068 km² soit 4,69 % de la surface de pêche nationale totale. Le golfe de Skikda dispose d'une ressource halieutique non négligeable.

En effet, les différentes campagnes d'évaluation de cette ressource laissent apparaître une estimation du stock à environ 18000 tonnes de biomasse dont 6000 tonnes constituent les réserves exploitables. Par conséquent, l'impact de l'activité industrielle dans le golfe de Skikda sur la faune et la flore marine reste méconnu.

Chapitre I : Généralités.

1.1. Introduction :

Au cours de ce premier chapitre intitulé généralités, nous présenterons les principales caractéristiques naturelles et économiques de la wilaya de Skikda (paragraphe 1.2).

Tout d'abord nous envisagerons la zone de pêche et ses caractéristiques géographiques et faunistiques ainsi que son importance dans la zone de pêche nationale (paragraphe 1.2.1.).

Nous présenterons ensuite les données océanographiques du golfe de Skikda. Il s'agit de donner les informations recueillies dans la bibliographie, relatives à la bathymétrie et les courants qui règnent dans le golfe de Skikda (paragraphe 1.2.2.).

Après cela, nous donnerons les informations sur le climat général dans la région, en décrivant le régime éolien, la température et la pluviométrie, à partir des données récoltées auprès des services météorologiques de Skikda (paragraphe 1.2.3.).

Dans le paragraphe 1.2.4. nous donnerons des indications sur l'aspect socioéconomique de Skikda. La description des ports de pêches dans la région et les principales sources de pollutions dans le golfe Skikda (paragraphe 1.2.5), sont également étudiées.

Enfin, nous présenterons la zone qui a fait l'objet de notre étude (paragraphe 1.3.). Cette partie est scindée en deux sous paragraphes. Le premier sous paragraphe 1.3.1. est consacré à la description de la zone industrielle de Skikda avec une brève fiche technique de chacun des principaux complexes de cette plate forme pétrochimique, alors que le second sous paragraphe 1.3.2. concerne la description de l'oued Saf-saf à l'aide des informations récoltées dans la littérature.

1.2. Présentation de la wilaya de Skikda :

La wilaya de Skikda se situe dans le nord-est de l'Algérie, elle est limitée au nord par la mer Méditerranée, à l'est par la wilaya de Annaba, à l'ouest par la wilaya de Jijel, au sud par Constantine et Guelma, et par Mila au Sud-ouest. Elle couvre une superficie totale de 4137,68 km² avec une frange littorale de 142 Km de long, représentant ainsi 12% du littoral Algérien (fig. 1.2.1).



Figure 1.2.1. Image satellite de la wilaya de Skikda

1.2.1. Zone de pêche :

Le golfe de Skikda bénéficie d'une ligne côtière de 142 Km de long avec une superficie de la zone de pêche de 3068 km² soit 4,69% de la surface de pêche nationale. Il est limité par le cap Bougaroune à l'ouest et par le cap de Fer à l'est entre les deux longitudes 06°27'10''E et 07°10'02''E. Le golfe de Skikda dispose d'une ressource halieutique non négligeable (ISTPM, 1982).

Les différentes campagnes d'évaluations effectuées ces dernières années (ISTPM, 1982 ; Djabali, 1988 ; ERH, 1996) laissent apparaître une estimation du stock à environ 18000 tonnes de biomasse dont 6000 tonnes constituent la réserve exploitable. Par ailleurs, il est important de souligner que 36% du stock sont constitués par des espèces pélagiques (clupéiformes, des thonidés, etc.). Par contre, les 64% restant constituent les stocks démersaux (poissons blancs et crustacés) dont environ 1/3 des potentialités se trouvent sur des fonds accessibles aux chalutiers. Le reste doit nécessairement être exploité à l'aide des petits métiers et par palangriers.

1.2.2. Données océanographiques :

1.2.2.1. Bathymétrie :

La région de Skikda présente un plateau continental très varié. Il est tourmenté et parfois absent à l'ouest, vers la région du cap Bougaroune ; mais de plus en plus large et étendu à l'est, vers la région de la Marsa.

Plusieurs études effectuées dans la région de Skikda (ISTPM, 1982 ; Djabali, 1988 et LEM, 1996) ont toutes révélé l'aspect et la nature abrupte et accidentée des fonds longeant la ligne côtière et ce, sur plus de 0,5 Km à partir de la ligne de bordure, avec des profondeurs croissantes de 10 à 12 m. Plus au nord, règnent surtout des fonds sablo vaseux et les grandes profondeurs de 100 à 200 m n'apparaissent que vers les 4 à 7 miles nautiques au nord de la côte.

1.2.2.2. Hydrodynamisme :

La circulation générale des eaux marines en méditerranée occidentale régit et conditionne la distribution des facteurs biologiques, hydrologiques, chimiques, vaseux, etc. D'après Millot (1987), cette circulation apparaît avec la pénétration de l'eau d'origine Atlantique modifiée (MAW). Cette eau entre dans le bassin algérien vers 0° sous forme d'une veine étroite de courant et longeant les côtes algériennes à l'est. Vers 1°E et 2°E elle devient instable et on note l'apparition de méandres puis des tourbillons cycloniques et anticycloniques, dérivant vers l'est à une vitesse de 10 Km/j. Ces courants anticycloniques évoluent et atteignent des diamètres de 100 à 200 Km, associés « d'upwelling » avec toutes les conséquences, qu'engendre cette association sur la productivité biologique. Un ralentissement de la circulation est observé vers 5°E et 6°E. Par des phénomènes d'instabilité, les tourbillons s'éloignent des côtes algériennes durant une période de 1 à 2 mois pour revenir à l'ouest. Donc le bassin algérien constitue de ce fait un réservoir qui alimente le bassin nord de la Méditerranée occidentale (Millot, 1993).

Les instructions nautiques du golfe de Skikda renseignent sur l'existence d'un courant général dirigé vers l'est, pouvant atteindre 1 à 2,5 nœuds et d'un courant de 0,5 à 1,5 nœuds qui circulerait plus près de la côte. Il semble que ce courant ne pénètre pas dans le golfe de Skikda (LEM, 1996).

1.2.3. Données climatologiques :

1.2.3.1. Le vent :

La répartition trimestrielle du régime des vents dans le golfe de Skikda montre que :

- Pendant les 1^{er}, 2^{ème} et 4^{ème} trimestres de l'année les vents du secteur ouest et nord ouest sont les vents dominants, et qu'une grande partie souffle à une vitesse supérieure à 8 m/s (SSMO in LEM, 1996).
- Le 3^{ème} trimestre (juillet en septembre) ce sont les vents du secteur est et nord-est qui dominant. La majorité de ces vents sont de faibles vitesses (LEM, 1996) (fig. 1.2.2).

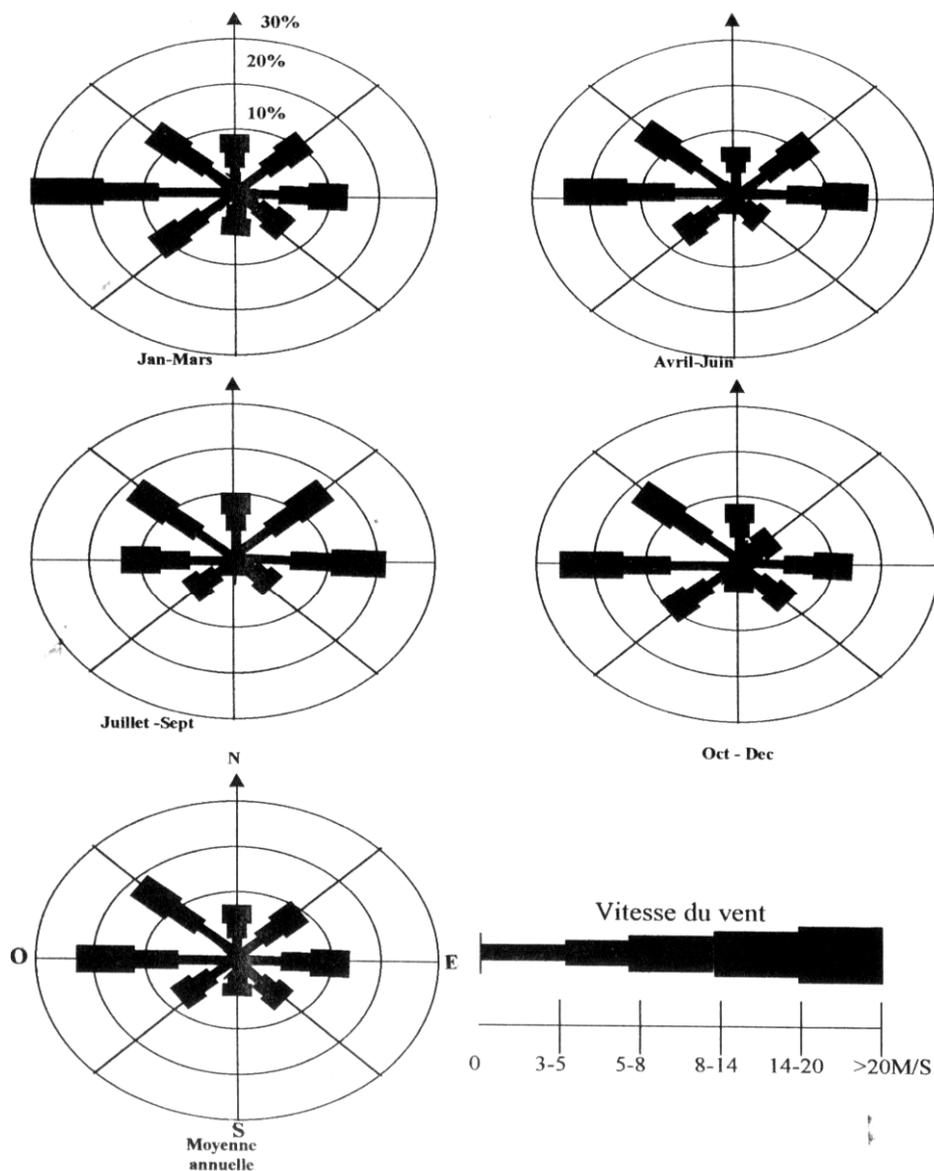


Figure 1.2.2. Rose des vents dans le golfe de Skikda (LEM, 1996)

Chapitre II : Matériels et méthodes.

2.1. Introduction :

L'activité industrielle est particulièrement intense dans la wilaya de Skikda, et spécialement dans son chef lieu. Cette concentration d'activités génère une nuisance hydrique et atmosphérique. Cependant, dans notre travail nous nous limiterons uniquement aux rejets liquides. Ces rejets sont, soit déversés directement dans la mer, soit par le biais de l'oued Saf-saf qui lui aussi aboutit par la suite à la mer.

Le but de ce second chapitre est présenter et de décrire les différentes techniques d'analyses ainsi que les approches statistiques adoptées dans notre étude.

Tout d'abord, nous présenterons la zone d'échantillonnage (paragraphe 2.2.) puis nous décrirons notre stratégie de prélèvement (paragraphe 2.3.), et enfin nous donnerons les méthodes de collecte des données (paragraphe 2.3.).

Ensuite, nous exposerons les différentes approches statistiques utilisées dans notre étude qui sont : les méthodes statistiques univariées (paragraphe 2.5.2.), les méthodes statistiques bivariées (paragraphe 2.5.3.) et enfin, les méthodes statistiques multivariées (paragraphe 2.5.4.).

2.2. Zone d'échantillonnage :

Pour mieux cerner les problèmes et les nuisances engendrés par la zone industrielle ZIK 1 de Skikda, nous avons procédé à un contrôle régulier des rejets liquides des sept complexes cités précédemment (paragraphe 1.3.1.), les résultats obtenus seront comparés avec ceux de trois stations considérées comme témoins [la mer à l'Est de la ZIK 1 (point 10), l'oued Saf-saf en amont avant son passage par la ZIK 1 (point 7) et une station en aval dans l'embouchure de l'oued Saf-saf avec la mer (point 8)].

La figure 2.2.1. présente les 10 stations échantillonnées ainsi que leurs coordonnées géographiques, et le tableau 2.2.1. donne les caractéristiques des sept grands complexes de la ZIK 1 et des trois points témoins.

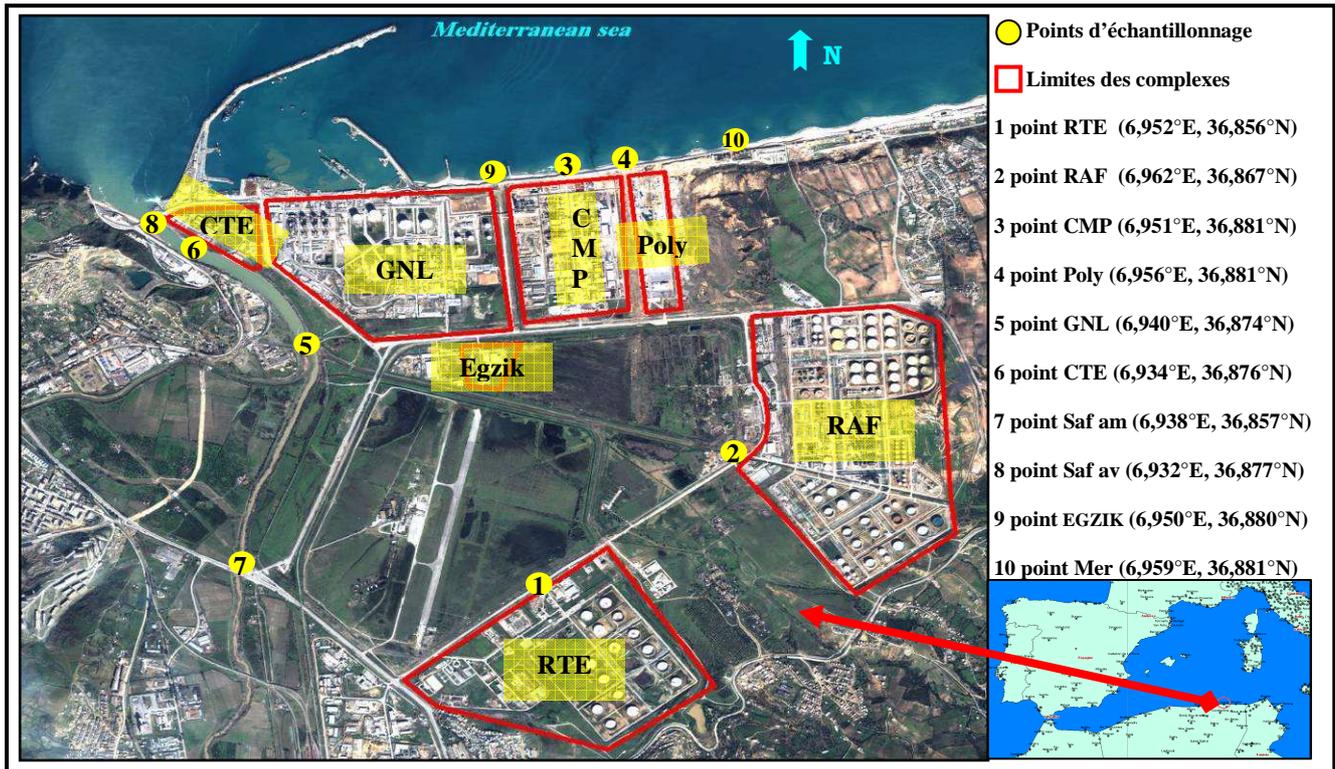


Figure 2.2.1. Carte de situation de la zone d'étude et des points d'échantillonnage.
Image satellite Quickbird, février 2003 : 1cm= 0,5 km

Tableau 2.2.1. Description des dix points d'échantillonnage dans la zone d'étude (ZIK).

N°	Code	Designation	Observation
1	RTE	Complexe de transport et de stockage des hydrocarbures	Station de traitement des eaux absente
2	RAF	Raffinerie de Skikda	Station de traitement des eaux présente fonctionnelle
3	CMP	Complexe des matières plastiques	Station de traitement des eaux présente, en panne
4	Poly	Complexe de polyéthylène à haute densité	Station de traitement des eaux présente fonctionnelle
5	GNL	Complexe de gaz naturel liquéfié	Station de traitement des eaux absente
6	CTE	Centrale thermique de Skikda	Station de traitement des eaux absente
7	Saf am	Point témoin, au niveau d'oued Saf-saf en amont de son passage par la zone industrielle de Skikda	Néant
8	Saf av	Point témoin, au niveau d'oued Saf-saf à l'embouchure en aval de son passage par la zone industrielle de Skikda	Néant
9	EGZIK	Complexe de gestion de la zone industrielle	Station de traitement des eaux absente
10	Mer	Point témoin au niveau de la mer à l'ouest de la zone industrielle de Skikda.	Néant

2.3. Stratégie d'échantillonnage :

Lorsqu'il s'agit d'étudier des substances chimiques dont les variations sont méconnues sur un site, Quevauviller (2001) recommande un nombre optimal de cinq échantillons par an et ceci durant 4 années consécutives, alors que les textes algériens (JORA, 1993) préconisent un prélèvement par trimestre pendant deux années.

En ce qui nous concerne et compte tenu de la diversité des activités industrielles dans la zone ZIK 1 et de la nature complexe des eaux rejetées, nous avons opté au départ pour un échantillonnage aléatoire, simple et indépendant des 10 stations, puis nous avons systématiquement prélevés chaque mois un échantillon par station et ceci durant 2 années consécutives (soit d'août 2005 à juillet 2007).

Les prélèvements sont instantanés et concernent chaque fois trois litres d'eau répartis dans des flacons en verre borosilicaté d'un litre chacun conformément aux recommandations de Rodier (1998) et Prichard (1995).

Au même moment des mesures de certains paramètres sont effectuées in situ. La conservation des échantillons prélevés et la mesure de certaines caractéristiques sont effectuées en respectant les normes AFNOR (1979) citées dans le tableau 2.2.2.

Tableau 2.2.2. Conservation des prélèvements selon les normes AFNOR (1979).

Caractéristiques ou éléments analysés	Récipient	Conservateur à utiliser	Volume minimal de prélèvement (ml)	Température de conservation en °C.	Effectuer la mesure avant
Chlorures	P ou V	-	200	-	15 jours
Conductivité	P ou V	Mesure <i>in situ</i> de préférence	100	4	48 h obc.
DBO ₅	P ou V	-	1000	4	24 h obc.
Dureté totale (TDS)	P ou V	Acide nitrique	100	-	1 mois
Fer	P	-	-	-	-
Hydrocarbures	V	Tétrachlorure de carbone (1ml/l)	1000	4	6 jours obc.
Cu, Pb.	P ou V	Acide nitrique (pH < 1,5)	-	-	2 mois
Mercure (Hg)	V b	Acide nitrique (pH < 0,5)	-	-	1 mois
Nitrates	P ou V	-	100	4	48 h obc.
Nitrite	P ou V	-	100	4	24 h obc.
Oxygène dissous (O ₂ mg/l)	V b	Mesure <i>in situ</i> de préférence	300	4	24 h obc.
Taux de saturation en oxygène (O ₂ %)	V b	Mesure <i>in situ</i> de préférence	300	4	24 h obc.
pH	V b	Mesure <i>in situ</i> de préférence	/	4	24 h obc.
Phosphates	P ou V	-	100	4	48 h obc.
Potentiel redox (rH)	-	Mesure <i>in situ</i> de préférence	100	-	Instantanément
Salinité	-	Mesure <i>in situ</i> de préférence	100	-	-
Température	-	Mesure <i>in situ</i> de préférence	100	-	Instantanément
Turbidité	-	-	100	4	24 h obc.

NB : P/ Polyéthylène
V/ Verre
V b / Verre borosilicaté
OBS / Obscurité

2.4. Données et méthodes de collecte :

Les données collectées sont des caractéristiques physicochimiques mesurées dans chaque échantillon d'eau résiduaire prélevée par mois et par station. Ces caractéristiques ou variables se divisent en deux groupes :

- Le premier groupe est constitué des variables mesurées in situ à l'aide de sondes de terrains WTW type 197-S (AFNOR, 1979). Il s'agit essentiellement de :
 - La température en degrés Celsius (T°),
 - La salinité (S‰),
 - Le potentiel hydrogène (pH),
 - Le pouvoir réducteur en millivolt (rH),
 - La dureté totale en mg/l (TDS),
 - La conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (condu),
 - L'oxygène dissous en mg/l (O_2 mg/l),
 - Le taux de saturation en oxygène (O_2 %),

- Le deuxième groupe de variables comprend :
 - La turbidité en NTU (turbi) mesurée à l'aide d'un turbidimètre JENWAY réf 6035 (AFNOR, 1979),
 - La demande biochimique en oxygène en mg/l (DBO_5) obtenue au moyen du dispositif WTW OxiTop[®]Control 12 (AFNOR, 1979),
 - Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) en mg/l dosés avec des bandelettes (J.T. Baker) référence 4421-01. (AFNOR, 1979),
 - Les phosphates en mg/l (PO_4^-) dosés au spectrophotomètre UV/visible (ASTM, 1974),
 - Les chlorures en mg/l (Cl) obtenus par méthode volumétrique, après titrage aux nitrates d'argent (ASTM, 1974 ; AFNOR, 1979 et Rodier, 1998),
 - Les hydrocarbures totaux en mg/l (C_xH_y) mesurés par gravimétrie (Rodier, 1998),
 - Les éléments inorganiques sont essentiellement le fer (Fe), le cuivre (Cu), le plomb (Pb) et mercure (Hg) tous en mg/l. les trois premiers éléments sont dosés par un spectrophotomètre à flamme de référence D2576 (ASTM, 1974), alors que le mercure est obtenu à l'aide d'un mercurimètre de référence D3223 (ASTM, 1974).

Le choix de ces caractéristiques est strictement lié aux types d'activités industrielles dans la zone ZIK1.

Chapitre III : Résultats et discussions.

3.1. Introduction :

La troisième et dernière partie de ce travail est essentiellement consacrée à la présentation et à la discussion des différents résultats obtenus.

Au cours de ce chapitre, nous présenterons et discuterons les principaux résultats obtenus par les différentes méthodes statistiques.

Nous envisagerons tout d'abord les résultats de l'analyse statistique univariée relatifs à la description des données, à l'application du test t de Student, du test d'analyse de la variance et du test de la plus petite différence significative (paragraphe 3.2.), puis nous examinerons les résultats de l'analyse bivariée (paragraphe 3.3.) et enfin, nous analyserons successivement les résultats des méthodes statistiques multivariées, notamment l'analyse de la variance multivariée, l'analyse en composantes principales et l'analyse hiérarchique (paragraphe 3.4.).

Nous terminerons le chapitre avec une conclusion (paragraphe 3.5.).

3.2. Résultats des analyses statistiques univariées :

3.2.1. Description des données : résultats statistiques.

Dans ce paragraphe, nous donnerons les résultats de la description des données obtenues dans chaque station et pour chacune des variables mesurées. Cette description sera commentée et confrontée d'une part, aux informations récoltées dans la bibliographie et, d'autre part, aux normes et textes algériens qui régissent les effluents liquides industriels.

Mais bien avant ces résultats, nous présenterons chaque fois, par image satellitaire et par photo, chacune des stations étudiées.

3.2.1.1. Données récoltées au niveau du complexe de transport des hydrocarbures RTE :



Figure 3.2.1. Image satellite du complexe de transport et de stockage des hydrocarbures RTE (Quickbird, 2003).



Figure 3.2.2. Photo du canal de rejet de la RTE



Figure 3.2.3. Photo montrant la couleur des eaux rejetées par la RTE

Tableau 3.2.1. Paramètres statistiques de la description des données récoltées au niveau de la RTE

Variable	n	\bar{x}	S	X _{min}	X _{max}
T ° C	24	19,950	5,470	11,400	29,600
S ‰	24	2,910	3,020	0,000	12,500
PH	24	6,700	0,510	6,040	8,100
O ₂ %	24	43,070	14,930	10,000	78,500
O ₂ mg/l	24	4,090	1,890	0,980	9,000
rH mV	24	18,680	28,870	-64,000	57,000
Condi µS/cm	24	5490,000	5025,000	514,000	21200,000
TDS mg/l	24	5400,000	4955,000	509,000	20000,000
Turbi NTU	24	56,100	22,770	3,900	91,700
DBO ₅ mg/l	24	27,450	23,750	0,000	128,000
NO ₃ ⁻ mg/l	24	3,240	6,600	0,000	25,000
NO ₂ ⁻ mg/l	24	0,180	0,390	0,000	1,000
C _x H _y mg/l	24	258,000	1069,000	0,000	4790,000
Hg mg/l	15	0,010	0,010	0,000	0,000
Fe mg/l	24	5,520	3,720	0,000	16,700
Cu mg/l	24	0,010	0,010	0,000	0,000
Pb mg/l	24	0,020	0,040	0,000	0,200
Cl ⁻ mg/l	24	3239,000	495,000	2479,000	3845,000
PO ₄ ⁻ mg/l	24	4,710	2,830	0,660	8,400

a) La température (T°) :

La valeur moyenne des températures enregistrées au cours de 24 mois d'étude (tableau 3.2.1.), est de l'ordre de 19,95 °C avec un maximum en été et un minimum en hiver. Il faut rappeler que le complexe RTE est uniquement une structure de transport et de stockage des hydrocarbures destinés au raffinage ou à l'exportation, donc les températures enregistrées sont relativement conformes aux limites fixées par les différents textes réglementaires (JORA, 2006). Les eaux rejetées sont uniquement composées par des eaux de lavages et d'entretiens des installations et des équipements.

b) La salinité (S‰) :

Au niveau des eaux résiduelles rejetées par la RTE, on observe une salinité moyenne de 2,91, avec un maximum de 12,5 qui correspond à la saison chaude, avec le réchauffement de l'air, l'évaporation importante et le traitement intense au chlore (Rodier, 1998). Toutes ces conditions contribuent à l'augmentation de la salinité la rapprochant d'une eau saumâtre. Le minimum avoisine le zéro au cours de la période des fortes pluies.

c) Le pH :

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité, à pH 7 on dit que cette eau est neutre (Rodier, 1998). Le pH des eaux rejetées par la RTE est de l'ordre de 6,04 durant la saison chaude. Cette valeur correspond aux conditions où la température est élevée et le débit de l'eau est le plus faible. Un pH de 8,11 correspond aux eaux rejetées en hiver avec le lessivage des terrains par les pluies et la diminution de la température (Rodier, 1998). En général les eaux rejetées par la RTE sont en moyenne de pH légèrement acide.

d) Le taux de saturation en oxygène (O₂%) et l'oxygène dissous (O₂ mg/l) :

La présence régulière de l'oxygène dans l'eau n'en fait pas un élément constitutif. Sa solubilité est fonction de la température, la pression partielle atmosphérique et de la salinité (Rodier, 1998 ; kruk, 1998). Le tableau 3.2.1. montre que le taux de saturation varie entre 10% soit 0,98 mg/l durant les mois les plus chauds, Ces dernières valeurs sont relativement faibles, et ne peuvent pas assurer une bonne activité biologique aquatique, et 78,5% soit 9 mg/l pendant la période des grandes crues et du brassage du canal ainsi que la diminution de la température, avec une valeur moyenne de l'ordre de 43,07% qui correspond à 4,058 mg/l.

e) Le potentiel redox (rH) :

Selon Rodier (1998) ce potentiel n'est pas connu d'une façon absolue, mais seulement par rapport à une électrode choisie arbitrairement, l'électrode à hydrogène. Pratiquement, si une eau possède un (rH) compris entre 0 mV et 27 mV le milieu est considéré comme réducteur ; de 27 mV à 54 mV il est considéré comme oxydant. Ceci nous amène à conclure que les eaux rejetées par la RTE ont un potentiel redox compris entre -64 mV à 57 mV, donc ses eaux passent par les deux états oxydant et réducteur selon la température, l'oxygène dissous, et les produits d'entretiens et les détergents utilisées.

f) La dureté totale (TDS) :

Il n'est pas facile de définir un niveau de ségrégation entre une eau douce et une eau dure. Cependant, on peut considérer qu'à des teneurs inférieures à 75 mg/l qu'il s'agit d'une eau douce (Rodier, 1998 ; ASTM, 1974 ; AFNOR, 1979) et qu'au dessus il s'agit d'une eau dure.

De ce fait en observant le tableau 3.2.1., la dureté des eaux résiduaires rejetées par la RTE varie entre 509 et 21200 mg/l, soit la dureté d'une eau saumâtre. Ces taux élevés sont à relier aux produits de nettoyages et aux détergents rejetés, sans traitement préalable, directement dans le canal.

g) La turbidité (turbi) :

La turbidité est liée à la présence de particules diverses en suspension dans l'eau. Elle peut être favorisée par la pluie. Certains auteurs font un rapprochement entre la turbidité ou la transparence et les matières en suspensions MES (Bliefert et Perraud 2001 ; Quevauviler, 2001).

Si on s'intéresse aux valeurs de la turbidité, enregistrées durant les 24 mois d'étude, qui sont présentées dans le tableau 32.1., on remarque des valeurs variant entre 3,10 NTU et 91,70 NTU, cette dernière valeur est observée surtout en période des grandes crues. Ces valeurs sont très importantes et présentent un grand inconvénient pour le bon développement de la vie aquatique (limitation de la pénétration de la lumière, obstruction des branchies des poissons et des bivalves etc.). Elle limiterait aussi la destruction des coliformes au-delà de 5 NTU en cas de traitement.

h) La Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅) :

L'autoépuration naturelle dans les eaux superficielles résulte de la dégradation des charges organiques polluantes sous l'effet des microorganismes.

Il est admis qu'une DBO₅ inférieure à (1 mg/l) d'oxygène peut-être considérée comme normale, entre (1 et 3 mg/l) comme acceptable et douteuse pour des valeurs supérieures à (3 mg/l) (Rodier, 1998).

Les valeurs de la DBO₅ des eaux rejetées par la RTE varient entre 0 et 128 mg/l selon les saisons, le débit de l'eau etc., avec comme valeur moyenne 27,45 mg/l. Il faut signaler que de faibles valeurs de DBO₅, dans un milieu nettement pollué peuvent être liées à la présence de produits inhibiteurs (toxiques pour les microorganismes) (Rodier, 1998).

i) La conductivité (condi) :

C'est un moyen qui nous permet d'évaluer rapidement mais approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution.

Selon les recommandations de la réglementation française et européenne qui donnent quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité, on peut conclure que les rejets liquides de la RTE ayant une conductivité comprise entre 514 et 21200 µs/cm, ce qui correspond à une minéralisation qui varie entre une minéralisation moyenne accentuée et une minéralisation élevée proche de celle des eaux saumâtre, et parfois même salée, et dont la conductivité varie entre 10000 et 30000 µs/cm (Rodier, 1998).

Pour les eaux industrielles, l'interprétation des résultats doit se faire en fonction d'une analyse complète de l'eau, puisque la conductivité ne reflète qu'une minéralisation globale et ne permet pas d'identifier les éléments chimiques en cause (Rodier, 1998).

j) Les nitrates (NO_3^-) :

Les eaux résiduaires rejetées par le complexe RTE durant les 24 mois de notre étude ont des teneurs en NO_3^- variant entre 0 et 25 mg/l, avec une valeur moyenne de 3,24 mg/l. Cette valeur est considérée comme normale. Les valeurs extrêmes enregistrées sont liées aux variations de la température et de l'oxygène dissous ainsi qu'au débit de l'eau dans le canal (Kruk, 1998 ; Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

Les nitrates participent aux phénomènes d'eutrophisation en période de faible oxygénation (surtout en période printanière et estivale), les nitrates peuvent aussi jouer un rôle de donneur d'oxygène pour éviter l'anaérobiose (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

k) Les nitrites (NO_2^-) :

Les nitrites sont absents ou très peu présent dans les eaux non polluées et dans les zones à autoépuration active avec des teneurs très faibles de l'ordre de 0,01 mg/l (Rodier, 1998). En dessous de cette valeur on parle d'eau pure. Dans le cas des eaux résiduaires étudiées au niveau de la RTE, et durant la saison des grandes pluies on enregistre des valeurs de l'ordre de 0 mg/l. Ces eaux sont sous l'action d'une autoépuration active. La valeur moyenne est de l'ordre de 0,1765 mg/l, dans ce cas on parle de pollution sensible. Cette pollution devient significative au delà de 1 mg/l durant la saison des grandes chaleurs.

l) Les Hydrocarbures totaux (C_xH_y) :

En ce qui concerne les hydrocarbures totaux, leur présence est facilement indiquée par l'odeur, la texture et la couleur de l'eau (Rodier, 1998).

Durant notre étude, la méthode utilisée pour le dosage et la détection des hydrocarbures est une méthode gravimétrique qui a le mérite et l'avantage d'être très efficace pour les grandes pollutions accidentelles aux hydrocarbures. Le choix de cette méthode vient après plusieurs tentatives pour trouver une alternative aux infrarouges et aux chromatographies à phase gazeuse indisponible durant cette période.

En observant le tableau 3.2.1., on remarque que les teneurs en hydrocarbures totaux varient entre 0 et 4790 mg/l. Les valeurs nulles correspondent aux valeurs inférieures à 10 mg/l (ou même 20 mg/l), limites instaurées par la réglementation algérienne (JORA, 2006). Les teneurs les plus élevées 4790 mg/l correspondent à la période de l'accident survenue au

niveau de la RTE en octobre 2005, avec une importante explosion au niveau de 3 bacs de stockages et les fuites enregistrées par la suite, et de leur déversement direct dans le canal d'évacuation tout en laissant des traces d'hydrocarbures pendant plusieurs mois.

m) Le mercure (Hg) :

Pour un élément peu répondu sur l'écorce terrestre, le mercure peut se trouver dans les sols à des teneurs variant de 0,01 à 20 mg/kg (Rodier, 1998).

Au niveau des eaux résiduaires de la RTE, le dosage du mercure donne une valeur moyenne sur une durée de 24 mois d'étude de 0,00515 mg/l, avec des valeurs variant entre des valeurs traces (proches de zéro) et 0,0371 mg/l. Cette dernière valeur, bien qu'elle soit supérieure aux valeurs limites de (0,01 mg/l) recommandées par la législation algérienne (JORA, 2006) et par l'OMS, mais reste inférieure à la valeur de tolérance autorisée pour les anciennes installations en activité en Algérie (0,05 mg/l) (JORA, 2006).

La présence du mercure est expliquée par la contamination géologique de nombreux minerais par le mercure (industrie de raffinage, combustion des hydrocarbures fossiles et du charbon) (Rodier, 1998).

n) Le fer (Fe) :

C'est un élément très répondu, il est classé au quatrième rang des éléments de la croûte terrestre. Largement utilisé dans la métallurgie avec des utilisations secondaires très variées dans la chimie (Rodier, 1998).

En observant le tableau 32.1., on enregistre une valeur moyenne de 5,518 mg/l largement supérieure aux limites fixées par le décret 06-141 (3 mg/l comme valeur limite et 5 mg/l comme tolérance extrême pour les anciennes installations en activités) (JORA, 2006). Pour les valeurs maximales, elles sont passées du simple au triple 16,73 mg/l, ces valeurs sont expliquées par le lessivage des terrains, la corrosion des installations etc. Le zéro revient à l'oxydation du fer ou à sa précipitation (Rodier, 1998).

o) Le cuivre (Cu) :

Si on observe bien le tableau 3.2.1., on remarque que les eaux résiduaires rejetées par la RTE, ont des teneurs en cuivre total relativement inférieures aux normes fixées par la réglementation algérienne, notamment le décret 06-141 soit 0,5 mg/l (JORA, 2006), la valeur la plus élevée correspond à 0,023 mg/l. Généralement le cuivre provient du lessivage des sols

traversés, la corrosion des tuyaux ou peut avoir comme origine les résidus d'un traitement contre le dépôt d'algues par les sels de cuivres (Rodier, 1998).

p) Le plomb (Pb) :

Le plomb est un élément dont la toxicité n'est pas à mettre en évidence et dont les sources dans les eaux naturelles varient (ruissellement, lessivage des sols, emploi de plomb tétraéthyle dans les carburants comme antidétonant, fusion des minerais, utilisation de combustibles fossiles) (Rodier, 1998).

Si on se réfère au décret 06-141 (JORA, 2006), la valeur limite du plomb dans les eaux résiduaires est fixée à 0,5 mg/l. Cette dernière valeur est largement supérieure à la valeur maximale enregistrée au niveau des rejets de la RTE 0,157 mg/l. La valeur moyenne sur les 24 mois d'étude est de l'ordre de 0,01763 mg/l.

Il faut aussi signaler que la vie aquatique peut être perturbée à partir de 0,1 mg/l (Rodier, 1998). Toute fois, l'action toxique est variable selon les espèces et le degré de minéralisation de l'eau (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

q) Les chlorures (Cl⁻) :

Les teneurs en chlorures des eaux, varient principalement selon la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/l (Rodier, 1998). Si on observe le tableau 3.2.1., on remarque que, pour un complexe comme la RTE, qui n'utilise qu'une eau douce et potable (largement utilisée dans le nettoyage et la maintenance des installations), les teneurs des chlorures présentent des valeurs assez élevées, de l'ordre de 3239 mg/l. Ces valeurs sont essentiellement le résultat de l'implantation des installations et des réalisations de stockages pétrolières (Rodier, 1998).

Dans le contrôle des eaux, ce qu'il importe de constater, c'est moins le taux absolu des chlorures qu'elles contiennent, que la constance de ce taux, ce n'est pas le cas au niveau des rejets de la RTE. Avec la solubilité très facile des chlorures ils ne participent pas, pour ainsi dire, aux processus biologiques (Rodier, 1998).

r) Les phosphates (PO₄⁻) :

C'est un élément important pour la vie aquatique. Sa présence naturelle dans les eaux est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique.

Il est admis que des teneurs supérieures à 0,5 mg/l doivent présenter un indice de pollution (Rodier, 1998).

Si on observe le tableau 3.2.1., on remarque que les valeurs des phosphates, dans les eaux rejetées par la RTE varient entre 0,660 à 8,363 mg/l. Ces valeurs sont inférieures aux limites fixées par le décret 06-141, soit 10 mg/l (JORA, 2006).

Dans le cas des installations industrielles, les phosphates peuvent avoir comme origine, les traitements des eaux contre la corrosion et l'entartrage ou des adjuvants actifs ajoutées aux détergents. Les valeurs enregistrées durant la période d'étude peuvent induire l'eutrophisation des eaux (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud 2001)

s) Conclusion :

On peut conclure, d'après les constatations précédentes, sur la qualité des eaux rejetées par le complexe de transport et de stockage des hydrocarbures (RTE) que :

- L'eau rejetée est de nature douteuse, avec une température moyenne relativement élevée, un pH acide et un taux de saturation de l'oxygène relativement bas.
- Ce sont des eaux très troubles avec une forte minéralisation, une demande biochimique en oxygène élevée, des teneurs en nitrates et nitrites sensibles.
- Les hydrocarbures sont présents surtout en période d'accidents. Ce qui montre que le canal n'est pas à l'abri d'autres accidents et par conséquent peut menacer les espèces aquatiques.
- Les teneurs en métaux dans l'ensemble sont assez sensibles, surtout pour le plomb et le fer.
- Les teneurs en phosphates et en chlorures, le plus souvent durant cette étude, sont très importantes.

Donc les eaux rejetées par la RTE sont polluées, douteuses et présentent beaucoup d'inconvénients pour le bon développement de la vie aquatique.

3.2.1.2. Données récoltées au niveau du complexe de raffinage des hydrocarbures (RAF) :



Figure 3.2.4. Image satellite du complexe de raffinage des hydrocarbures RAF (Quickbird, 2003)



Figure 3.2.5. Photo du canal de rejets de la raffinerie de Skikda.



Figure 3.2.6. Photo montrant la couleur des eaux rejetées par la RAF.

Tableau 3.2.2. Paramètres statistiques de la description des données récoltées au niveau des eaux résiduaires de (RAF)

Variable	n	\bar{x}	s	X _{min}	X _{max}
T ° C	24	25,600	6,620	15,500	36,100
S ‰	24	0,310	0,364	0,000	1,700
PH	24	7,340	0,880	6,090	10,100
O ₂ %	24	44,760	13,790	27,200	80,300
O ₂ mg/l	24	3,870	1,698	2,020	7,750
rH mV	24	-21,700	52,200	-187,000	54,000
Condi µS/cm	24	1034,000	665,000	143,000	3380,000
TDS mg/l	24	1018,000	756,000	143,000	3900,000
Turbi NTU	24	49,400	38,380	5,900	167,900
DBO ₅ mg/l	24	79,550	30,910	0,000	134,000
NO ₃ ⁻ mg/l	24	1,180	3,321	0,000	10,000
NO ₂ ⁻ mg/l	24	0,000	0,000	0,000	0,000
C _x H _y mg/l	24	112,800	328,300	0,000	1436,000
Hg mg/l	15	0,000	0,005	0,000	0,020
Fe mg/l	24	3,170	7,120	0,000	36,000
Cu mg/l	24	0,020	0,063	0,000	0,310
Pb mg/l	24	0,020	0,037	0,000	0,140
Cl ⁻ mg/l	24	565,100	247,000	245,700	991,200
PO ₄ ⁻ mg/l	24	3,320	2,011	0,700	6,160

a) La température T° :

L'examen du tableau 3.2.2., nous renseigne sur la température des eaux rejetées par le complexe de raffinage de Skikda. Il s'agit d'une eau relativement chaude, si on se base sur le décret 06-141 (JORA, 2006), avec une valeur moyenne de 25,60 °C. Le minimum de 15,5 °C enregistré beaucoup plus durant la période de maintenance de la raffinerie et l'arrêt de la production. La température des eaux résiduaires du raffinage du pétrole atteint les 36,2 °C, ces valeurs dépassent de loin les normes fixées par les textes (Rodier, 1998 ; JORA, 2006).

b) La salinité :

L'examen du tableau 3.2.2., montre que la salinité moyenne des eaux rejetées par la raffinerie de Skikda est de l'ordre de 0,3146 avec un maximum de 1,7 et un minimum de 0. Ces valeurs enregistrées, sont essentiellement liées aux traitements des eaux utilisées dans le processus par les sels de chlore.

L'eau utilisée est l'eau du robinet, après déminéralisation et traitement au chlore, ce qui explique les faibles teneurs en sels dissous dans les eaux résiduaires du complexe (RAF).

c) Le pH :

Les valeurs du pH des eaux rejetées par la raffinerie de Skikda varient entre, 6,09 et 10,1. La valeur minimale correspond à un pH relativement acide coïncidant avec l'augmentation de la température et la diminution de la teneur en oxygène dissous. C'est le cas des eaux rejetées, le plus souvent, par la raffinerie durant cette étude.

La valeur maximale correspond à un pH élevé et basique. Dans ces conditions extrêmes, ces valeurs de pH sont rares dans la nature et caractérisent beaucoup plus les eaux stagnantes (Rodier, 1998).

d) L'oxygène dissous (O₂) et le taux de saturation en oxygène (O₂%):

En sachant que, la dissolution de l'oxygène est fonction de plusieurs facteurs tels que la température, le pH, la pression partielle de l'oxygène etc. En fonction de ce qui a été dit dans les paragraphes précédents, l'observation du tableau 3.2.2. montre que les teneurs en oxygènes dissous varient entre 27,2 mg/l et 80,3 mg/l soit des teneurs de saturation allant de 2,02% à 7,25%. Le plus souvent, avec la température élevée des eaux rejetées, ce qui a comme importante conséquence de ce fait, la teneur en oxygène dissous soit réduite, et par conséquent, la capacité autonettoyante de l'eau (Bliefert et Perraud, 2001).

Ces eaux rejetées directement sans traitement ou convection de chaleur, ne sont pas favorables au bon développement de la vie aquatique. Selon la classification de Bliefert et Perraud (2001), ces eaux sont considérées comme hors classe.

e) Le potentiel redox (rH) :

L'examen du tableau 3.2.2., montre que le potentiel redox des eaux résiduaires de la raffinerie de Skikda varie entre -187 mV et 54 mV avec une valeur moyenne de -21,7 mV. Là aussi, les eaux rejetées par la raffinerie, selon la classification de Rodier (1998), passent par les deux états oxydant et réducteur, toujours en fonction de la température, l'oxygène dissous, le pH et les substances présentes dans les rejets liquides.

f) La conductivité (condi) :

L'observation du tableau 3.2.2. nous informe sur l'état de la minéralisation globale des eaux rejetées par le complexe de raffinage du pétrole.

Ces valeurs varient entre 143 µS/cm et 3380 µS/cm, ce qui selon la classification de Rodier (1998), malgré l'origine bien connue de l'eau utilisée dans le processus (eau du robinet), montre que la minéralisation de ces eaux correspond à une minéralisation moyenne allant jusqu'à une importante minéralisation proche de celle des eaux saumâtres.

g) La dureté totale (TDS) :

Les valeurs de la dureté totale, des eaux rejetées par la raffinerie de Skikda, varient entre 143 mg/l et 3900 mg/l. Ces valeurs montrent qu'on est dans le cas d'eaux très dures (ASTM, 1947 ; Rodier, 1998).

h) La turbidité (Turbi) :

L'observation du tableau 3.2.2., montre que la présence de particules diverses en suspension est très importante. En effet les valeurs de la turbidité, des eaux résiduaires du raffinage de pétrole, varient entre 5,9 NTU et 167,9 NTU. Ces valeurs sont très importantes et peuvent être nuisibles pour le bon développement de la vie marine.

i) La demande Biochimique en oxygène (DBO₅) :

Les valeurs de la demande biochimique en oxygène sur cinq jours, enregistrées au niveau des eaux résiduaires de la (RAF), donnent une moyenne de 79,55 mg/l. Durant les 24 mois d'étude, les valeurs de la DBO varient entre 0 mg/l et 134 mg/l.

Les valeurs enregistrées sont, la plus part du temps, largement supérieur aux normes fixées par les textes algériens (JORA, 2006). Par conséquent nous pouvons déduire que, les eaux rejetées par ce complexe, selon les différentes classifications recueillies dans la bibliographie, sont de nature douteuse ou même hors classe (Kruk, 1998 ; Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

j) Les nitrates (NO₃⁻) :

Durant nos vingt-quatre mois de surveillance, les valeurs enregistrées en nitrates varient entre 0 mg/l et 10 mg/l, avec une valeur moyenne de 1,176 mg/l. Ces valeurs sont considérées comme normales selon Rodier (1998).

k) Les nitrites (NO₂⁻) :

Les eaux résiduaires de la raffinerie, présentent un taux de nitrite nul. Donc on peut déduire que, soit l'oxydation de l'ammoniac est conduite à son terme, soit la dénitrification n'a pas lieu (Rodier, 1998).

l) Les hydrocarbures totaux (C_xH_y) :

L'examen du tableau 3.2.2. montre que, les valeurs des hydrocarbures totaux, mesurés au niveau des rejets liquides de la raffinerie, varient entre 0 mg/l, pendant l'arrêt du complexe, et 1436 mg/l en pleine activité.

La valeur moyenne est de l'ordre de 112,8 mg/l. Cette valeur est largement supérieure aux deux limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006).

Ces valeurs importantes témoignent de l'inefficacité du système d'épuration des hydrocarbures, adopté par la raffinerie de Skikda.

m) Le mercure total (Hg) :

Dans ce type d'installation et avec ce niveau d'activité intense de raffinage des hydrocarbures, la présence du mercure est expliquée par la contamination géologique des hydrocarbures par cet élément (Rodier, 1998).

L'examen du tableau 3.2.2., montre que le dosage du mercure donne une valeur moyenne de l'ordre de 0,00157 mg/l. Les valeurs enregistrées au cours de notre étude, varient entre des valeurs traces à 0,019 mg/l. Cette dernière valeur, bien qu'elle soit inférieure à la valeur de tolérance pour les installations anciennes, elle est supérieure aux 0,01 mg/l fixés par le décret 06-141 (JORA, 2006). Cette dernière information, confirme l'inefficacité du dispositif épuratoire mis en place.

n) Le fer total (Fe) :

Les observations recueillies au cours des 24 mois d'étude, concernant le fer, figurent dans le tableau 3.2.2. Les teneurs du fer enregistrées au niveau des rejets de la raffinerie de Skikda atteignent 36 mg/l. Ces valeurs sont largement au dessus du seuil de tolérance, fixés par les textes en vigueur (JORA, 2006).

La présence d'aussi importantes quantités de fer, dans les eaux résiduaires, est liée à l'intensité de l'activité dans ce complexe, la corrosion importante qui sévit et à la vétusté des installations. De telles valeurs peuvent nuire au développement des organismes aquatiques (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

o) Le cuivre total (Cu) :

En se basant sur les textes réglementaires (JORA, 2006), le dosage du cuivre total, au niveau des eaux résiduaires de la raffinerie de Skikda, donne des valeurs allant de 0 mg/l à 0,311 mg/l, avec une moyenne de 0,0178 mg/l.

La présence du cuivre est liée, d'une part, à la corrosion des tuyaux et, d'autre part au traitement par les sels de cuivre (Rodier, 1998).

p) Le plomb total (Pb) :

Les observations des variations du plomb, dans les eaux rejetées par la raffinerie, au cours de notre étude, sont mentionnées dans le tableau 3.2.2.

Les valeurs du plomb varient entre 0 mg/l et 0,01554 mg/l. Bien que ces valeurs soit inférieures aux normes, édictées par le décret 06-141 (JORA, 2006), elles peuvent perturber le bon développement de certaines espèces aquatiques (Rodier, 1998 et Bliefert et Perraud, 2001). Ce qui confirme l'inadéquation du système de traitement des eaux au niveau de la raffinerie.

q) Les chlorures (Cl⁻) :

L'examen du tableau 3.2.2., nous informe que dans les eaux rejetées par la raffinerie, les teneurs des chlorures varient entre 245,7 mg/l et 991,2 mg/l. Ces valeurs sont assez élevées, comparée à la nature des eaux utilisées dans le processus de production (eau potable déminéralisée).

La source des chlorures est les installations de stockage des hydrocarbures (Rodier, 1998) et les sels utilisés pour le nettoyage et l'entretien des installations (ASTM, 1974).

r) Les phosphates (PO₄⁻) :

En se basant sur les recommandations du décret 06-141 (JORA, 2006), les valeurs des phosphates, enregistrées dans les eaux résiduaires de la raffinerie, varient entre 0,7 mg/l et 6,15 mg/l. Ces valeurs sont inférieures aux limites fixées par le précédent décret 06-141 (JORA, 2006). Cela ne nous empêche pas de remarquer, que ces valeurs sont assez importantes et peuvent conduire à des phénomènes d'eutrophisation du milieu (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

Les teneurs élevées en phosphates sont liées à l'utilisation intensive de produits de nettoyages et d'entretiens des installations chargés le plus souvent en substances tensioactives (Bliefert et Perraud, 2001).

s) Conclusion :

D'après les informations récoltées de la raffinerie de Skikda, sur la qualité des eaux rejetées par ce complexe on peut conclure que :

- Les eaux rejetées la plus part du temps sont très chaudes, pauvres en oxygène, acides, ayant une forte minéralisation.
- La DBO démontre l'aspect pollué de ces eaux, avec une turbidité importante et des valeurs faibles en nitrates et nitrites.
- Les hydrocarbures sont tout le temps présents dans l'eau à des teneurs élevées. Ce qui prouve l'incapacité du système épuratoire à contenir ce problème.
- Les variations des métaux sont importantes, spécialement pour le fer, le mercure et le plomb, ce qui donne à ces eaux une certaine toxicité distincte.
- Les chlorures et les phosphates sont présents à des teneurs importantes avec toutes les conséquences sur le milieu récepteur.

Donc les eaux rejetées par le complexe de raffinage des hydrocarbures de Skikda, sont de nature douteuse hors classe et toxique.

3.2.1.3. Données récoltées au niveau du complexe des matières plastiques (CMP) :



Figure 3.2.7. Image satellite du complexe des matières plastiques (CMP)
(Quickbird, 2003)



Figure 3.2.8. Vue aérienne du canal de rejet du (CMP)



Figure 3.2.9. Photo du rejet du (CMP).

Tableau 3.2.3. Paramètres statistiques de la description des données récoltées au niveau des eaux résiduaires du (CMP)

Variable	n	\bar{x}	S	X _{min}	X _{max}
T ° C	24	25,500	3,690	19,400	32,700
S ‰	24	37,400	0,370	36,700	38,200
PH	24	8,000	0,650	7,200	9,600
O ₂ %	24	63,900	7,840	40,000	80,400
O ₂ mg/l	24	5,200	0,900	3,000	7,400
rH mV	24	-63,100	37,740	-145,900	-14,000
Condi µS/cm	24	55135,000	4884,000	36500,000	61400,000
TDS mg/l	24	54426,000	6469,000	29000,000	60000,000
Turbi NTU	24	4,800	7,250	1,000	32,200
DBO ₅ mg/l	24	7,000	7,480	0,000	21,100
NO ₃ ⁻ mg/l	24	2,700	6,640	0,000	25,000
NO ₂ ⁻ mg/l	24	0,400	1,230	0,000	5,000
C _x H _y mg/l	24	5,500	19,210	0,000	86,000
Hg mg/l	15	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe mg/l	24	0,400	0,430	0,000	1,500
Cu mg/l	24	0,000	0,040	0,000	0,200
Pb mg/l	24	0,000	0,040	0,000	0,100
Cl ⁻ mg/l	24	21231,000	920,000	19451,000	22007,000
PO ₄ ⁻ mg/l	24	0,400	0,160	0,100	0,500

a) La Température (T°) :

L'examen du tableau 3.2.3. nous renseigne sur la température des eaux rejetées par le complexe des matières plastiques.

Les valeurs de la température enregistrées au cours de cette étude varient entre 19,4 °C en hiver, et 32,7 °C en été. Cette dernière valeur est supérieure aux limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006). La valeur moyenne est de l'ordre de 25,517 °C.

On peut aussi noter une certaine constance relative des valeurs de la température, des eaux rejetées par le complexe (CMP). Ces températures élevées ont une influence directe sur les espèces marines. En effet le canal de rejet du complexe (CMP) communique directement avec la mer, ce qui peut conduire à la disparition de certaines espèces benthiques sessiles et favoriser l'installation d'espèces opportunistes.

b) La Salinité (S‰) :

L'examen du tableau 3.2.3. montre que la salinité des eaux rejetées par le (CMP) varie entre 36,7 et 38,2.

La valeur moyenne est de l'ordre de 37,8. On note aussi la constance relative des valeurs de la salinité des eaux résiduaires du (CMP) au cours de notre étude.

Ces valeurs enregistrées sont assez importantes et parfois dépassent la salinité moyenne de la méditerranée. Ces valeurs sont dues à l'utilisation de l'eau de mer, après déminéralisation, comme eau de refroidissement. L'excès de sel est directement rejeté dans le canal sans traitement, puisque la station d'épuration est hors service depuis quelques années.

c) Le pH :

Le pH des eaux rejetées par le complexe des matières plastiques, est en moyenne basique avec une valeur moyenne de l'ordre de 8,036. Cette tendance est remarquée surtout en saison chaude et peut atteindre 9,57. La valeur minimale correspond à un pH de l'ordre de 7,21 coïncidant avec les grandes crues. Les valeurs élevées du pH sont liées d'une part, à l'utilisation de l'eau de mer qui possède un pH naturellement basique et, d'autre part au fait de la déminéralisation des eaux, qui utilise un procédé par addition de soude (ASTM, 1974 ; Rodier, 1998).

d) L'oxygène dissous (O_2) et le taux de saturation en oxygène ($O_2\%$) :

Les valeurs de l'oxygène dissous ainsi que le taux de saturation en oxygène figurent dans le tableau 3.2.3.

La valeur moyenne de l'oxygène dissous est de 5,24 mg/l soit un taux de saturation de 63,89%. Les valeurs minimales sont de l'ordre de 3,1 mg/l soit un taux de saturation de 40% et les valeurs maximales sont de l'ordre de 7,35 mg/l soit un taux de saturation de 80,4%. Les valeurs minimales sont relativement faibles et ne favorisent pas le bon développement des organismes marins. Elles sont dues à l'augmentation de la température qui diminue la dissolution de l'oxygène (Kruk, 1998 ; Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001). Les valeurs maximales, correspondent d'une part à la baisse de la température, qui va favoriser la dissolution de l'oxygène et, d'autre part aux puissantes quantités d'eaux rejetées qui génèrent un remous important conduisant à l'augmentation du taux de saturation de l'eau en oxygène (par une action mécanique).

e) Le potentiel redox (rH) :

Les valeurs du potentiel réducteur (rH) des eaux rejetées par le complexe (CMP) sont mentionnées dans le tableau 3.2.3.

Les valeurs du pouvoir réducteur varient entre -145,9 mV et -14 mV, et selon la classification de Rodier (1998), ce milieu passe par les deux états, oxydant et réducteur, en fonction de la température, le pH et l'oxygénation du milieu.

f) La conductivité (condi) :

Les valeurs de la conductivité des eaux rejetées par le complexe des matières plastiques, varient entre 36500 $\mu\text{S/cm}$ et 61400 $\mu\text{S/cm}$.

Ces valeurs sont très importantes, ce qui est expliqué par une minéralisation très élevée selon la classification de Rodier (1998). Ces valeurs dépassent même la minéralisation de l'eau de mer qui est de l'ordre de 30000 $\mu\text{S/cm}$ (Rodier, 1998).

g) La dureté totale (TDS) :

La dureté totale moyenne des eaux rejetées par le (CMP) est de l'ordre de 54426 mg/l, avec comme valeurs extrêmes 29000 mg/l et 60000 mg/l.

Ces valeurs montrent que les eaux résiduaires du (CMP) sont de nature très dures (ASTM, 1947 ; Rodier, 1998).

h) La turbidité (Turbi) :

L'examen du tableau 3.2.3. montre que les valeurs de la turbidité, des eaux résiduaires du (CMP) varient entre 1 NTU et 32,2 NTU avec une valeur moyenne de l'ordre de 4,75 NTU.

Ces valeurs sont assez importantes et peuvent nuire elle aussi au bon développement de certaines espèces marines (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud 2001).

i) La demande Biochimique en oxygène (DBO_5) :

Les valeurs de la demande biochimique en oxygène sur cinq jours, des eaux rejetées par le complexe des matières plastiques, figurent dans le tableau 3.2.3.

Ces valeurs varient entre 0 mg/l et 21,1 mg/l avec une moyenne de 6,96 mg/l. Ces valeurs, selon la classification établie par Rodier (1998), montre que les eaux sont de natures douteuses. Les faibles valeurs (le zéro), enregistrées le plus souvent durant les mois les plus froids, sont probablement, liées à la forte utilisation de produits chimiques, inhibiteurs de toute activité biologique (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

j) Les nitrates (NO_3^-) :

Durant notre étude, les valeurs des nitrates varient entre, 0 mg/l la plus part du temps et spécialement durant les mois les plus froids, et 25 mg/l enregistrée au cours des mois caniculaires. La présence d'une telle quantité de nitrates, dans des eaux d'origine marine, est liée à la combustion des produits fossiles et à l'utilisation des hydrocarbures (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001). La valeur moyenne est de l'ordre de 2,65 mg/l. Cette dernière valeur peut être considérée comme normale (Rodier, 1998).

k) Les nitrites (NO_2^-) :

L'examen du tableau 3.2.3. nous renseigne sur les variations des nitrites dans les eaux résiduaires du (CMP). En effet, les valeurs des nitrites varient entre 0 mg/l en hiver, et 5 mg/l en été, avec une valeur moyenne de l'ordre de 0,412 mg/l.

Dans ce cas, on peut dire que la pollution est sensible et devient significative en été (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

l) Les hydrocarbures totaux (C_xH_y) :

Les teneurs en hydrocarbures, dans les eaux résiduaires du complexe des matières plastiques, figurent dans le tableau 3.2.3.

Ces valeurs varient entre zéro (inférieures à la limite de détection de la méthode utilisée) et 86 mg/l. Cette dernière valeur est bien supérieure aux limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006). Comme on peut remarquer l'inefficacité de la station d'épuration de ce complexe.

m) Le mercure total (Hg) :

Les observations sur les teneurs du mercure total dans les eaux rejetées par le complexe CMP, figurent dans le tableau 3.2.3.

Une information très importante doit être mentionnée, c'est l'utilisation du mercure comme catalyseur dans l'unité chlore soude, a constitué une nuisance depuis la mise en service de ce complexe. Depuis 2004, un changement du processus de production est opéré au niveau de ce complexe, et qui a complètement aboli l'utilisation du mercure. Ce procédé est devenu opérationnel en janvier 2006.

Donc les résultats obtenus, concernant les variations du mercure dans les eaux résiduaires du complexe (CMP) sont impressionnants. En effet, les eaux ne contiennent que des valeurs traces de l'ordre de 0,00117 mg/l avec un maximum qui atteint les 0,0086 mg/l. Cette dernière valeur est en conformité avec les directives du décret 06-141 (JORA, 2006).

n) Le fer total (Fe) :

Les teneurs du fer total, enregistrées dans les eaux résiduaires du complexe des matières plastiques, figurent dans le tableau 3.2.3.

Les valeurs maximales enregistrées sont de l'ordre de 1,455 mg/l. Ces valeurs restent bien en dessous des limites fixées par la réglementation en vigueur (JORA, 2006). La présence du fer est liée d'une part, à sa présence naturelle dans l'eau de mer (Rodier, 1998) et, d'autre part à la corrosion importante dans ce complexe.

o) Le cuivre total (Cu) :

L'examen du tableau 3.2.3. montre que les teneurs en cuivre total sont inférieures aux limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006). En effet, la valeur maximale de l'ordre de 0,187 mg/l est bien inférieure à la limite de 0,5 mg/l du précédent décret.

p) Le plomb total (Pb) :

Le tableau 3.2.3. donne les valeurs du plomb total dans les eaux résiduaires rejetées par le complexe des matières plastiques (CMP). On remarque que les teneurs du plomb varient entre 0 mg/l et 0,12 mg/l avec comme valeur moyenne 0,02 mg/l.

Bien que ces valeurs soient inférieures aux directives règlementaires en vigueur (JORA, 2006), elles constituent un risque potentiel pour certaines espèces marines (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001). La source du plomb reste la combustion des hydrocarbures (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

q) Les chlorures (Cl⁻) :

Les teneurs en chlorures, au niveau des eaux résiduaires du (CMP), peuvent atteindre 22007 mg/l. Ces valeurs très importantes sont de loin supérieures aux teneurs des eaux de mer en chlorure. Ces excès sont dus d'une part, aux traitements intensifs par les sels de chlore (Rodier, 1998), afin d'éviter le colmatage des installations par les organismes marins (algues et bivalves etc.) et, d'autre part, aux surplus de production de chlore dans ce complexe qui est rejeté directement dans le canal d'évacuation.

r) Les phosphates (PO₄⁻) :

Les teneurs en phosphates, des eaux rejetées par le (CMP), sont en moyenne de l'ordre de 0,3793 mg/l. Ces valeurs sont largement inférieures aux limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006).

s) Conclusion :

Selon les constatations précédentes, qui nous informe sur la qualité des eaux résiduaires rejetées par le complexe des matières plastiques CMP, on peut conclure que :

- Les eaux rejetées par ce complexe sont de natures très chaudes, basiques, bien oxygénées avec une très forte minéralisation et une turbidité importante.
- La DBO démontre une pollution chimique accentuée de ces eaux et des valeurs importantes en nitrates et en nitrites durant l'été.
- On retrouve des traces fréquentes d'hydrocarbures et un système d'épuration hors service.

- Les variations des métaux sont faibles. Comme on peut constater que le changement du processus de production, opéré au niveau de l'unité chlore soude, est très efficace. Il a éliminé le problème de présence de mercure dans ce complexe.
- Les valeurs des chlorures sont très élevées ce qui nous laisse penser à une pollution par le chlore.

Donc on peut dire que les eaux rejetées par le complexe des matières plastiques (CMP) présentent une pollution chimique accentuée.

3.2.1.4. Données récoltées au niveau du complexe Polymed (Poly) :



Figure 3.2.10. Image satellite du complexe polymed (Quickbird, 2003).

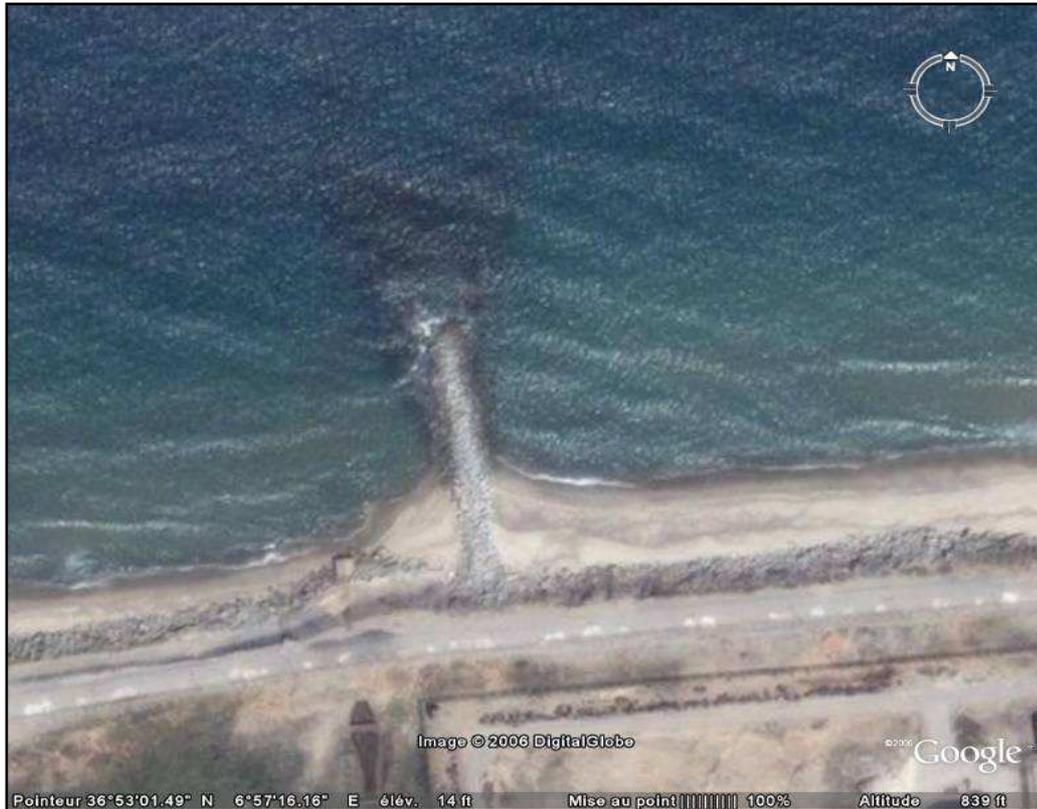


Figure 3.2.11. Image aérienne du canal de rejet du complexe Polymed (Poly).



Figure 3.2.12. Photo du rejet du polymed.

Tableau 3.2.4. Paramètres statistiques de la description des données récoltées au niveau des eaux résiduaires du (Poly)

Variable	n	\bar{x}	S	X _{min}	X _{max}
T ° C	24	23,100	3,590	16,100	28,300
S ‰	24	37,200	0,710	34,200	37,800
PH	24	7,700	0,420	6,900	8,200
O ₂ %	24	66,400	5,830	53,200	83,400
O ₂ mg/l	24	5,800	0,750	4,500	8,300
rH mV	24	-42,300	24,600	-70,000	3,000
Condi µS/cm	24	56546,000	710,000	55000,000	58700,000
TDS mg/l	24	54663,000	2526,000	49000,000	58500,000
Turbi NTU	24	2,000	1,100	0,400	4,900
DBO ₅ mg/l	24	7,800	8,690	0,000	24,000
NO ₃ ⁻ mg/l	24	2,800	6,820	0,000	25,000
NO ₂ ⁻ mg/l	24	0,400	1,260	0,000	5,000
C _x H _y mg/l	24	7,400	23,250	0,000	100,000
Hg mg/l	15	0,000	0,020	0,000	0,100
Fe mg/l	24	0,400	0,390	0,000	1,500
Cu mg/l	24	0,000	0,010	0,000	0,000
Pb mg/l	24	0,000	0,030	0,000	0,100
Cl ⁻ mg/l	24	21977,000	3360,000	17250,000	25557,000
PO ₄ ⁻ mg/l	24	0,400	0,230	0,100	0,800

a) La Température (T°) :

Les informations concernant les variations de la température, des eaux résiduaires rejetées par le (Poly), figurent dans le tableau 3.2.4.

Les valeurs de la température varient entre 16,1 °C durant l'arrêt et la maintenance de l'usine, et 28,3 °C en pleine activité. La valeur moyenne est de l'ordre de 23,13 °C. On remarque aussi que, les valeurs de la température avoisinent toujours, durant notre étude, la valeur moyenne. Donc on remarque une certaine constance des températures des eaux rejetées par ce complexe.

Ces valeurs sont en conformité avec les textes Algériens (JORA, 2006), mais une remarque demeure, c'est que malgré la mise en marche récente de ce complexe, il procure une certaine nuisance thermique au niveau du milieu marin (Rodier, 1998).

b) La Salinité (S‰) :

La procédure de production au niveau du complexe (Poly), nécessite l'utilisation de beaucoup d'eau de mer pour le refroidissement des chaudières et du réacteur.

On peut remarquer en observant le tableau 3.2.4. que la salinité moyenne, des eaux résiduaires de ce complexe, est de l'ordre de 37,19. Cette dernière valeur correspond à une salinité

supérieure à la salinité d'une eau de mer normale au niveau de la méditerranée. On peut aussi constater que les valeurs de la salinité sont relativement constantes.

c) Le pH :

L'examen du tableau 3.2.4. montre que les valeurs du pH, des eaux rejetées par le complexe du polyéthylène à haute densité (Poly), varient entre un pH relativement neutre, de l'ordre de 6,94, et un pH basique de l'ordre de 8,18.

Ces valeurs peuvent correspondre au pH naturel de l'eau de mer. Comme on peut constater qu'elles sont en concordance avec les directives du décret 06-141 (JORA, 2006). Il faut aussi souligner, la constance relative des valeurs du pH des eaux résiduelles de ce complexe au cours de notre étude.

d) L'oxygène dissous (O₂) et le taux de saturation en oxygène (O₂%) :

Les valeurs de l'oxygène dissous ainsi que le taux de saturation en oxygène figurent dans le tableau 3.2.4.

Les teneurs en oxygène dissous varient, entre 4,47 mg/l soit un taux de saturation de 53,2%, et 8,32 mg/l soit un taux de saturation de l'ordre 83,4%. La valeur moyenne est de l'ordre de 5,84 mg/l soit un taux de saturation de 66,35%.

Ces valeurs demeurent acceptables, par rapport à la température des eaux rejetées (Kruk, 1998 ; Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001). La bonne oxygénation de l'eau est due au fait de la pression importante par laquelle l'eau est rejetée, ce qui crée un fort remous favorisant l'oxygénation de l'eau par action mécanique.

e) Le potentiel redox (rH) :

L'examen du tableau 3.2.4. nous informe sur les variations du potentiel réducteur des eaux rejetées par le complexe (Poly).

En effet, le potentiel redox varie entre -70 mV et 3 mV, donc ce milieu passe lui aussi par l'état oxydant et réducteur (Rodier, 1998).

f) La conductivité (condi) :

Les valeurs de la conductivité des eaux rejetées par le complexe du polyéthylène à haute densité (Poly), varient entre 55000 µS/cm et 58700 µS/cm.

Ces valeurs sont excessivement élevées, et dépassent de loin la conductivité des eaux marine qui est de l'ordre de 30000 µS/cm, ce qui est expliqué par une minéralisation très forte

(Rodier, 1998). Ceci reflète un traitement chimique intense, des eaux, contre les organismes marins qui peuvent coloniser ou colmater les installations.

g) La dureté totale (TDS) :

La dureté totale moyenne des eaux rejetées par le (Poly), est de l'ordre de 54663 mg/l avec comme valeurs extrêmes 49000 mg/l et 58700 mg/l.

Ces valeurs montrent que les eaux résiduaires du (Poly) sont de nature hors classe (ASTM, 1947 ; Rodier, 1998).

h) La turbidité (Turbi) :

Les observations sur la turbidité des eaux résiduaires du polymed sont mentionnées dans le tableau 3.2.4.

Les valeurs de la turbidité varient entre 0,4 NT et 4,9 NTU avec une valeur moyenne de l'ordre de 2,02 NTU. Ces valeurs sont acceptables (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud 2001).

i) La demande Biochimique en oxygène (DBO₅) :

Le tableau 3.2.4. nous informe sur les valeurs de la demande biochimique en oxygène sur cinq jours, dans les eaux rejetées par le complexe (Poly).

Les valeurs de la DBO varient entre 0 mg/l et 24,0 mg/l. Cette dernière valeur, est en conformité avec les normes dictées par le décret 06-141 (JORA, 2006), mais cela n'exclut pas la présence de pollution chimique. En effet, les valeurs de la DBO sont le plus souvent, au cours de notre étude, très faibles ou égales à zéro, spécialement durant les mois les plus froids. Ces valeurs très faibles sont le résultat d'un traitement chimique intensif, qui inhibe toute activité biologique (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

j) Les nitrates (NO₃⁻) :

Au cours des 24 mois d'étude, les valeurs des nitrates varient entre 0 mg/l spécialement durant les mois les plus froids, et 25 mg/l enregistrée au cours des mois les plus chauds.

Là aussi, la présence de cette quantité de nitrates, est liée à l'utilisation de combustibles fossiles et à l'utilisation des hydrocarbures (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

k) Les nitrites (NO₂⁻) :

L'examen du tableau 3.2.4. nous informe sur les valeurs des nitrites dans les eaux résiduaires du Polymed (poly).

En effet, les valeurs des nitrites varient entre 0 mg/l en hiver, et 5 mg/l en été. Dans ce cas aussi, on peut dire que la pollution est sensible et devient significative en été (Rodier, 1998 et Bliefert et Perraud, 2001).

l) Les hydrocarbures totaux (C_xH_y) :

Les valeurs des hydrocarbures, dans les eaux résiduaires du complexe polymed, figurent dans le tableau 3.2.4.

La plus part du temps les teneurs en hydrocarbures sont nulles, mais ces valeurs peuvent atteindre 100 mg/l, une valeur bien supérieure aux limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006). Cette valeur extrême peut être liée à une fuite d'hydrocarbures ou à un accident interne.

m) Le mercure total (Hg) :

La présence du mercure, dans les eaux résiduaires du complexe du polyéthylène à haute densité (Poly), est rare.

En effet, durant notre étude, on ne rencontre le mercure qu'une fois, durant l'hiver 2005, avec une valeur de 0,0643 mg/l. Cette valeur est supérieure à la limite fixée par le décret 06-141 (JORA, 2006). La présence du mercure peut être liée à une contamination par les hydrocarbures (Rodier, 1998).

n) Le fer total (Fe) :

Les teneurs du fer total, enregistrées dans les eaux résiduaires du complexe (Poly) figurent dans le tableau 3.2.4.

La valeur maximale enregistrée est de l'ordre de 1,451 mg/l. Cette valeur reste bien en dessous des limites fixées par la réglementation Algérienne (JORA, 2006). La présence du fer est liée à sa présence naturelle dans l'eau de mer, ainsi qu'à la corrosion des installations (Rodier, 1998).

o) Le cuivre total (Cu) :

L'examen du tableau 3.2.4., montre que les teneurs en cuivre total sont à l'état de traces. Ces valeurs sont inférieures aux limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006).

p) Le plomb total (Pb) :

Les valeurs du plomb, au niveau des eaux rejetées par le complexe (Poly), sont à l'état de traces. Ces valeurs sont en respect des directives du décret 06-141 (JORA, 2006).

Malgré le faible taux de plomb dans ces rejets, ces valeurs constituent un risque potentiel pour certaines espèces marines (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001). La source du plomb reste la combustion des hydrocarbures.

q) Les chlorures (Cl⁻) :

Les teneurs en chlorures, au niveau des eaux résiduaires du polymed, varient entre 17250 mg/l durant l'arrêt de l'usine, et 25557 mg/l. Cette dernière valeur, très importante, témoigne de l'intensité du traitement chimique par les sels de chlore (Rodier, 1998).

r) Les phosphates (PO₄⁻) :

Les teneurs en phosphates, dans les eaux rejetées par le polymed, varient entre 0,14 mg/l et 0,8036 mg/l. Ces valeurs sont en accord avec les limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006).

s) Conclusion :

Selon ce qui a été dit au cours des paragraphes précédents, on peut constater que les eaux rejetées par le complexe de polyéthylène à haute densité (Poly) se caractérise par :

- Les eaux rejetées par ce complexe sont chauffées, de pH neutre à basique, bien oxygénée avec une forte minéralisation.
- La DBO, la conductivité et les chlorures montrent une pollution chimique accentuée de ces eaux et des valeurs importantes en nitrates et nitrites durant l'été.
- On retrouve des traces d'hydrocarbures malgré la présence d'un système d'épuration opérationnel.
- Les variations des métaux sont faibles.

Donc on peut dire que les eaux rejetées par ce complexe présentent une pollution chimique accentuée, elles sont de nature douteuse.

3.2.1.5. Données récoltées au niveau du complexe du gaz naturel liquéfié (GNL) :



Figure 3.2.13. Image satellite du complexe du gaz naturel liquéfié (GNL) (Quickbird, 2003)



Figure 3.2.14. Photo aérienne du canal de rejet du GNL.



Figure 3.2.15. Photo du rejet du complexe (GNL)

Tableau 3.2.5. Paramètres statistiques de la description des données récoltées au niveau des eaux résiduaires du (GNL)

Variable	n	\bar{x}	s	x_{\min}	x_{\max}
T ° C	24	26,781	3,366	21,900	33,400
S ‰	24	35,800	7,660	0,000	38,900
PH	24	7,593	0,530	6,880	8,700
O ₂ %	24	66,090	9,590	34,700	87,400
O ₂ mg/l	24	5,296	0,953	3,000	7,900
rH mV	24	-33,880	31,930	-105,000	7,000
Condi µS/cm	24	54680,000	11768,000	229,000	63900,000
TDS mg/l	24	54431,000	11728,000	102,000	60100,000
Turbi NTU	24	2,033	1,076	0,200	5,100
DBO ₅ mg/l	24	8,570	8,980	0,000	28,200
NO ₃ ⁻ mg/l	24	0,588	2,425	0,000	10,000
NO ₂ ⁻ mg/l	24	0,000	0,000	0,000	0,000
C _x H _y mg/l	24	0,300	0,979	0,000	4,000
Hg mg/l	15	0,001	0,003	0,000	0,000
Fe mg/l	24	0,487	0,507	0,000	1,800
Cu mg/l	24	0,011	0,021	0,000	0,100
Pb mg/l	24	0,025	0,042	0,000	0,200
Cl ⁻ mg/l	24	24183,000	2009,000	20374,000	26125,000
PO ₄ ⁻ mg/l	24	0,283	0,247	0,040	0,800

a) La Température (T°) :

L'examen du tableau 3.2.5. nous informe sur la température des eaux résiduaires rejetées par le complexe (GNL).

Les valeurs de la température varient entre 21,9 °C pendant l'arrêt de l'usine, et 33,4 °C en activité. Cette dernière valeur est largement au dessus des limites tolérées par le décret 06-141 (JORA, 2006). On notera ici, une certaine constance des températures, des eaux rejetées, au cours de notre étude. La valeur moyenne est de l'ordre de 26,781 °C, on peut aussi remarquer que cette valeur moyenne est assez élevée par rapport aux autres complexes étudiés.

Une information importante s'impose, c'est que ce complexe ne fonctionne qu'à 50% de sa capacité, puisque en janvier 2004, quatre centrales parmi six ont brutalement explosé, causant d'importants dégâts humains et matériels.

Donc malgré ses capacités amoindries, ce complexe génère une nuisance thermique importante.

b) La Salinité (S‰) :

La liquéfaction du gaz naturel est un procédé qui utilise, un puissant compresseur pour obtenir une pression importante, qui peut transformer le gaz naturel en liquide. Ce procédé, nécessite d'importante quantité d'eau et d'énergie pour se faire. Les sources en eau sont, l'eau de mer et le réseau AEP. L'eau est déminéralisée par un traitement chimique intense, puis elle est utilisée, soit pour le compresseur soit pour les chaudières.

Donc l'excès de sel est rejeté directement dans les eaux résiduaires, ce qui confère à ces eaux une salinité importante. En effet, l'examen du tableau 3.2.5. montre que la salinité des eaux rejetées par le (GNL) peut atteindre 38,9.

Les valeurs de la salinité sont relativement constantes, au cours de notre étude, sauf durant l'arrêt de l'usine où elle avoisine la valeur de 35,5.

c) Le pH :

L'examen du tableau 3.2.5. montre que les valeurs du pH, des eaux rejetées par le complexe de liquéfaction du gaz naturel (GNL), varient entre un pH relativement neutre, de l'ordre de 6,88, et un pH basique de l'ordre de 8,73.

Ces valeurs sont en conformité avec les directives du décret 06-141 (JORA, 2006). Il faut aussi souligner, la constance relative des valeurs du pH des eaux résiduaires de ce complexe au cours de notre étude.

d) L'oxygène dissous (O₂) et le taux de saturation en oxygène (O₂%) :

L'examen du tableau 3.2.5. renseigne sur les teneurs en oxygène dissous et les taux de saturation en oxygène, dans les eaux résiduaires du (GNL)

Les teneurs en oxygène dissous varient entre 3 mg/l avec un taux de saturation de 34,7%, ces faibles teneurs sont enregistrées avec les températures les plus élevées, et 7,86 mg/l avec un taux de saturation de l'ordre de 87,4%. La valeur moyenne est de l'ordre de 5,29 mg/l soit un taux de saturation de 66,09%.

Ces valeurs demeurent acceptables, par rapport à la température des eaux rejetées (Kruk, 1998 ; Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001). La bonne oxygénation de l'eau est due au fait du remous qui favorise l'oxygénation de l'eau.

e) Le potentiel redox (rH) :

L'examen du tableau 3.2.5. montre que, le potentiel réducteur, des eaux rejetées par le (GNL) vari entre -105 mV et 7 mV, donc ce milieu passe par les deux états, oxydant et réducteur (Rodier, 1998).

f) La conductivité (condi) :

Les valeurs de la conductivité, des eaux rejetées par le complexe du gaz naturel liquéfié peuvent atteindre 63900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une valeur moyenne de l'ordre 54680 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces valeurs sont le signe d'une très forte minéralisation, qui est la conséquence du traitement chimique intense (Rodier, 1998)

g) La dureté totale (TDS) :

La dureté totale moyenne des eaux rejetées par le complexe (GNL), est de l'ordre de 54431 mg/l et peut atteindre comme valeurs extrêmes 60100 mg/l.

Ces valeurs montrent que les eaux résiduaires du (GNL) sont de nature hors classe (ASTM, 1947 ; Rodier, 1998).

h) La turbidité (Turbi) :

Les valeurs de la turbidité, des eaux rejetées par le complexe (GNL) sont mentionnées dans le tableau 3.2.5.

Les valeurs de la turbidité varient entre 0,2 NTU et 5,1 NTU avec une valeur moyenne de l'ordre de 2,033 NTU. Ces valeurs sont acceptables, ou on peut dire qu'elles sont normales (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud 2001).

i) La demande Biochimique en oxygène (DBO_5) :

Le tableau 3.2.5. nous informe que, les valeurs de la demande biochimique en oxygène sur cinq jours, dans les eaux rejetées par le complexe (GNL), sont le plus souvent très faibles et ne dépassent pas 28,2 mg/l.

Ces valeurs, sont en conformité avec les normes édictées par le décret 06-141 (JORA, 2006), mais cela n'exclut pas la présence de pollution chimique intense. En effet, les valeurs de la DBO sont, au cours de notre étude, très faibles ou égales à zéro, le plus souvent durant les mois les plus froids. Ces valeurs très faibles sont le résultat d'un traitement chimique intensif, inhibiteur de toute activité biologique (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

j) Les nitrates (NO_3^-) :

Les valeurs des nitrates durant notre étude, ne dépassent pas 10 mg/l. Ces valeurs peuvent être considérées comme acceptables (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

k) Les nitrites (NO_2^-) :

L'examen du tableau 3.2.5. renseigne sur les variations des valeurs des nitrites dans les eaux résiduaires du (GNL).

En effet, durant notre étude les nitrites sont absents dans les eaux résiduaires du (GNL). Cette absence est liée à la bonne oxygénation de l'eau la plus part du temps, qui favorise l'autoépuration.

l) Les hydrocarbures totaux (C_xH_y) :

Dans ce complexe, la matière première utilisée, comme combustible, c'est le gaz naturel. Donc de ce fait, le dosage des hydrocarbures totaux, dans les eaux résiduaires du complexe (GNL) donne un résultat nul. Donc les hydrocarbures sont absents de ces rejets. Ces valeurs sont en conformité avec le décret 06-141 (JORA, 2006).

m) Le mercure total (Hg) :

Le mercure est absent dans les eaux rejetées par le (GNL) sauf dans deux prélèvements où la teneur du mercure peut atteindre 0,012 mg/l.

Cette valeur est supérieure à la limite fixée par le décret 06-141 (JORA, 2006). La présence du mercure est douteuse (Rodier, 1998).

n) Le fer total (Fe) :

Les teneurs du fer total, enregistrées dans les eaux résiduaires du complexe (GNL) figurent dans le tableau 3.2.5.

La valeur maximale atteint 1,82 mg/l. Cette valeur reste bien en dessous des limites fixées par la réglementation Algérienne (JORA, 2006). La présence du fer est liée à ça présence naturelle dans l'eau de mer et à la corrosion des installations (Rodier, 1998).

o) Le cuivre total (Cu) :

L'examen du tableau 3.2.5. montre que les teneurs en cuivre total sont à l'état de traces. Ces valeurs sont inférieures aux limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006).

p) Le plomb total (Pb) :

Les valeurs du plomb, au niveau des eaux rejetées par le complexe (GNL), figurant dans le tableau 3.2.5. peuvent atteindre 0,155 mg/l.

Ces valeurs sont en conformité avec les directives du décret 06-141 (JORA, 2006). Malgré le faible taux du plomb dans ces rejets, ces valeurs constituent un risque potentiel pour certaines espèces marines (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

q) Les chlorures (Cl⁻) :

Les teneurs en chlorures, au niveau des eaux résiduaires du complexe du gaz naturel liquéfié, varient entre 20374 mg/l et 26125 mg/l. Ces valeurs, très importantes, témoignent de l'intensité du traitement chimique par les sels de chlore (Rodier, 1998).

r) Les phosphates (PO₄⁻) :

Les teneurs en phosphates, dans les eaux rejetées par le (GNL), varient entre 0,04 mg/l et 0,803 mg/l. Ces valeurs sont en accord avec les limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006).

s) Conclusion :

D'après les constatations effectuées sur les rejets liquides du complexe du gaz naturel liquéfié (GNL), on peut conclure que :

- Les eaux rejetées par ce complexe sont très chauffées, de pH neutre à basique, bien oxygénée avec une très forte minéralisation.
- La DBO, la conductivité, le TDS et les chlorures montrent une pollution chimique accentuée de ces eaux.
- Les hydrocarbures sont absents dans ces rejets.
- Les variations des métaux sont faibles, avec des teneurs douteuses en mercures.

Donc on peut dire que les eaux rejetées par ce complexe présentent une pollution chimique accentuée, elles sont de nature douteuse.

3.2.1.6. Données récoltées au niveau de la centrale thermique électrique (CTE) :



Figure 3.2.16. Image satellite de la centrale thermique électrique (CTE) (Quickbird, 2003)



Figure 3.2.17. Photo aérienne du rejet de la CTE.

Tableau 3.2.6. Paramètres statistiques de la description des données récoltées au niveau des eaux résiduaires de la (CTE)

Variable	n	\bar{x}	S	X _{min}	X _{max}
T ° C	24	24,676	4,210	18,500	33,500
S ‰	24	36,848	0,446	35,700	37,500
PH	24	7,778	0,844	6,900	11,000
O ₂ %	24	66,510	11,840	28,000	90,300
O ₂ mg/l	24	5,495	1,147	1,960	7,000
rH mV	24	-38,220	27,520	-67,900	5,000
Condi µS/cm	24	51872,000	12035,000	11450,000	59500,000
TDS mg/l	24	49885,000	11437,000	13000,000	60000,000
Turbi NTU	24	1,517	0,719	0,460	3,700
DBO ₅ mg/l	24	10,940	10,760	0,000	40,000
NO ₃ ⁻ mg/l	24	2,810	6,820	0,000	25,000
NO ₂ ⁻ mg/l	24	0,438	1,263	0,000	5,000
C _x H _y mg/l	24	1,158	2,522	0,000	10,000
Hg mg/l	15	0,001	0,003	0,000	0,000
Fe mg/l	24	0,477	0,465	0,000	1,700
Cu mg/l	24	0,032	0,081	0,000	0,400
Pb mg/l	24	0,017	0,034	0,000	0,100
Cl ⁻ mg/l	24	24000,000	3772,000	19167,000	30030,000
PO ₄ ⁻ mg/l	24	0,323	0,227	0,110	0,800

a) La Température (T°) :

Les observations effectuées sur la température des eaux rejetées par la centrale thermique électrique sont décrites dans le tableau 3.2.6.

On remarque, que la température atteint 33,5 °C. Ces valeurs témoignent de l'intensité des nuisances thermiques générées par la centrale thermique électrique de Skikda.

En effet, les eaux de mer sont pompées, puis chauffées au niveau d'une chaudière haute de 35 m, puis elles sont utilisées pour faire tourner une turbine qui produit de l'énergie électrique.

Les valeurs de la température sont toujours élevées sauf en période d'arrêt de la centrale pour maintenance.

b) La Salinité (S‰) :

La procédure de production d'électricité au niveau du complexe (CTE), nécessite l'utilisation d'importantes quantités d'eau de mer pour le fonctionnement de la turbine à vapeur, après un chauffage dans les chaudières.

Ces eaux subissent une attaque à la soude pure, pour être déminéralisé et neutralisé par la suite par un acide fort (HCL). L'excès de saumure est rejeté dans le canal puis directement dans l'oued Saf-saf.

On peut remarquer, en observant le tableau 3.2.6. que la salinité moyenne, des eaux résiduaires de cette centrale à vapeur, est de l'ordre de 36,848.

Cette dernière valeur correspond à une salinité d'une eau de mer normale au niveau de la méditerranée. On peut aussi constater que les valeurs de la salinité sont relativement constantes.

c) Le pH :

L'examen du tableau 3.2.6. montre que les valeurs du pH, des eaux rejetées par la (CTE), varient entre un pH relativement neutre, de l'ordre de 6,9, et un pH très basique de l'ordre de 10,99. Cette dernière valeur dans la nature est très rare (Rodier, 1998), elle témoigne d'un traitement chimique intense des eaux, qui sont rejetées sans être neutralisées. Ces valeurs sont largement supérieures aux normes fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006). Il faut aussi souligner, la constance relative des valeurs du pH des eaux résiduaires de ce complexe au cours de notre étude.

d) L'oxygène dissous (O₂) et le taux de saturation en oxygène (O₂%):

L'examen du tableau 3.2.6. montre que les teneurs en oxygène dissous varient entre 1,96 mg/l avec un taux de saturation de 28%, et 7 mg/l avec un taux de saturation de l'ordre 90,3%. La valeur moyenne est de l'ordre de 5,495 mg/l soit un taux de saturation de 66,51%. La valeur minimale est douteuse, parfois même proche de l'anoxie, mais les valeurs demeurent acceptables la plus part du temps, par rapport aux températures des eaux rejetées (Kruk, 1998 ; Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

La bonne oxygénation de l'eau est due au fait de la pression importante par laquelle l'eau est rejetée, ce qui crée un fort remous favorisant l'oxygénation de l'eau.

e) Le potentiel redox (rH) :

L'examen du tableau 3.2.6. nous informe sur les variations du potentiel réducteur des eaux rejetées par la centrale thermique électrique de Skikda (CTE). En effet, le potentiel redox varie entre -67 mV et 5 mV, donc ce milieu passe par les deux états, oxydant et réducteur (Rodier, 1998).

f) La conductivité (condi) :

Les valeurs de la conductivité, des eaux résiduaires rejetées par la (CTE), varient entre 11450 µS/cm durant l'arrêt du groupe, et 59500 µS/cm.

Ces valeurs sont excessivement élevées et le signe d'une très forte minéralisation. Elles dépassent de loin la conductivité des eaux marine qui sont de l'ordre de 30000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

L'explication d'une telle forte minéralisation, demeure dans le traitement chimique intensif des eaux, contre les organismes marins qui peuvent coloniser et colmater les installations (Rodier, 1998).

g) La dureté totale (TDS) :

Les valeurs des solides totaux dissous ou la dureté totale, figurent dans le tableau 3.2.6. La dureté totale moyenne des eaux rejetées par le (CTE), est de l'ordre de 49885 mg/l avec comme valeurs extrêmes 13000 mg/l durant l'arrêt de la centrale, et 60000 mg/l en pleine activité de production.

Ces valeurs montrent que les eaux résiduaires de la (CTE) sont d'une dureté excessive et de nature hors classe (ASTM, 1947 ; Rodier, 1998).

h) La turbidité (Turbi) :

L'examen du tableau 3.2.6. nous renseigne sur la turbidité des eaux rejetées par la centrale thermique. En effet, la turbidité moyenne est égale à 1,517 NTU et ne dépasse pas 3,7 NTU. Ces valeurs peuvent être considérées comme acceptables (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud 2001).

i) La demande Biochimique en oxygène (DBO₅) :

Les valeurs de la DBO, des eaux rejetées par la centrale thermique électrique de Skikda, sont la plus part du temps nulles. La valeur maximale peut atteindre 40 mg/l.

Bien que ces valeurs soient en conformité avec les directives du décret 06-141 (JORA, 2006), cela n'exclut pas la présence de pollution chimique.

En effet, les faibles valeurs de la DBO peuvent être le résultat d'un intensif traitement chimique, inhibiteur de toute activité biologique (Rodier, 1998 et Bliefert et Perraud, 2001).

j) Les nitrates (NO₃⁻) :

Durant notre étude, les valeurs des nitrates, au niveau des eaux rejetées par la (CTE), varient entre 0 mg/l spécialement durant les mois les plus froids, et 25 mg/l enregistrée au cours des mois les plus chauds. La valeur moyenne est de l'ordre de 2,81 mg/l. Ces valeurs peuvent être considérées comme acceptables (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

k) Les nitrites (NO_2^-) :

L'examen du tableau 3.2.6. nous renseigne sur les variations des nitrites dans les eaux résiduaires de la (CTE). En effet, les valeurs des nitrites varient entre 0 mg/l en hiver, et 5 mg/l en été, avec une valeur moyenne de l'ordre de 0,438 mg/l.

Dans ce cas, on peut dire que la pollution est sensible et devient significative en été (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

l) Les hydrocarbures totaux (C_xH_y) :

Les valeurs des hydrocarbures, dans les eaux résiduaires du complexe de production d'électricité (CTE), figurent dans le tableau 3.2.6.

La plus part du temps les teneurs en hydrocarbures sont nulles, et sont en conformité avec les directives fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006).

m) Le mercure total (Hg) :

Les teneurs du mercure, dans les eaux résiduaires de la centrale thermique (CTE), figurent dans le tableau 3.2.6.

Les valeurs du mercure varient entre des valeurs traces et une valeur de 0,0129 mg/l. Cette valeur est supérieure à la limite fixée par le décret 06-141 (JORA, 2006). La présence du mercure peut être liée à l'utilisation de l'eau de mer comme eau de refroidissement (Rodier, 1998).

n) Le fer total (Fe) :

Les teneurs du fer total, enregistrées dans les eaux résiduaires de la centrale électrique (CTE) figurent dans le tableau 3.2.6.

La valeur maximale enregistrée est de l'ordre de 1,698 mg/l. Cette valeur reste bien en dessous des limites fixées par la réglementation Algérienne (JORA, 2006). La présence du fer est liée à sa présence naturelle dans l'eau de mer, ainsi qu'à la corrosion (Rodier, 1998).

o) Le cuivre total (Cu) :

L'examen du tableau 3.2.6. montre que les teneurs en cuivre total sont à l'état de traces. Ces valeurs sont inférieures aux limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006).

p) Le plomb total (Pb) :

Les valeurs du plomb, au niveau des eaux rejetées par la (CTE), figurent dans le tableau 3.2.6. Elles varient entre zéro et 0,119 mg/l. Ces valeurs sont en concordance avec les directives du décret 06-141 (JORA, 2006).

Malgré le faible taux du plomb dans ces rejets, ces valeurs constituent un risque potentiel pour le bon développement de certaines espèces marines (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

q) Les chlorures (Cl⁻) :

Les valeurs des chlorures, au niveau des eaux résiduaires rejetées par la centrale thermique électrique, varient entre 19167 mg/l durant la période de maintenance et de révision de la centrale thermique, et 30030 mg/l. Ces valeurs sont excessivement élevées, elles témoignent du traitement chimique intensif par les sels de chlore (Rodier, 1998).

r) Les phosphates (PO₄⁻) :

Les teneurs des phosphates, dans les eaux rejetées par la (CTE), varient entre 0,11 mg/l et 0,7695 mg/l. Ces valeurs sont en accord avec les limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006). Elles peuvent être considérées comme normales.

s) Conclusion :

Selon les précédentes informations, on peut dire que les eaux résiduaires rejetées par la centrale thermique électrique (CTE) se caractérise par :

- Des eaux rejetées très chauffées, de pH basique parfois douteux, présentant une bonne oxygénation avec une très forte minéralisation.
- La DBO, la conductivité, le TDS et les chlorures montrent une pollution chimique accentuée de ces eaux et des valeurs importantes en nitrates et nitrites surtout durant l'été.
- Les variations des métaux sont faibles, sauf le plomb qui peut présenter un risque potentiel pour le bon développement de certains organismes marins.

Donc on peut dire que les eaux rejetées par ce complexe présentent une pollution chimique accentuée, elles sont de nature douteuse.

3.2.1.7. Données récoltées au niveau du point témoin d'Oued Saf-saf en amont (Saf am) :



Figure 3.2.18. Image satellite du point témoin au niveau de l'oued saf-saf en amont de son passage par la zone industrielle de Skikda.
(Quickbird, 2003)



Figure 3.2.19. Photo du point témoin au niveau d'oued Saf-saf an amont de son passage par la zone industrielle de Skikda.



Figure 3.2.20. Photo d'oued Saf-saf longeant la zone industrielle de Skikda.

Tableau 3.2.7. Paramètres statistiques de la description des données récoltées au niveau des eaux résiduaires du point témoin au niveau de l'oued saf-saf en amont (Saf am).

Variable	n	\bar{x}	s	X _{min}	X _{max}
T ° C	24	18,490	4,782	11,700	26,500
S ‰	24	0,690	0,535	0,200	3,000
PH	24	7,460	0,368	6,850	8,100
O ₂ %	24	46,610	13,990	18,900	78,000
O ₂ mg/l	24	4,630	1,637	1,660	8,100
rH mV	24	-43,600	101,600	-511,000	10,000
Condi µS/cm	24	1493,900	355,600	931,000	2300,000
TDS mg/l	24	1471,100	324,300	926,000	2300,000
Turbi NTU	24	59,020	48,560	8,100	200,000
DBO ₅ mg/l	24	24,170	14,840	0,000	45,100
NO ₃ ⁻ mg/l	24	23,680	27,920	0,000	100,000
NO ₂ ⁻ mg/l	24	2,620	2,977	0,000	10,000
C _x H _y mg/l	24	12,500	49,900	0,000	224,000
Hg mg/l	15	0,090	0,308	0,000	1,200
Fe mg/l	24	2,430	4,616	0,000	20,520
Cu mg/l	24	0,010	0,009	0,000	0,030
Pb mg/l	24	0,020	0,053	0,000	0,210
Cl ⁻ mg/l	24	637,000	322,000	231,000	1133,000
PO ₄ ⁻ mg/l	24	3,200	2,002	0,020	5,650

a) La Température (T°) :

L'examen du tableau 3.2.7. renseigne sur la température des eaux d'oued Saf-saf. Les valeurs enregistrées de la température varient entre 11,7 °C en hiver, et 26,5 °C en été. La valeur moyenne est de l'ordre de 18,485 °C.

On constate que les valeurs de la température sont normales. Elles varient selon les saisons (fraîches en hiver et chaudes en été). On peut aussi constater que les eaux d'oued saf-saf, en amont avant son passage par la zone industrielle de Skikda ne sont pas sous l'influence d'une quelconque nuisance thermique.

b) La Salinité (S‰) :

L'examen du tableau 3.2.7. nous informe sur la salinité des eaux charriées par Oued saf-saf. Ces valeurs varient entre 0,2 et 3,0, cette dernière valeur est enregistrée en hiver, avec les grandes crues et les importantes quantités de matière minérale charriées.

La valeur moyenne est de l'ordre de 0,692. Ici, les valeurs de la salinité montrent qu'on est en présence d'une rivière normale exempte de toutes infiltrations d'eaux salées.

c) Le pH :

Les valeurs du pH, des eaux d'Oued Saf-saf sont souvent neutres avec une valeur moyenne de 7,46. Les légères fluctuations du pH, sont liées aux variations de la température ainsi qu'à la présence de matières organiques en décomposition. Dans ces conditions le pH devient légèrement basique et atteint des valeurs de l'ordre de 8,10.

d) L'oxygène dissous (O₂) et le taux de saturation en oxygène (O₂%):

Les valeurs de l'oxygène dissous ainsi que le taux de saturation en oxygène figurent dans le tableau 3.2.7. Les teneurs en oxygène dissous varient entre 1,66 mg/l soit un taux de saturation de 18,90% et 8,10 mg/l soit un taux de saturation de 78,00%.

Les valeurs minimales sont très faibles et sont proche de l'anoxie du milieu. Elles sont enregistrées en été, et elles ne favorisent pas le bon développement des organismes aquatiques (Kruk, 1998 ; Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001). Les valeurs maximales sont enregistrées au cours des mois les plus froids (en hiver), avec les grandes crues qui favorisent la bonne oxygénation de l'eau et assurent un brassage important de l'eau.

e) Le potentiel redox (rH) :

Les valeurs du potentiel oxydo-réducteur (rH), des eaux charriées par l'oued saf-saf figurent dans le tableau 3.2.7. Elles varient entre -511,0 mV et 10 mV, et selon la classification de Rodier (1998), ce milieu passe par les deux états, oxydant et réducteur, en fonction de l'influence de la température, le pH et l'oxygénation du milieu.

f) La conductivité (condi) :

Les valeurs de la conductivité, des eaux d'Oued Saf-saf, varient entre 931,00 µS/cm soit une minéralisation élevée, et 2300 µS/cm soit une très forte minéralisation.

Ces valeurs sont expliquées par la présence de particules minérales en suspensions, charriées par ce cours d'eau, qui tendent à augmenter la conductivité.

g) La dureté totale (TDS) :

La dureté totale moyenne des eaux d'Oued Saf-saf, est de l'ordre de 1471,10 mg/l avec comme valeurs extrêmes 926,0 mg/l et 2300,00 mg/l. Ces valeurs montrent que ces eaux sont de nature dure (ASTM, 1947 ; Rodier, 1998).

h) La turbidité (Turbi) :

L'examen du tableau 3.2.7. montre que les valeurs de la turbidité, des eaux résiduaires d'Oued Saf-saf varient entre 8,1 NTU en période de faible pluviométrie et calme, et 200 NTU en période des grandes crues et du lessivage des sols et des terrains traversés. La valeur moyenne est de l'ordre de 59,2 NTU.

Ces valeurs sont assez importantes, elles montrent l'importance d'oued Saf-saf dans l'approvisionnement de la baie de Skikda en sels nutritifs continentaux.

i) La demande Biochimique en oxygène (DBO₅) :

Les valeurs de la demande biochimique en oxygène sur cinq jours, des eaux charriées par l'Oued saf-saf, figurent dans le tableau 3.2.7. Ces valeurs varient entre 0 mg/l et 45,10 mg/l avec une moyenne de 24,17 mg/l. Elles montrent, selon la classification établie par Rodier (1998), que les eaux sont de natures normales dans cette rivière avec une activité microbienne active.

En effet, les faibles valeurs (le zéro), sont enregistrées le plus souvent durant les mois les plus froids, avec l'inhibition naturelle de l'activité des microorganismes. Les valeurs les plus élevées sont liées à la dégradation de la matière organique en été avec l'augmentation de la température et le calme enregistré au niveau de ce cours d'eau.

j) Les nitrates (NO₃⁻) :

Durant notre étude, les valeurs des nitrates varient entre, 0 mg/l la plus part du temps et spécialement durant l'hiver, et 100 mg/l enregistrée au cours des mois caniculaires. La présence d'une telle quantité de nitrates, dans des eaux d'origine lotique, est liée à la dégradation et la décomposition de la matière organique (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001).

k) Les nitrites (NO₂⁻) :

L'examen du tableau 3.2.7. nous renseigne sur les variations des nitrites dans les eaux résiduaires du Saf-saf. En effet, les valeurs des nitrites varient entre 0 mg/l en hiver, et 10 mg/l en été, avec une valeur moyenne de l'ordre de 2,618 mg/l.

Dans ce cas, on peut dire que la pollution organique devient très significative en été (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001). Cette pollution est due d'une part, aux terrains traversés chargés en engrais et, d'autre part à la présence sur les rives de cette rivière d'un important dispositif d'industrie agroalimentaire (Brasseries, minoteries, laiteries etc.), comme nous

n'oublierons pas de mentionner les agglomérations que traverse cette rivière et qui ne possèdent pas de stations d'épurations des eaux.

l) Les hydrocarbures totaux (C_xH_y) :

Les teneurs en hydrocarbures, dosées dans les eaux d'Oued Saf-saf figurent dans le tableau 3.2.7. Ces valeurs varient entre zéro (inférieur à la limite de détection de la méthode utilisée) et 224,00 mg/l.

Cette dernière valeur est bien supérieure aux limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006). Elle est probablement la conséquence d'une pollution accidentelle en amont.

m) Le mercure total (Hg) :

Les observations sur les teneurs du mercure total, dans les eaux charriées par l'oued Saf-saf figurent dans le tableau 3.2.7.

Avec une valeur moyenne égale à 0,0928 mg/l, les valeurs du mercure total varient entre 0 mg/l et 1,2036 mg/l durant la période des grandes crues. Cette dernière valeur est très importante, largement supérieure aux directives du décret 06-141 (JORA, 2006).

La source de cette concentration importante en mercure, dans les eaux du Saf-saf, reste méconnue. Elle peut être liée au lessivage des sols traversés (Rodier, 1998), donc à la présence d'un gisement de mercure en amont, comme elle peut être liée à une pollution par le mercure qui reste à définir (industrie quelconque).

n) Le fer total (Fe) :

Les teneurs du fer total, enregistrées dans les eaux résiduaires du saf-saf figurent dans le tableau 3.2.7.

Les valeurs maximales enregistrées sont de l'ordre de 20,520 mg/l. Ces valeurs très importantes, sont largement au dessus des limites fixées par la réglementation en vigueur (JORA, 2006). La présence du fer est liée la plus part du temps à sa présence naturelle dans la croute terrestre (Rodier, 1998) et, au lessivage important des terrains traversés.

o) Le cuivre total (Cu) :

L'examen du tableau 3.2.7. montre que les teneurs en cuivre total sont inférieures aux limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006). En effet, la valeur maximale de l'ordre de 0,029 mg/l est bien inférieure à la limite de 0,5 mg/l du précédent décret. La présence du cuivre est liée aux lessivages que subissent les terrains traversés (Rodier, 1998).

p) Le plomb total (Pb) :

Les valeurs du plomb total, qui figurent dans le tableau 3.2.7., varient entre 0 mg/l et 0,21 mg/l avec comme valeur moyenne 0,0223 mg/l. Bien que ces valeurs soient inférieures aux directives règlementaires en vigueur (JORA, 2006), elles constituent un risque potentiel pour certaines espèces marines (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001). La source du plomb reste le lessivage de terrains traversés et la contamination par certaines activités économiques dans la région (tanneries, production de peinture, combustion des hydrocarbures etc.).

q) Les chlorures (Cl⁻) :

Les teneurs en chlorures, au niveau des eaux d'Oued Saf-saf sont à des valeurs normales. En effet, les teneurs en chlorures varient entre 231 mg/l et 1133 mg/l. Ces valeurs correspondent à des teneurs en chlorures d'une eau de rivière naturelle (Rodier, 1998).

r) Les phosphates (PO₄⁻) :

Les teneurs en phosphates, contenues dans les eaux charriées par l'oued Saf-saf, sont en moyenne de l'ordre de 3,204 mg/l et peuvent atteindre 5,652 mg/l. L'origine des phosphates est le lessivage des terrains traversés chargés en engrais phosphatés (Rodier, 1998 ; Bliefert et Perraud, 2001). Elles sont largement inférieures aux limites fixées par le décret 06-141 (JORA, 2006). Elles montrent aussi le rôle important que joue cette rivière dans l'alimentation de la baie de Skikda en phosphates nécessaires à la production photosynthétique.

s) Conclusion :

Selon les constatations précédentes, qui nous informe sur la qualité des eaux résiduaire charriées par l'oued saf-saf, on peut conclure que :

- Les eaux de cette rivière sont naturelles, avec un pH qui varie en fonction des saisons, l'oxygénation est fonction de la température et des variations saisonnières. Ces eaux sont troubles par la présence de sels nutritifs et d'importantes quantités de matières en suspension.
- La DBO démontre la bonne santé relative de ce cours d'eau avant son passage par la zone industrielle de Skikda, mais elle n'exclue pas la présence d'une pollution organique. Ce qui est confirmé par la présence d'importantes quantités de nitrates et de nitrites surtout en été.

- On retrouve des traces fréquentes d'hydrocarbures et des valeurs inquiétantes de mercure. Les valeurs des autres métaux sont acceptables, mais le plomb constitue un autre facteur douteux.
- Les valeurs des chlorures et des phosphates sont normales.

Donc on peut dire que Oued Saf-saf est un cours d'eau relativement normale. En amont de son passage par la zone industrielle de Skikda, il est exempt de toutes pollutions chimiques, sauf ce qui est lié à l'activité agronomique et à l'industrie agroalimentaire de la région.

3.2.1.8. Données récoltées au niveau du point témoin d'Oued Saf-saf en aval (Saf av) :



Figure 3.2.21. Point d'échantillonnage au niveau de l'embouchure d'Oued Saf-saf (Saf av) Image satellite Quickbird (2003).

Conclusion générale

Le présent travail a trait à une étude comparative entre la qualité des eaux rejetées par la zone industrielle de Skikda et trois sites témoins dans le golfe de Skikda.

D'une manière générale, la description des données récoltées montre que les eaux résiduaires des sept complexes sont de nature douteuse et hors classe. Tous les complexes pétrochimiques présentent une pollution chimique accentuée à l'exception de la raffinerie (RAF) et du terminal (RTE), qui eux présentent une pollution aux hydrocarbures.

D'autre part, les deux points témoins choisis (Saf av) et (Mer) présentent eux aussi une pollution chimique accentuée, et on constate même que la qualité de l'eau de l'Oued Saf-saf change complètement après son passage par la zone industrielle de Skikda.

Par contre, en ce qui concerne les métaux, leurs variations sont limitées au niveau de toutes les stations à l'exception du fer qui peut présenter parfois des teneurs très élevées. Une information très importante doit être signalée, elle concerne le changement du processus de production au niveau du complexe des matières plastiques (CMP), et qui a conduit à l'élimination du mercure dans les eaux résiduaires de ce complexe.

La comparaison entre les deux années, pour chacune des 19 variables mesurées, et dans chaque station, donne d'importantes informations sur les variations de la qualité des eaux résiduaires récoltées dans chaque station. En effet, le test t de Student montre que la qualité des eaux résiduaires étudiées reste relativement inchangée au cours des deux années de notre étude.

L'utilisation du modèle linéaire généralisé ou l'analyse de la variance à un critère de classification modèle fixe ANOVA, que ce soit pour les données de chaque année séparément ou pour l'ensemble de données des deux années, fait apparaître des différences très hautement significatives, entre les stations, pour l'ensemble des variables physicochimiques étudiées, à l'exception des hydrocarbures totaux où il n'existe aucune différence significative.

Par contre, pour les métaux on conclut à l'absence de différences significatives entre les stations, sauf pour le mercure pour la deuxième année, et le fer pour l'ensemble des deux années ou on constate des différences juste significatives.

L'absence de différences significatives entre les stations, pour les métaux et les hydrocarbures totaux, n'exclue pas que certaines de ces variables peuvent avoir des teneurs dangereuses et nuisibles pour les organismes marins, comme le plomb par exemple.

Références bibliographiques :

- AFNOR., [1979]. Recueil de normes françaises. Eaux, méthodes d'essais.
- ANPE., [1994]. Agence Nationale pour la Protection de l'Environnement. Monographie de la wilaya de Skikda. MATE. 220 p.
- ASTM., [1974]. *Anal Book of American society for testing and material Standards*. Water. Part 31.
- Bautista M.G., Smith D.W., Steiner R.L., [1997]. A cluster-based approach to means separation. *J. Agric. Biol. Environ. Stat.* 2 (2), 198-211.
- Bliefert C., Perraud R., [2001]. *Chimie de l'environnement. Air, Eau, Sol, Déchets*. De Boeck. Bruxelles. 477 p.
- Bouroche J.M., Saporata G., [1980]. *L'analyse des données*. 1^{ère} édition. Presses Académique de France. Paris, 127 p.
- Cox T.F., Cowpertwait P.S.P., [1992]. Clustering population means under heterogeneity of variance. *Statistician* 41 (5), 591-598.
- Dagnélie P., [1970]. *Théorie et méthodes statistiques : applications agronomiques* (vol. 2). Gembloux, Pesses agronomiques, 451 p.
- Dagnélie P., [1986]. *Analyse statistique à plusieurs variables*. Gembloux, Pesses agronomiques, 362 p.
- Dagnélie P., [2006]. *Statistique théorique et appliquée*. Tomme 2 : Inférences à une et à deux dimensions. Bruxelles-université DE BOECK et LARCIER : 659 p.
- Di Rienzo J.A., Guzman A.W., Casanoves F., [2002]. A multiple-comparison method based on the distribution of the root node distance of binary tree. *J. Agric. Biol. Environ. Stat.* 7 (2), 129-142.
- Djabali F., [1988]. Prospection et chalutage en baies de Skikda et de Jijel. *Rapp. ISMAL*: 18 p.
- DPRH., [2003]. Direction des pêches et des ressources halieutiques de la wilaya de Skikda. *Rapp. Annuel. Débarquement et flottille*. 2003.
- E.R.H. [1996]. Evaluation de la ressource halieutique. Ministère des pêches et des ressources halieutiques. *Rapp. Campagne*.1996 : 40 p.
- El Kherrak H., [1993]. *Etude des méthodes de comparaisons multiples et de classification des moyennes en expérimentation agronomique*. Gembloux, faculté des sciences agronomiques, 196 p.
- Huberty C.J., [1994]. *Applied discriminate analysis*. New York, Wiley, 466 p.