الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES

DEPARTEMENT DU GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

En vue de l'obtention du diplôme
De MASTER en GENIE DES PROCEDES

Option : Génie de l'environnement

Thème

Evaluation du niveau de pollution dans l'oued EL Harrach générée par la Zone Industrielle d'EL Harrach

Réalisé par :
Mr AMIROCHE Hemza

Soutenu le 02 Juillet 2017 devant le jury composé de :

Mlle ASSELAH .A	*MCB*	*UMBB*	*Promotrice*
Mr BALOUL.H	*MAA*	*UMBB*	*Président*
Mr YEDDOU	*Pr*	*UMBB*	*Examinateur*
Mme BOUMECHEHOUR.F	*MCR*	*UMBB*	*Examinatrice*

Année universitaire 2016/2017

Remerciements

A l'issue de la confection de ce mémoire, nous tenons à adresser nos remerciements à tous ceux qui de près ou de loin, par leur bonne volonté et leurs actes ont manifesté un intérêt à notre égard et particulièrement à :

M^{lle}Asselah.A, Maitre de conférences B à l'UMBB, pour la qualité d'encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur, et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire, nous disons que ce travail ne serait pas riche et n'aurait pas pu voir le jour sans son aide et son soutien.

Aux membres du jury :MrBaloul.H, Maitre asssistantA à l'UMBB et MrYeddou.A.R, Professeur à l'UMBB et Mme Boumechehour.FMaitre de conférences B à l'UMBBpour nous avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner et de juger ce travail. Veuillez trouver ici l'expression de notre grand respect et nos vifs remerciements.

Tout le personnel de laboratoire observation nationale de l'environnement pour l'accueil qu'il nous a témoigné durant notre stage et pour leur soutien, qui nous ont aidés à réaliser ce travail.

L'ensemble du corps enseignant et administratif de la FSI.

Nos familles et nos proches qui n'ont cessé de se manifester par leur présence quand nous en avions besoin. Recevez l'expression de notre profonde gratitude.

الملخص

يركز هذا العمل على تقييم التلوث في حوض وادي الحراش. هذا الأخير يعتبر من أهم الوديان في شمال الجزائر، غير انه يعاني من كل أنواع التلوث خاصة التلوث الصناعي. لهذا الغرض أخذنا المنطقة الصناعية للحراش كعينة للدراسة.

الحد من التلوث الصناعي تحديا كبيرا للحفاظ على التنمية و الأنشطة البيئية، الاقتصادية و الاجتماعية و كذلك الحفاظ على الساحل.

الوعي بهذا التحدي جعلنا نقوم بهذه الدراسة لتقييم التلوث الصناعي في هذه المنطقة و نركز في هذه الدراسة على التلوث المنبعث من المنطقة الصناعية. لهذا الغرض قمنا بتحاليل للمياه الصناعية. و بفضل استغلال نتائج التحاليل و المحاكاة استطعنا أن نقترح إمكانية ربط النفايات السائلة بشبكة الصرف الصحي أو اقتراح نظام معالجة أولي قبل الوصول إلى محطة التصفية.

Résumé

Le présent travail porte sur l'étude de l'évaluation de la pollution au niveau de l'Oued El-Harrach. Ce denier est considéré comme l'un des plus important cours d'eau au Nord d'Algérie, mais il soufre de touts types de pollution en particulier la pollution industrielle. Pour cette raison la zone industrielle d'El-Harrach a été prise comme échantillon d'étude.

La réduction de la pollution d'origine industrielle constitue un enjeu majeur pour la conservation et le développement des activités environnementales, économiques et sociales sur échelle du bassin versant et du littoral.

Conscient de cet enjeu, nous faisons cette étude pour évaluer la pollution industrielle au niveau de cet endroit on base sur la pollution rejeter par la zone industrielle. Pour cet objectif on a fait des analyses des eaux industrielles rejetées, et avec l'exploitation des résultats des analyses et de la simulation, nous proposons la possibilité de raccorder les déches liquides sur le réseau d'assainissement public. Ou proposer un système de pré traitement avant l'arrivée à la station d'épuration.

Abstract

This work is concerned with the evaluation of pollution in El-Hrrach Valley. The latter, is considered as one of the most important water courses in the North of Algeria. But it suffers from all types of pollution especially

industrial pollution. For this, El-Harrach Industrial Zone was taken as a sample for study.

The reduction of industrial pollution is a major challenge for the conservation and the development of environmental; economic and social activities and the protection of the coast.

Consciousness of this challenge pushes us t make this study to evaluate the industrial pollution at the level of this place by making our emphasis on the pollution caused by the industrial zone. To reach this objective, we have made analysis on the industrial water emitted, with the exploitation of the analysis' results and the simulation, we have suggested the possibility to link the liquid wastes with the public sewerage network, or to suggest a pre-treatment system before the arrival to the filtration station.

Sommaire

II.1. Introduction Générale

Partie théorique

Chapitre I : Caractérisation de la pollution et réglementation en vigueur

II.1. Introduction……. 03
II.2. Définitions de la pollution des eaux…… 03
II.3. Définition des eaux résiduaires industrielles…… 04
II.4. Les sources de pollution des eaux 04
II.4.1. La pollution domestique et urbaine…….. 04
II.4.2. La pollution d'origine agricole…….. 05
II.4.3. La pollution industrielle……. 05
II.5. Mode de pollution…….. 06
II.5.1. Les pollutions accidentelles……. 06
II.5.2. Les pollutions diffuses……. 06
II.5.3. La pollution anthropique…… 06
II.6. Les type de pollution…….. 06
II.6.1. La pollution physique…… 07
II.6.1.1. Pollution mécanique……. 07
II.6.1.2. Pollution thermique……. 07
II.6.1.3. Pollution radioactive…… 08
II.6.2. La pollution chimique……. 08
II.6.2.1. Pollution organique…….. 08
- Hydrocarbures..... 09
  - La Toxicité aigue……. 09
  - La Toxicité à long terme 09
- Phénols..... 10

II.6.2.2. Pollution minérale (Métaux lourds)…….. 10
II.2.6.3. La pollution microbiologique……. 11
II.7. Paramètres de mesure de la pollution……. 11
II.7.1. Paramètres organoleptiques…… 12
II.7.1.1. Couleur……. 12
II.7.1.2. Odeur…… 12
II.7.2. Paramètres physiques……. 12
II.7.2.1. Température…… 12
II.7.2.2. Potentiel hydrogène (pH)…… 13
II.7.2.3. Turbidité…….. 13
II.7.2.4. La salinité……. 13
II.7.2.5. L'oxygène dissous…….. 14
II.7.2.6. Consommation d'oxygène……. 14
II.7.2.7. Matières en suspension……. 14
II.7.2.8. La conductivité électrique…… 15
II.7.3. Paramètres chimiques…….. 15
II.7.3.1. Demande chimique en oxygène (DCO)…… 15
II.7.3.2. Demande biologique en oxygène (DBO_5)…… 15
II.7.3.3. Carbone total organique COT…… 15

II.7.3.4. Azote total NT…….. 16
II.7.4. Autres paramètres……. 16
II.7.4.1. Hydrocarbures…….. 16
II.7.4.2. Micropolluants…….. 16
II.8.- L'eau et les rejets réglementaires…… 17
- Protection de l'eau..... 17
- Rejets d'huiles..... 17

Rejets industriels déversent au réseau public……. 17
- Rejets industriels au milieu naturel..... 18
- Limite de toxicite des rejets d'effluents..... 19
- Redevances sur les rejets industriels..... 20

Chapitre II : Caractérisation de la pollution et réglementation en vigueur

I.1. Modélisation d'écoulement multiphasique et de transport en milieux poreux…… 21
II.1.1. Équations de conservation de masse……... 22
II.1.2. Modèle d'écoulement des fluides non miscibles…… 23
II.1.3. Modèle de transport avec échanges entre phases…… 23
II.2. Relations de fermeture……... 25
II.2.1. Équations d'état……. 26
II.2.2. Relations pression-saturation-perméabilité……. 27
II.2.3. Techniques de résolution numérique…….. 32
II.2.4. Les modèles multiphasiques dans la littérature…….. 33

Partie Pratique

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I-1- Situation géographique…… 35
I-2- Milieu physique…… 35
I-2-1- Géologie…… 35
I-2-2- Topographie…… 36
I-2-3- Climat…… 37
I-2-3-1- Les précipitations (P)…… 38
I-2-3-2- La température…… 39
I-2-3-3- L'évaporation…… 40
I-2-3-4- L'humidité…… 40

Chapitre II : caractérisation des milieux récepteurs oued El Harrach

II.1. Sources de pollution de l'oued El Harrach……. 42

- II.1.1. La partie N°01:……. 42

II.1.1.1. Localisation…… 42

II.1.1.2. Caractérisation du milieu récepteur…… 44

II.1.1.2.1. Occupation du sol à proximité de l'oued……. 44

II.1.1.2.2. Qualité du milieu récepteur…….. 44

II.1.1.2.3. Origines de la pollution Observée ……. 44

II.1.2. La partie N°02……. 47

II.1.2.1. Localisation……. 47

II.1.2.2. Caractérisation du milieu récepteur……. 48

II.1.2.2.1 Occupation du sol à proximité de l'oued…… 48

II.1.2.2.2. Qualité du milieu récepteur lors de la visite de terrain……. 48

II.1.2.2.3. Origines de la pollution observée ……. 48

II.1.3. la partie N°03…… 51

II.1.3.1. Localisation …….. 51

II.1.3.2. Caractérisation du milieu récepteur…….. 52

II.1.3.2.1. Occupation du sol à proximité de l'oued ……. 52

II.1.3.2.2. Qualité du milieu récepteur…… 52

II.1.3.2.3.Origines de la pollution observée…… 52

Chapitre III : Analyse des eaux des Principaux Points de Rejets

III.1. Introduction…… 54

III.2. Présentation de la zone d'étude (zone d'échantillonnage)……. 56

- Point de prélévement N° 01..... 59
- Point de prélévement N° 02..... 59
- Point de prélévement N° 03..... 60

II.3. Méthodes d'analyses des échantillons…… 61

III.3.1.Méthodes de prélèvements…… 61

III.3.2.Analyses…… 61

III.3.2.1.Les paramètres étudiés……. 61

- Matières en suspension (MES) 62
- Demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO_5)..... 62

Demande chimique en oxygène (DCO)…… 63

- Hydrocarbures..... 63
- Métaux..... 63

III.3.2.2. Résultats d'analyse et interprétations …….. 64

- Échantillon N°01 64

- Interprétations des Résultats :..... 64
- Recommandations..... 65
  - Échantillon N°02 65
- Interprétations des Résultats :..... 66
- Recommandations..... 66
  - Échantillon N°03 67
- Interprétations des Résultats :..... 67
- Recommandations..... 68

Chapitre IV : Modélisation de pollution

IV. Modélisations numériques…… 69

IV.1. Simulations avec SEEP/CTRAN/W 2007 …… 69

IV.2.. Résultats d'analyse et interprétations …….. 71

II.3. Conclusion générale

LISTE DES FIGURES

Partie Théorique

Figure II.1 : Courbes de pression capillaire en fonction de la saturation : effet d'hystérésis…….. 13

Partie Pratique

Figure I.1. : Carte du Bassin versant de l'Oued El Harrach…….. 35

Figure I.2. : Carte des unités géologiques de l'Algérie du nord……..... 36

Figure I.3.: Alger, Bassins versants intérieurs et relief……. 37

Figure I.4.: Alger, Bassins versants intérieurs et relief……. 37

Figure N°I-5: Moyennes mensuelles et annuelle des précipitations…… 38

Figure N°I-6: Moyennes mensuelles des températures…….. 39

Figure N° I-7: Moyennes mensuelles de l'évaporation……. 40

Figure N° I-8: Moyennes mensuelles de l'humidité…… 41

Figure N° II.1. : Carte Oued El Harrach: de la confluence avec l'Oued Smar à l'embouchure en mer…… 43

Figure N° II.2. : Les sources de pollution de la confluence avec l'Oued Smar à l'embouchure en mer……. 45-46

Figure N°II.3. : Carte Oued El Harrach de la STEP de Baraki à la confluence avec l'Oued Smar..... 47

Figure N° II.4. : Les sources de pollution de la STEP de Baraki à la confluence avec l'Oued Smar……. 49-50

Figure N° II.5. : Carte Oued El Harrach de la confluence avec l'Oued El Kerma à la STEP de Baraki…….. 51

Figure N° II.6. : Les sources de pollution de la confluence avec l'Oued El Kerma à la STEP de Baraki…….. 53

Figure N°III.1 : Carte satellitaire de délimitation de la zone d'étude 55

Figure N° III.2 : Carte de situation de la zone d'étude et des points d'échantillonnage ……. 58

Figure N° IV.1. : Valeurs de la conductivité hydraulique dans la couverture et l rejets pour la période hivernale Cas de saturation (.nappe saturée)…….. 72

Figure N° IV.2. : Valeurs de la conductivité hydraulique dans la couverture et les rejets pour divers pas de temps Cas de désaturation (.nappe désaturée) 74

Liste des tableaux

Partie théorique

Tableau II. 1: Valeurs limites des paramètres de rejet d'effluents industriels au réseau urbain……. 17
Tableau II.2 : valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents industriels au milieu naturel 18

Partie Pratique

Tableau N°I.1 : Moyennes mensuelles et annuelle de précipitations…….. 38
Tableau N°I.2: Moyennes mensuelles et annuelles des températures …… 39
Tableau N°I.3 *:* Moyennes mensuelles et annuelles de l'évaporation…….. 40
Tableau N°I.4: Moyennes mensuelles et annuelles de l'humidité……. 40
Tableau III.1. : Les noms et les surfaces des entreprises…….. 56-57
Tableau N° III.2. : Récapitulatif des mesures effectuées et des débits sur les points de prélèvement des échantillons de la zone industrielle El Harrach…. 60
Tableau N° III.3. : Les résultats des prélèvements des échantillons N°01……. 64
Tableau N° III.4. : Les résultats des prélèvements des échantillons N°02……. 66
Tableau N° III.5. : Les résultats des prélèvements de l'échantillon N°03…….. 67
Tableau N° IV.1. Résumé des principales caractéristiques du logiciel SEEP/CTRAN/W ……... 02

Introduction Générale :

La pollution des eaux accidentelles ou volontaires par certains produits chimiques d'origine industrielle (hydrocarbures, phénols, colorants,..) ou agricole (pesticides, engrais,..) constitue une source de dégradation de l'environnement et suscite à l'heure actuelle un intérêt particulier à l'échelle internationale.

L'importance est de plus en plus grande pour laquelle on attache aujourd'hui à la protection des milieux naturels et en particulier à la préservation de la qualité des eaux. Différentes instances internationales chargées d'inspecter et de surveiller l'environnement, sonnent l'alarme à l'occasion de chaque catastrophe et proposent des réglementations de plus en plus strictes. Mieux produire et moins polluer sont les défis auxquels sont confrontés les industriels de tous les secteurs aussi bien par les responsables politiques en charge de l'environnement que par l'opinion publique, les contraintes sous forme législatives et normatives auxquelles ils doivent se soumettre sont de plus en plus drastiques.

Traversant une agglomération urbaine en tant que fleuve urbain représentatif de la wilaya d'Alger, Oued El Harrach peut servir de baromètre qui présente l'état de gestion environnemental et écologique d'Alger avec l'attention accrue des habitants concernant l'aménagement de l'oued. Malgré tout, l'absence d'un plan synthétique sur l'aménagement écologique de l'Oued se traduit par la dénaturalisation des cours d'eaux et la dégradation continue de la qualité de l'eau.

Les pays développés comme l'Europe, le Japon, la Corée du sud et les Etats –Unis ont développé depuis longtemps des processus d'aménagement écologique des cours d'eaux adaptés aux conditions naturelles de leur pays, qui sont mises en application de façon dynamique. Compte tenu de ce contexte mondial, il est urgent de mettre en œuvre un projet d'aménagement et de dépollution fluvial et d'acquérir la technologie d'aménagement et de dépollution écologique.

En Algérie, ou les précipitations se concentrent pendant une certaine saison, il n'ya pas de problème lié au débit des oueds pendant la saison des pluies, alors que la pollution s'accentue avec la saison sèche. C'est-à-dire en été la capacité d'auto- épuration du cours d'eau a une certaine limites lors de l'écoulement gravitaire des polluants introduits et dépend considérablement du courant d'eau, de la saison, des précipitations, du genre de polluants et

de leur quantité quant à l'oued El-Harrach, qui se trouve dans un état de pollution critique avec l'entrée des polluants dont la qualité dépasse sa capacité d'auto -épuration .

Actuellement, la pollution de l'oued s'aggrave avec la croissance de la demande en eau et l'augmentation du volume des eaux usées dues à la concentration de la population dans la zone urbaine et à l'industrialisation.

Ce travail est une contribution à l'évaluation du niveau de pollution des eaux du l'oued El Harrach, dans lequel une description de l'état de la qualité des eaux ainsi que les dégâts pouvant engendrer de la pollution.

Les objectifs globaux de l'étude sont :

- L'identification des pollutions industrielles (source, types et teneurs) «zone industrielle d'El Harrach »,
- L'estimation de l'impact de cette pollution sur l'environnement,
- La comparaison avec d'autres types de pollution,
- La simulation de propagation de la pollution par le logiciel GEO SLOPE.

Cette étude comporte en plus de l'introduction, deux parties :

La partie théorique comporte deux chapitres, à savoir

- Le chapitre 1 portant sur la caractérisation de la pollution et réglementation et vigueur
- Le chapitre 2 décrit la modélisation de la pollution

Et la partie pratique comprend quatre chapitres :

- Le chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude
- Le chapitre 2 : Caractérisation des milieux récepteurs (Oued El-Harrach)
- Le chapitre 3 : Analyse des eaux des principaux points de rejets.
- Le chapitre 4 : Modélisation de la pollution

Et continue jusqu'a la conclusion.

Partie théorique

Chapitre I :

Caractérisation de la Pollution et réglementation en vigueur

II.1. Introduction

L'eau est le vecteur choisi par l'homme pour éliminer la majorité de ses déchets. Les multiples utilisations de l'eau par l'homme donnent lieu à la formation d'eaux usée, présentes en différentes concentrations à l'état pur ou mélangé, Par ailleurs, presque tous les processus industriels et artisanaux consomment de l'eau et rejettent des eaux résiduaires .Sous cette terminologie, on groupe habituellement des eaux d'origine très diverses [1].

II.2. Définitions de la pollution des eaux

Le terme « pollution » désigne toute modification défavorable du milieu naturel, qui parait en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers des effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède ou les possibilités réactives du milieu [2].

En outre, une pollution peut affecter directement l'homme, dans sa santé ou son environnement proche. Elle peut aussi l'affecter indirectement à travers la chaine alimentaire ou un environnement plus lointain. Polluer c'est salir, souiller, dégrader l'environnement.... [3].

La pollution ou la contamination de l'eau peut être ainsi définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques

, par des déversements, des rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables tels que les micro- organismes, les produits toxiques et les déchets industriels.

Ces substances polluantes peuvent avoir différentes origines:

- Urbaine (activités domestiques; eaux d'égout, eaux de cuisine...),
- Agricole (engrais, pesticides),
- Industrielle (chimie-pharmacie, pétrochimie, raffinage...).

La pollution est directement liée aux activités industrielles et agricoles. Nous nous intéressons aux rejets liquides transportés par l'eau, appelés couramment les eaux résiduaires industrielles transportant en général divers produits hautement toxiques avec des taux très élevé.

II.3. Définition des eaux résiduaires industrielles

Les eaux résiduaires industrielles ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considéré. Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou nom, elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés. Étant donné la très grande variété des produits utilisés dans l'industrie, le travail de l'analyste sera toujours délicat et compliqué par la présence de matières organiques et minérales en quantité importante [1].

Tout effluent ou rejet industriel obtenu lors de l'extraction et de la transformation des matières premières en produits industriels, ainsi que les eaux de rejets des services généraux des industries (sanitaire et cuisine) sont considérés également comme eaux résiduaires industrielles. [4].

II.4. Les sources de pollution des eaux

La pollution des ressources en eau peut avoir de multiples origines. Il y des pollutions liées aux activités humaines, qu'il s'agisse de pollution domestique et urbaine, industrielle ou agricole. Également des pollutions "naturelles" de l'eau, qui rendent celle-ci impropre à la consommation exemple dans les éruptions volcaniques, certains filons géologiques de métaux peuvent être par des causes de pollution [5].

II.4.1. La pollution domestique et urbaine

La pollution domestique issue de la vie des ménages, dans des habitations individuelles a toujours existé. En milieu rural, par exemple, les ordures ménagères jetées près des habitations ajoutées aux purins et aux matières fécales des animaux domestiques contribuaient à polluer la nappe phréatique où s'alimentait les familles par l'intermédiaire du puits creusé parfois à quelques mètres du point de pollution. Aujourd'hui, cette pollution élémentaire existe toujours mais elle a pris une autre forme. Ainsi, les rejets des éviers, des salles de bain, des toilettes sont canalisées par les égouts puis rejetés directement dans le milieu naturel contribuant à la pollution de l'environnement. [6].

II.4.2. La pollution d'origine agricole

L'agriculture constitue la première cause de pollution diffuse des ressources en eau. Lorsque l'on considère les pollutions d'origine agricole, il faut englober à la fois celles qui ont trait aux cultures et à l'élevage. Les activités agricoles sont en particulier largement impliquées dans les apports d'azote et, surtout de ses dérivés, nitrates et nitrites que l'on trouve en forte concentration dans les engrais, mais aussi dans les lisiers et purins d'élevage. Les pesticides utilisés pour le traitement des cultures sont également une source connue de dégradation des ressources en eau. Sous l'appellation "produits phytosanitaires" se cache en fait une multitude de substances, dont la rémanence dans l'eau peut varier d'une molécule à l'autre. Toutefois, on retiendra que les organochlorés sont généralement plus rémanents que les organophosphorés [7].

II.4.3. La pollution industrielle

Si la pollution domestique des ressources en eau est relativement constante, les rejets industriels sont au contraire caractérisés par leur très grande diversité selon le type d'industrie on distingue, diverses matières polluantes :

- matières organiques et graisses (abattoirs, industrie agroalimentaires...),
- hydrocarbures (industrie pétrolières, transports),
- métaux (traitements de surface, métallurgie),
- acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...),
- eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques),
- matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Parmi les industries considérées traditionnellement comme rejetant des matières particulièrement polluantes pour l'eau, on citera, notamment, les industries agroalimentaires les papeteries, les tanneries, les usines pétrochimiques, les industries de traitements de surface,.., etc. [8].

II.5. Mode de pollution

II.5.1. Les pollutions accidentelles

Ce sont le plus souvent des pollutions ponctuelles liées aussi bien aux activités industrielles où agricoles. Elles peuvent résulter d'un accident de transport ou de stockage de produits chimiques ou encore de catastrophes naturelles. [6].

II.5.2. Les pollutions diffuses

Une pollution diffuse est une pollution due à de multiples rejets de polluants dans le temps et dans l'espace. Contrairement à une pollution accidentelle, qui se produit localement, ponctuellement et souvent massivement, une pollution diffuse est peu visible. Son effet sur l'environnement n'en est pas moins sensible. La pollution des eaux par les nitrates et les pesticides de l'agriculture est un exemple de pollution diffuse ; elle se produit sur tout le territoire, d'année en année et affecte grandement la qualité des eaux et les écosystèmes.
Elles résultent de la propagation d'un agent polluant par différents vecteurs de transport, qu'il soit utilisé de façon habituelle pour des usages courants ou non. Le transport des matières actives par le vent dans les zones parfois même inaccessibles en sont des exemples concrets et très inquiétants. [6].

II.5.3. La pollution anthropique

Elle est souvent attribuée à la présence de la flore dans les eaux surtout si ces eaux sont stagnantes ou si leur renouvellement reste très occasionnel et limité dans le temps. Donc cette pollution résulte de l'eutrophisation qui est fonction du rapport [azote] / [phosphore] dans l'eau. Ce déséquilibre entraîne entre autre la prolifération des plantes et des algues causant ainsi la diminution du taux d'oxygène nécessaire à la vie de la faune et de la flore aquatiques [9].

II.6. Les type de pollution

La pollution de l'eau est l'ensemble des nuisances auxquelles peut être exposé son usager. La pollution engendrée peut être d'ordre physique (radioactivité, élévation de la température..), chimique (rejets agricoles, industriels et urbains) et microbiologique (rejets urbains,

élevage...). Pour mieux évaluer la pollution, il existe des paramètres qui permettent d'estimer l'ampleur de celle-ci en fonction de son type. Les eaux résiduaires industrielles sont spécifiques par leur volume et leur composition. On distingue trois types de pollution :

II.6.1. La pollution physique

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules en suspension et le changement qui affecte l'effet réfractaire de l'eau. Même les rejets d'eau chaude des centrales nucléaires ou thermique dans le milieu marin constituent aujourd'hui la préoccupation majeure de nombreux pays. [6].C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau), elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle. On peut la répartir en trois classes: mécanique, thermique et radioactive [4].

II.6.1.1. Pollution mécanique

Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux résiduaires industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension MES. [10].

II.6.1.2. Pollution thermique

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..); ont une température de l'ordre de 70 à 80°C. Elle diminue jusqu’ à 40 à 45°C lorsqu’elle est en contact avec les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, ce qui influe sur la solubilité de l'oxygène. En outre tout changement de température cause des effets significatifs sur la survie des organismes aquatiques. Un abaissement important de la température ralenti la plupart des réactions chimiques vitales voire les arrêter. Au contraire, des augmentations de température peuvent tuer certaines espèces, mais également favoriser le développement d'autres organismes causant ainsi un déséquilibre écologique. [4]. [10].

II.6.1.3. Pollution radioactive

C'est celle occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs). Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants. Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire, plus les organismes sont sensibles aux rayonnements [10].

II.6.2. La pollution chimique

La pollution chimique est due à l'introduction d'un (ou plusieurs) éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau initialement destinée à un usage bien précis. Deux types de paramètres permettent d'évaluer l'ampleur de cette pollution à savoir :

- les paramètres globaux qui résultent de la juxtaposition des effets de plusieurs substances en même temps exemple pH, conductivité, turbidité, Demande chimique en oxygène (DCO), etc. La DCO, permet d'évaluer l'ensemble de toutes les espèces chimiques oxydables, organiques et minérales, dissoutes ou en suspension.
- les paramètres spécifiques qui caractérisent un composé particulier ou plusieurs de propriétés chimiques semblables. (Djilani, 2006).

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories :

- Organiques (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols..),
- Minérales (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...).

II.6.2.1. Pollution organique

Parmi les principaux polluants de l'eau on trouve les composés organiques. Ces derniers contaminent aussi bien l'air et le sol que les mers, les océans, les fleuves, les rivières et les nappes d'eau souterraines. En fait, leur présence dans l'environnement résulte de divers phénomènes liés à l'extraction du pétrole, à son transport maritime et en aval à l'utilisation des produits finis [11].La plupart des produits organiques sont toxiques et peu biodégradables, ils s'accumulent dans les organismes vivants et enrobent les plantes limitant les échanges vitaux, empêchant ainsi le développement de la faune et la flore. Ils forment aussi un film à la surface de l'eau s'opposant à son oxygénation naturelle et empêchant le passage des rayons lumineux. [12].

Autrement dit, c'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables) fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...). Ils provoquent une consommation d'oxygène dissous de ces eaux, en entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fonds des rivières) de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives [10].

- **Hydrocarbures**

La demande en oxygène des hydrocarbures est très importante et le problème posé par ce type de polluant est lié à sa grande stabilité. Les hydrocarbures se dissolvent peu et se présentent généralement sous forme d'émulsion ou de surnageant, contribuant ainsi à la modification des échanges gazeux avec l'atmosphère. Ce phénomène prend une importance particulière dans les zones calmes où le film peut s'étendre sur une grande surface et modifier notablement la tension superficielle de l'eau. Parallèlement, ce film influe directement sur les réactions photosynthétiques, ce qui a pour conséquence de freiner une source importante de production d'oxygène au milieu. Les effets de toxicité des hydrocarbures, outre leur origine intrinsèque, sont souvent en grande partie liés aux additifs qui y ont été incorporés au stade de leur fabrication industrielle (phénols, aminés aromatiques...). [1].La pollution par les hydrocarbures résulte de plusieurs activités liées à l'extraction du pétrole, à son transport et en aval à l'utilisation de produits finis (carburants et lubrifiants), ainsi qu'aux rejets effectués par les navires (marées noires).

Les effets des hydrocarbures dans le milieu marin sont considérables. Ils dépendent largement de leur composition. En fait leurs activités peuvent s'exercer selon plusieurs modalités très différentes. [10].

- **La Toxicité aigue:** elle s'exerce sur l'ensemble des êtres vivants du milieu (végétaux, animaux ou bactéries) provoquant des disparitions immédiate des poissons s'effectuent par colmatage des bronchites. Les oiseaux sont également tués en masses par engluage des plumes. On n'estime le nombre de 150 000 à 400 000 d'oiseaux tués annuellement par les hydrocarbures.
- **La Toxicité à long terme:** les hydrocarbures ou les produits de dégradation, peuvent être accumulés par les différents organismes marins après leur ingestion. Leurs effets peuvent s'étaler sur des périodes très longues. Ce danger est évidemment plus grave

lorsqu'il s'agit des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HPA) cancérigènes (méthyle chlorolanthrène, benzanthracènes, benbzopyrènes,..etc.). Ils sont repris par les chaînes alimentaires et concentrées jusqu'à des taux très élevés. On imagine le danger que peut présenter ce phénomène pour le consommateur humain. [10].

- **Phénols**

Ils désignent un ensemble de composés hydroxylés du benzène. La présence du phénol dans l'eau a pour origine les polluants industriels (usine chimique, cokeries, industries pétrochimique, raffineries...) ainsi que les revêtements bitumeux des canalisations et des réservoirs, la décomposition des produits végétaux et la dégradation des pesticides. Ces produits s'oxydent faiblement, se fixent peu, se filtrent facilement et ils sont souvent biodégradables; alors ils ne se trouvent qu'en faible quantité. Leur inconvénient principal est qu'ils donnent à l'eau un goût extrêmement désagréable et très persistant marqué de chlorophénol lorsqu'ils sont en présence de chlore. Les poissons, accumulent les phénols jusqu'à 30 mg/kg, ils sont alors impropres à la consommation. Les phénols peuvent être séparés des eaux résiduaires par extraction liquide-liquide, oxydé par le chlore ou l'ozone ou bien détruits par un traitement biologique. [13].

II.6.2.2. Pollution minérale (Métaux lourds)

L'étude des éléments traces concerne plus souvent le seul groupe des métaux lourds, les plus connus en raison de leur importance dans les pollutions. Un élément utile pour un organisme à une certaine concentration peut très vite devenir toxique lorsque la concentration augmente. (Olivier .A, 2005). Les éléments traces, et les métaux lourds en particulier, peuvent être toxiques, néanmoins nombre d'entre eux, tels que Cu, Co, Mn, Zn, B, sont aussi indispensables à la croissance des organismes vivants. Les éléments qui n'ont aucune fonction connue dans les organismes sont Cd, Ba, Ti, Zr, les terres rares et les actinides.

La présence des métaux lourds dans l'eau, l'atmosphère et par conséquent la chaîne alimentaire est le cas le plus intéressant parmi les problèmes posés à la pollution. Par ordre décroissant de toxicité spécifique. Les métaux sont classés comme suit: Hg < Cr < Ti < Cu < Co < Ni < Pb < Zn, Les métaux lourds sont susceptibles d'être métabolisés et concentrés par les organismes vivants et mis en circulation dans la chaîne alimentaire ou leur toxicité

augmente. L'irréversibilité de cette pollution est préoccupante du fait qu'il est impossible de les récupérer, une fois dissipé dans la nature. [15].

II.6.2.3. La pollution microbiologique

L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites) qui sont dangereux pour la santé humaine et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (industrie, utilisation domestique...). [16]. [17].

La pollution microbiologique résulte de la présence dans l'eau de micro-organismes véhiculés par l'eau et qui sont responsables de beaucoup de maladies hydriques. Elle peut être un milieu favorable aux développements des bactéries et parasites nuisibles à la santé humaine des populations qui l'utilisent pour leurs besoins. Les bactéries pathogènes (Vibrionacea, Enterobacteriaceea, etc.) sont responsables des principales maladies hydriques telles que la typhoïde. Les parasites quant à eux sont la cause de plusieurs maladies infectieuses (hépatite, méningite, etc.). [18].

La pollution microbiologique est principalement liée aux eaux résiduaires urbaines. Les points ‘’névralgiques”les plus importants coïncident avec les points ‘’névralgiques” de bactéries d’origine fécale (humaine ou animale). Les micro-organismes pénètrent le plus souvent dans l’environnement marin par les rejets d’eaux résiduaires municipales non traitées ou partiellement traitées, constituant ainsi (en plus des apports relatifs au tourisme) les apports ponctuels. Les eaux de ruissellement constituent également une source importante de pollution microbiologique, la plupart du temps, à cause des rejets des eaux usées en amont. Ces apports sont dits diffus.

II.7. Paramètres de mesure de la pollution

Incidence des rejets d'eaux usées industrielles sur l'environnement peut s'apprécier au regard des élévations de température, des modifications de turbidité et des consommations d'oxygène qu'ils peuvent induire dans le milieu, ainsi que des effets spécifiques inhérents à chaque polluant ou groupe de polluants. [1].

En outre, l'estimation de la pollution industrielle est un problème complexe et délicat qui fait appel à des dosages et des tests de différents paramètres servant à caractériser de manière

globale et pertinente le niveau de la pollution présente dans les effluents. Parmi ces paramètres, on cite les plus importants.

II.7.1. Paramètres organoleptiques

II.7.1.1. Couleur

La couleur des eaux résiduaires industrielles est en général grise, signe de présence de matières organiques dissoutes, de MES, du fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde colloïdale, du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes. [4]. [17].

II.7.1.2. Odeur

Les eaux résiduaires industrielles se caractérisent par une odeur de moisi. Toute odeur est signe de pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition. [16].

II.7.2. Paramètres physiques

II.7.2.1. Température

La température est l'un des facteurs écologiques les plus importants parmi tous ceux qui agissent sur les organismes aquatiques. Elle joue un rôle primordial dans la distribution des espèces, aussi bien par ses niveaux extrêmes que par ses variations diurnes ou saisonnières.
La plupart des réactions chimiques vitales sont ralenties voire arrêtées par un abaissement important de température. Au contraire, des augmentations de température peuvent avoir pour effet de tuer certaines espèces, mais également de favoriser le développement d'autres espèces en entraînant ainsi un déséquilibre écologique. Pour chaque espèce, on définit un préférendum thermique, qui correspond à la zone de température où le poisson se tient le plus facilement quand il est libre de se déplacer dans un gradient de température. [1].

Les températures relativement élevées agissent comme pollutions additionnelles ayant ainsi des répercussions sur les cycles biologiques. [19].. D’un point de vue réglementaire, selon le décret exécutif n°06-141 du 19Avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d’effluents liquides industriels , la valeur limite de température de rejets d’effluents liquides industriels est de 30°C [20].

II.7.2.2. Potentiel hydrogène (pH)

Les eaux superficielles constituent un système physico-chimique complexe tamponné par les divers équilibres entre les espèces moléculaires ou ionisées présentes, Des pH compris entre 5 et 9 constituent les limites dans lesquelles un développement quasi normal de la flore et de la faune aquatique semble être permis. Par ailleurs, il est souvent difficile d'établir des critères précis en ce qui concerne la vie et la reproduction des poissons (on retient parfois comme zone optimale celle délimitée par les pH extrêmes de 6,5 et 8,5). En général, les effets du pH se font surtout sentir par l'influence qu'exerce ce paramètre sur les équilibres entre les autres composés du milieu (azote ammoniacal, sulfure de sodium, acide cyanhydrique, etc.) lorsqu'ils ont une toxicité variable selon qu'ils se trouvent ou non sous forme ionisée. [1].Selon le décret exécutif n°06-141 du 19Avril 2006 définissant la qualité requise de rejets d'effluents liquides industriels, le pH ne doit pas dépasser une valeur limite comprise entre 6,5 et 8,5. [20].

II.7.2.3. Turbidité

L'importance des matières en suspension dans l'eau réduit la luminosité et abaisse la productivité du milieu récepteur du fait, en particulier, d'une chute de l'oxygène dissous consécutive à une réduction des phénomènes de photosynthèse. Les effets mécaniques des matières en suspension sont également importants. Les matières en suspension sont de nature à engendrer des maladies chez le poisson et même l'asphyxie par colmatage des branchies. Par ailleurs, les matières décantables sédimentent dans les zones de frayes et réduisent les possibilités de développement des végétaux et des invertébrés de fond (agissant ainsi sur l'équilibre global de la chaîne alimentaire du système aquatique). [1].
La turbidité caractérise le degré de non transparence de l'eau, et traduit la présence des MES [10].

II.7.2.4. La salinité

Dans l'étude du milieu marin, la mesure de la salinité est importante du fait qu'elle exerce une influence significative sur la densité de l'eau de mer. Représentant la proportion de sels minéraux dissous dans l'eau de mer, elle permet d'identifier les masses d'eaux d'origine différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la côte.

II.7.2.5. L’oxygène dissous

Gouvernant la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques, l’oxygène dissout est un paramètre très important. C’est un composé essentiel de l’environnement aqueux puisqu’il est le réactif limitant de la principale voie de biodégradation de la pollution organique.

La nitrification de l’azote ammoniacal est une source de déficit en oxygène, Par ailleurs, des développements de phytoplanctons en zones eutrophes, peuvent engendrer des sur-saturations. L’appauvrissement du milieu en oxygène dissout provoque l’apparition de pollutions bactériologiques impliquant des maladies infectieuses, alors que le phénomène de corrosion est proportionnel aux teneurs élevées de l’oxygène dissous.

II.7.2.6. Consommation d'oxygène

Le pouvoir d'inhibition de la vie piscicole par consommation de l'oxygène du milieu peut être valablement estimé au vu des valeurs de la DBO, de la DCO et de la teneur en azote réduit des eaux résiduaires rejetées. En particulier, on rappellera que la consommation d'oxygène consécutive à la minéralisation de l'azote ammoniacal par les bactéries nitrifiantes du milieu (non prise en compte ni dans l'expression de la DBO sur cinq jours, ni dans celle de la DCO) est très importante puisque l'oxydation de 1 mg d'azote ammoniacal en nitrates s'accompagne d'une consommation de l'ordre de 4,5 mg d'oxygène. Dans ces conditions, des rejets présentant une charge élevée en azote réduit peuvent engendrer des phases d'asphyxie du milieu lorsque la dilution est insuffisante. Enfin, par l'intermédiaire du phénomène d'eutrophisation, les rejets d'azote et de phosphore sont indirectement de nature à entraîner de fortes variations journalières du taux d'oxygène du milieu aquatique. En effet, ce taux peut significativement chuter la nuit, où une consommation élevée d'oxygène due à une biomasse surabondante se substitue à sa production photosynthétique diurne. [1].

II.7.2.7. Matières en suspension

Ce paramètre exprimé en mg/l correspond à la pollution insoluble, c'est-à-dire la totalité des particules solides véhiculées par les eaux résiduaires industrielles. Mesuré par peser après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C. Les procédés de séparation par filtration font appel, soit à des disques en fibres de verre, soit à des couches d'amiante.

La méthode par centrifugation est plus particulièrement réservée au cas où les méthodes par filtration ne sont pas applicables par suite d'un risque élevé de colmatage des filtres. [10].

II.7.2.8. La conductivité électrique

Paramètre non spécifique, la conductivité électrique d'une eau résiduaire (valeur) n'offre que peu d'intérêt, mais par contre, la variation de cette valeur dans une même agglomération et la comparaison avec celle de l'eau de consommation peut apporter des indications sur la charge polluante associée. [19].

II.7.3. Paramètres chimiques

II.7.3.1. Demande chimique en oxygène (DCO)

C'est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire qui correspond à la quantité des matières oxydables par oxygène renfermé dans un effluent.. Elle est mesurée par la consommation d'oxygène par une solution de dichromate de potassium en milieu sulfurique en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure II (complexant des chlorures), à chaud pendent 2h [10].

II.7.3.2. Demande biologique en oxygène (DBO_5)

Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques par les microorganismes du milieu. Mesurée par la consommation d'oxygène à 20°C à l'obscurité pendent 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablement ensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées. L'épuration biologique aérobie complète d'une eau résiduaire industrielle exige en fait un temps de 21 jours (DBO_{21} dite ultime) nécessaire pour l'oxydation des composés azotés biodégradables, ou de 28 jours sinon 35 jours, qui représentent le temps de dégradation de certaines familles d'hydrocarbures.

Le rapport DCO/DBO_5 est l'indice de la biodégradabilité d'une eau. Pour qu'une pollution soit dégradable le rapport est inférieur à 2,5. [4] [13] [21].

II.7.3.3. Carbone total organique COT

Le Carbone total organique détermine des propriétés variables du carbone organique dissous et particulaire, du carbone organique provenant de substances volatiles et du carbone minéral dissous. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO_2 à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon. [4]. [22].

II.7.3.4. Azote total NT

Exprimé en mg/l, ce paramètre devient de plus en plus important. Sa valeur globale dans les eaux résiduaires industrielles recouvre toutes les formes déjà citées. C'est la somme d'azote des formes réduites (organiques et ammoniacal) qui appelé azote de KJELDAL et l'azote des formes oxydées (NO_2^-, NO_3^-). (MIZI.A, 2006 ; [1].

II.7.4. Autres paramètres

II.7.4.1. Hydrocarbures

La mesure des hydrocarbures dans les eaux résiduaires industrielles constitue une opération souvent délicate. En effet, l'échantillonnage est fréquemment hasardeux, particulièrement lorsque les eaux résiduaires industrielles ne sont pas prélevées dans un réseau sous pression ou quand elles sont très chargées d'huiles. Par ailleurs, les valeurs obtenues lors du dosage réalisé sur un même échantillon est selon la méthode utilisée, car celle-ci se rapportent alors à la détection partielle ou totale de composés différents [10].

II.7.4.2. Micropolluants

Le terme micropolluant désigne un ensemble de substance qui, en raison de leur toxicité, de leur persistance et de leur bioaccumulation sont de nature à engendrer des nuisances même lorsqu'elles sont rejetées en très faibles quantités. Les principaux micropolluants sont :

- Certains métaux lourds et métalloïdes (Cd, Pb, Cr, Cu, ...Hg),
- Composés phénoliques, organohalogéniques, organophosphorés, huiles minérales, Hydrocarbures aromatiques polycycliques.
- Certains dérivés nitrés. [10].

II.8.- L'eau et les rejets réglementaires :

Différentes lois algériennes réglementent l'usage de l'eau et la protection du milieu naturel S'inscrivant dans une politique de développement durable.

- **PROTECTION DE L'EAU**

✓ Loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau [23].

- **REJETS D'HUILES**

✓ Décret exécutif n° 93-161 du 10 juillet 1993 réglementant le déversement des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel[24].

✓ Décret exécutif n° 04-88 du Aouel Safar 1425 correspondant au 22 mars 2004 portant réglementation de l'activité de traitement et de régénération des huiles usagées. [25].

REJETS INDUSTRIELS DEVERSENT AU RESEAU PUBLIC

✓ Décret exécutif n° 09-209 du 17 Joumada Ethania 1430 correspondant au 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration. [26].

.

Tableau N° II. 1: Valeurs limites des paramètres de rejet d'effluents industriels au réseau urbain [26].

Paramètres	Valeurs limites maximales (mg/l)
Azote global	150
Aluminium	5
Argent	0,1
Arsenic	0,1
Bérylium	0,05
Cadmium	0,1
Chlore	3
Chrome trivalent	2
Chrome hexavalent	0,1
Chromates	2
Cuivre	1
Cobalt	2
Cyanure	0,1
Demande biochimique en oxygène « DBO5 »	500
Demande chimique en oxygène « DCO »	1000
Etain	0,1
Fer	1
Fluorures	10
Hydrocarbures totaux	10
Matières en suspension	600
Magnésium	300
Mercure	0,01
Nickel	2
Nitrites	0,1
Phosphore total	50
Phénol	1
Plomb	0,5
Sulfures	1
Sulfates	400
Zinc et composés	2

*Température : inférieure ou égale à 30 °C
*PH : Compris en 5,5 et 8,5

- **REJETS INDUSTRIELS AU MILIEU NATUREL**

✓ Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

Les annexes du décret définissent les normes de rejet en général et celles accordées par dérogation à certaines industries plus polluantes [27].

Tableau N° II.2 : valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents industriels au milieu naturel[27].

N°	PARAMETRES	VALEURS LIMITES STANDARD (mg/l)	N°	PARAMETRES	VALEURS LIMITES STANDARD (mg/l)
	Paramètres physiques			**Métaux**	
1	Température	≤ 30° C	8	Aluminium	3 (Réseau 5)
2	pH	6,5 ≤ pH ≤ 8,5		Argent	NR (Réseau 0,1)
	Pollution organique biodégradable			Arsenic	NR (Réseau 0,1)
3	Matières en suspension	35		Béryllium	NR (Réseau 0,05)
6	Demande chimique en oxygène (DCO)	120	15	Cadmium	0,2 (Réseau 0,1)
7	Demande biochimique en oxygène (DBO_5)	35	19	Chrome total	0,5
	Azote global	Non réglementé		Chrome trivalent	NR (Réseau 2)
	Azote ammoniacal (NH_4^+)	Non réglementé		Chrome hexavalent	NR (Réseau 0,1)
4	Azote Kjeldahl (Norg + NH_4^+)	30		Chromates	NR (Réseau 02)
	Nitrites (NO_2^-)	Sans objet	16	Cuivre total	1
	Nitrates NO_3^-)	Non réglementé		Cobalt	NR (Réseau 2)
5	Phosphore total	10	10	Cyanure	0,1 (Réseau 0,1)
20	Graisses (MEH ou SEC)	20	20	Etain total	2 (Réseau 0,1)
	Chlorures (Cl-)	Non réglementé	24	Fer	3 (Réseau 1)
				Magnésium	NR (Réseau 300)
	Halogènes		21	Manganèse	1
25	Composés organiques chlorés	5	17	Mercure total	0,01 (Réseau 0,01)
	Chlore	(Réseau 3)	22	Nickel total	0,5 (Réseau 2)
11	Fluor et composés	15	18	Plomb total	0,5 (Réseau 0,5)
	Fluorures	(Réseau 10)	23	Zinc total	3
				Zinc et composés	(Réseau 2)
	Composés soufrés				
	Sulfures	1		**Hydrocarbures**	
	Sulfates	400	13	Hydrocarbures totaux	10
	Toxiques particuliers			**Autres**	
9	Substances toxiques bioaccumulables	0,005	12	Indice de Phénol	0,3
				Phénols	(Réseau 1)

- **LIMITE DE TOXICITE DES REJETS D'EFFLUENTS**

✓ *Décret exécutif n° 10-88 du 24 Rabie El Aouel 1431 correspondant au 10 mars 2010 fixant les conditions et les modalités d'octroi d'autorisation de rejets d'effluents non toxiques dans le domaine public hydraulique* [28].

- **REDEVANCES SUR LES REJETS INDUSTRIELS**

✓ *Décret exécutif n° 07-300 du 15 Ramadhan 1428 correspondant au 27 septembre 2007 fixant les modalités d'application de la taxe complémentaire sur les eaux usées industrielles*[29].

Chapitre II:

Modélisation de la Pollution

Les modèles de convection-diffusion sont couramment employés pour effectuer les études d'impacts. Ces modèles décrivent l'évolution de la concentration en matières solubles (traceur, polluant, sel, chaleur), conservatrices ou dégradables (biodégradation, dépôt sur le fond, échanges thermiques à travers des limites...), dans un champ de courants donné. Une matière peut réagir avec d'autres matières présentes dans le courant ou dans le milieu que le courant traverse (adsorption, absorption dans le sol). Les concentrations en matières transportées sont aussi sujettes à la diffusion dont les coefficients peuvent être déterminés soit par des mesures directes, soit par l'application d'un modèle d'écoulement turbulent.

II.1. Modélisation d'écoulement multiphasique et de transport en milieux poreux

Historiquement, les modèles d'écoulement multiphasique et de transport dans les milieux poreux ont été développés pour l'industrie pétrolière, dont le souci principal était la production d'huile et/ou de gaz et l'amélioration des techniques d'extraction. Au cours des deux dernières décennies, des chercheurs se sont intéressés au développement de modèles numériques pour mieux appréhender les mécanismes et les conditions de contaminations des milieux souterrains par les « Non Aqueuse Phase Liquide » NAPLs. Bien que les modèles de décontamination environnementale et ceux liés à la production pétrolière modélisent tous deux l'écoulement et le transport d'hydrocarbures dans les milieux poreux ; les résultats recherchés et les approches numériques utilisées diffèrent significativement. Les différences fondamentales entre ces deux types de modèles sont liées aux hypothèses faites sur la solubilité d'hydrocarbures dans la phase aqueuse, aux conditions aux limites et au traitement numérique de l'apparition et la disparition des phases. En effet, les modèles pétroliers ignorent le processus de dissolution d'hydrocarbures dans la phase aqueuse, qui est souvent une voix importante pour la contamination de l'eau souterraine ; de plus ils sont appliqués généralement à des aquifères profonds et confinés. Enfin, les pressions capillaires, la dispersion et la diffusion sont souvent négligées vu l'échelle de discrétisation utilisée dans ces modèles. Cependant, les scénarios de contaminations souterraines impliquent souvent des aquifères peu profonds, où le transfert de composés volatils vers l'atmosphère peut être important. Dans le cas de modèles de dépollution, une attention particulière est donnée au développement de méthodes numériques qui permettent l'apparition et la disparition du polluant, et une efficacité quantitative doit être assurée, ce qui n'est pas le cas dans les modèles pétroliers.

D'une manière générale, les modèles multiphasiques et multi constituants dans les milieux poreux résultent de la combinaison de trois principes physiques : l'équation de continuité, c'est à dire la conservation de la masse ; une loi de vitesse du fluide d'origine expérimentale, la loi de Darcy, qui correspond en mécanique des fluides classique aux équations de Navier-Stokes, et enfin des relations dites de fermeture (équations d'état des fluides, relations d'équilibres, relations constitutives, …). Le système d'équations qui en résulte est résolu par des techniques numériques développées pour les équations aux dérivées partielles.

II.1.1. Equations de conservation de masse

Considérons une formulation compositionnelle générale de l'écoulement et le transport multiphasique pour des systèmes comprenant Np phases et Nc espèces chimiques, dans laquelle les mécanismes tels que les forces de capillarité, les transferts de masses entre phases et le comportement complexe de phases peuvent être importants. Le terme « formulation compositionnelle » est utilisé pour signifier que la solution du problème recherchée comprend la composition (massique ou molaire) et la fraction volumique (ou saturation) de chaque phase en fonction de l'espace et du temps, et non seulement la fraction volumique.

Les équations de conservation en milieu poreux peuvent être écrites pour la masse, la quantité de mouvement, l'énergie et l'entropie. L'équation de conservation de la masse à l'échelle macroscopique (échelle du Volume Elémentaire Représentatif VER) pour une espèce i dans la phase β peut être écrite sous la forme suivante [27] :

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\theta_\beta \rho_\beta x_\beta^k\right) + \nabla \cdot \left(\mathbf{j}_\beta^k + \theta_\beta \rho_\beta x_\beta^k \mathbf{v}_\beta\right) + I_\beta^k + R_\beta^k + Q_\beta^k = 0 \qquad (1)$$

avec θ_β est la fraction volumique de la phase β ; ρ_β est la masse volumique de la phase β ; x^k_β $_\beta$ est la fraction massique de l'espèce *k* dans la phase β ; $j_B{}^k$ est un flux non advectif tenant compte du transport dispersif et diffusif de l'espèce *k* dans la phase β ; $\mathbf{v}_\beta$ est le vecteur vitesse de phase macroscopique (vitesse moyenne réelle) ; $I^k{}_b$ est un terme de transfert de masse entre phase traduisant l'ensemble des échanges possibles de l'espèce *k* entre les groupements binaires de phases ; $R^k{}_B$ est un terme général de réaction représentant les réactions chimiques et biologiques de l'espèce *k* dans la phase β ; $Q_B{}^K$ est un terme source représentant l'apport de masse de l'espèce *k* depuis l'extérieur.

En vertu de la définition de la fraction massique d'un constituant et du degré de saturation, l'équation (1) est soumise aux contraintes suivantes :

$$\sum_{k=1}^{N_c} x_\beta^k = 1 \qquad (2.1)$$

$$\sum_{\beta=1}^{n_p} \theta_\alpha = 1 \qquad (2.2)$$

En partant de l'équation (1), on peut développer une équation de bilan de masse soit pour une phase β en sommant sur tous les constituants présents dans cette phase, soit pour un constituant *k* en sommant sur toutes les phases. La plupart des modèles mathématiques décrivant l'écoulement et le transport en système multiphasique utilise l'une des deux approches.

II.1.2. Modèle d'écoulement des fluides non miscibles

Les équations générales de l'écoulement simultané de plusieurs fluides non miscibles dans un milieu poreux sont obtenues en sommant l'équation (1) sur l'ensemble des espèces présentes dans une phase β et en supposant qu'il y a ni échanges de masse entre phases ni réactions chimiques. Sachant que la somme des termes de dispersion s'annule parce qu'ils décrivent le mouvement relatif des constituants au sein d'une phase, l'équation (1) devient

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta_\beta \rho_\beta) + \nabla \cdot (\theta_\beta \rho_\beta \mathbf{v}_\beta) + Q_\beta = 0 \qquad (3)$$

avec Q_β représente le terme puits/source de la phase β, il est définit par la relation suivante :

$$\sum_{k=1}^{N_c} Q_\beta^k = Q_\beta \qquad (4)$$

L'équation (3) décrit l'écoulement de trois phases fluides non miscibles (eau, polluant, air). Ce système d'équations est parfois réduit à deux équations en supposant que la pression de l'air est constante et égale à la pression atmosphérique [30].

II.1.3. Modèle de transport avec échanges entre phases

En sommant l'équation (1) sur toutes les phases, la somme des termes de transfert de masse entre phases s'annule parce que la masse perdue dans une phase par l'échange interphase est comptabilisée en même temps par une autre phase. L'équation de conservation de masse pour chaque constituant k présent en système multiphasique est ainsi obtenue :

$$\sum_{\beta=1}^{N_p}\left[\frac{\partial}{\partial t}\left(\theta_\beta \rho_\alpha x_\alpha^k\right)\right]+\sum_{\beta=1}^{N_p}\left[\nabla\cdot\left(\mathbf{j}_\beta^k+\theta_\beta\rho_\beta x_\beta^k\mathbf{v}_\beta\right)\right]+R^k+Q^k=0 \qquad (5)$$

où Qk est le terme puits/source de l'espèce k et Rk est le terme de réactions chimiques de l'espèce k. L'équation (5) représente la formulation mathématique généralement utilisée pour modéliser le transport multiconstituant en système multiphasique.

Dans les équations (1), (3) et (5), β symbolise d'une façon générale toute phase présente dans le VER du milieu poreux. La plupart des modèles conceptuels désignent quatre phases : aqueuse (w), NAPL (o), gazeuse (g), solide (*s*). Dans le cas où le milieu poreux serait rigide, c'est-à-dire que sa porosité ne change pas en fonction du temps, trois phases fluides mobiles sont considérées dans le VER, à savoir : aqueuse (*w*), NAPL (*o*) et gazeuse (*g*) ; la phase solide n'interviendra que dans le terme de transfert de masse interphase. Dans ce cas particulier, la vitesse moyenne $\mathbf{v}_\beta$ est remplacée par $v_\beta = u_\beta / \theta_\beta$ et la fraction volumique θ_β est ainsi substituée par $\theta_\beta = \varepsilon S_\beta$ où ε est la porosité effective du milieu poreux, S_α est le degré de saturation de la phase β et u_β est le vecteur de la vitesse de filtration de la phase β (vitesse de Darcy).

Généralement, l'équation de conservation de la quantité de mouvement n'est pas utilisée dans la formulation des modèles multiphasiques. Elle est substituée par la loi de Darcy écrite sous forme multiphasique. La relation entre cette approche et celle de la conservation de la quantité de mouvement (Navier Stokes) a été établie pour des écoulements monophasiques à faible nombre de Reynolds [30]; toutefois son extension aux écoulements multiphasiques n'est pas rigoureusement démontrée. Ainsi, la vitesse macroscopique d'une phase donnée dans les équations (3) et (5) est fournie par l'équation de Darcy généralisée, exprimée en fonction des pressions et saturations :

$$\mathbf{v}_\beta=-\frac{\overline{\overline{K}}\cdot k_{r\beta}}{\theta_\beta\cdot\mu_\beta}\cdot\left(\nabla p_\beta-\rho_\beta\mathbf{g}\right) \qquad (6)$$

où *K* est le tenseur de perméabilité intrinsèque du milieu poreux, $k_{r\beta}$ est la perméabilité relative de la phase β, μ_β est la viscosité dynamique de la phase β, P_β est la pression de la phase β et **g** représente l'accélération gravitationnelle.

La résolution des équations (3) et (5) nécessite en premier lieu le choix des variables primaires. Le choix des variables primaires est spécifique à chaque formulation, et est différent d'un modèle à l'autre. D'une manière générale, les variables primaires peuvent être

les saturations des phases, les pressions de phase ou une combinaison de saturations et de pressions. Dans le cas de l'équation (5), les fractions massiques peuvent s'ajouter aux variables primaires.

La résolution du système d'équation nécessite ensuite la connaissance des conditions initiales et aux limites de toutes les variables primaires, des paramètres hydrogéologiques en fonction de l'espace et des propriétés physico-chimiques des fluides. Etant donné que les perméabilités relatives, les masses volumiques et les viscosités des fluides peuvent dépendre des variables primaires, les équations (3) et (5) sont non linéaires est doivent être complétées par la formulation des relations constitutives (perméabilités relatives, pression capillaire, …) décrivant les interactions des phases fluides à l'échelle du VER.

Le système d'équations de conservation décrit ci-dessus est dit « fermé » si est seulement si le nombre d'équations est égal au nombre d'inconnues recherchées. Cette fermeture est accomplie par l'écriture des équations d'état relatives aux propriétés des phases et des relations constitutives.

II.2. Relations de fermeture

La capacité de calcul actuelle ne permet pas la résolution des problèmes d'écoulement multiphasique et de transport en milieux hétérogènes, vu le grand nombre d'équations qu'il faudrait résoudre simultanément. D'où la nécessité de l'utilisation d'un certain nombre d'hypothèses permettant de réduire la complexité du système à résoudre.

Les principales hypothèses utilisées dans les modèles compositionnels sont les suivantes :

(1) la phase solide est immobile ($V_S = 0$), ce qui permet d'éliminer trois inconnues et le besoin de décrire ce mouvement par des relations constitutives.

(2) la phase solide peut être considérée inerte dans le cas où les interactions géochimiques entre la phase solide et les phases fluides seraient très faibles.

(3) certains constituants peuvent être négligés du fait qu'ils n'ont pas un rôle important dans le système et n'affectent pas la solution, ceci réduit le nombre d'inconnues et d'équations

(4) les constituants pertinents dans le système peuvent être représentés par des « pseudo-espèces» en combinant les espèces ayant des caractéristiques physico-chimiques similaires ; cette procédure peut être utilisée par exemple pour représenter correctement un mélange complexe d'hydrocarbures contenant plus de 100 espèces par 10-50 pseudo- espèces seulement.

(5) l'équilibre local est une hypothèse communément utilisée dans les modèles multiphasiques et compositionnels **[31]**, néanmoins sa validité a été fréquemment mise en question. Elle est

justifiée par le fait que le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre est court en comparaison à la vitesse du transport. Cette hypothèse stipule que la connaissance de la concentration dans une phase donnée implique sa connaissance dans les autres phases.

II.2.1. Equations d'état

Les équations d'état expriment la relation d'équilibre entre la pression, le volume et la température pour les fluides. Ces relations sont généralement basées sur des modèles thermodynamiques d'origine empirique [31]. Elles se présentent en général sous la forme suivante :

$$\rho_\beta = \rho_\beta\left(p_\beta, T_\beta\right) \tag{7}$$

avec P β , T β sont respectivement la pression et la température de la phase β.

Dans des systèmes où la variation de la composition est faible (exp. systèmes dilués), l'équation d'état peut s'écrire :

$$\rho_\beta = \rho_\beta\left(p_\beta, T_\beta, x_\beta^k\right) \quad \text{pour} \quad k = 1, \cdots, N_c \tag{8}$$

De plus, pour un système en équilibre thermique à l'échelle locale, l'équation d'état peut s'exprimer par :

$$\rho_\beta = \rho_\beta\left(p_\beta, T\right) \tag{9}$$

Où pour un système dilué et isotherme par

$$\rho_\beta = \rho_\beta\left(p_\beta\right) \tag{10}$$

II.2.2. Relations pression-saturation-perméabilité

La dépendance de la pression capillaire pour un couple de phases (w, o) en fonction de la saturation est formulée par la relation pression capillaire-saturation Pc (Sw) = P0 − Pw . On exprime aussi la dépendance de la perméabilité relative de la phase β par rapport à la saturation par une relation perméabilité relative-saturation Krβ (SB). Les relations pression saturation-perméabilité p-S-k peuvent être déterminées par des expériences de laboratoire pour un milieu poreux donné. Ces relations obtenues à l'échelle de 10-2 m à 100 m [32]. Ils sont ensuite appliqués à l'échelle qui nous intéresse. Plusieurs aspects importants de ces relations constitutives qui caractérisent les propriétés essentielles du système doivent être

considérés : (1) la variation des échelles étudiées, (2) l'échelle et les conditions dans lesquelles ces relations ont été obtenues, (3) l'échelle de mesure et d'identification des paramètres, (4) l'échelle d'applications et (5) la consistance mathématique de ces relations. Cependant, il faut souvent appliquer les relations constitutives à des échelles plus grandes car les ressources de calcul disponibles actuellement ne permettent pas de discrétiser les modèles d'écoulement multiphasique à des échelles comparables à celles auxquelles elles ont été dérivées. Il n'est pas raisonnable d'appliquer des relations constitutives développées pour des systèmes homogènes de petite échelle à des systèmes hétérogènes qui sont plus grands de plusieurs ordres de grandeur. Ceci est pourtant une pratique courante pour la modélisation des systèmes multiphasiques.

Les modèles mathématiques pour les relations *p-S-k (*pression capillaire-saturation de sole-Perméabilité*)* peuvent être classés selon les catégories suivantes : (1) les modèles pression-saturation (*p-S*), (2) les modèles de saturation-perméabilité relative (*S-k*) et (3) les modèles hystérétiques pour les relations *p-S* et *S-k*. Ces modèles sont considérés pour des systèmes diphasiques et triphasiques.

Dans la littérature, il existe différentes expressions empiriques ou semi-empiriques qui fournissent une relation entre la pression capillaire ou la perméabilité relative avec les propriétés des fluides, des milieux poreux et la saturation de l'eau.

Les formulations *p-S* les plus fréquemment employées pour caractériser un système diphasique, composé d'une phase mouillante (*w*) et une phase non mouillante (*n*) (exp. eau/air, eau/huile), [32]. [35]. Ils font intervenir des paramètres qui tiennent compte de la géométrie et l'interconnectivité des pores et de la distribution de la taille des pores.

La formulation mathématique du modèle de Brooks et Corey est donnée par

$$\begin{aligned} \overline{S}_w &= \left(\frac{p_d}{p_{cow}}\right)^{\lambda} \quad \text{pour} \quad p_{cow} > p_d \\ &= 1 \qquad\quad \text{pour} \quad p_{cow} \le p_d \end{aligned} \tag{11}$$

et de van Genuchten par

$$\begin{aligned} \overline{S}_w &= \left(1 + (\alpha p_{cow})^n\right)^{-m} \quad \text{pour} \quad p_{cow} > 0 \\ &= 1 \qquad\qquad\quad \text{pour} \quad p_{cow} \le 0 \end{aligned} \tag{12}$$

avec $m = 1 - 1\ n$; $S_w = (Sw - S_{wr})/(S_{ws} - S_{wr})$ est la saturation effective de la phase mouillante ; *Sws* est la saturation maximale de la phase mouillante qui est égale à 1 si la saturation résiduelle de la phase non mouillante est nulle ; *Swr* est la saturation résiduelle ou irréductible de la phase mouillante ; $p_{cow} = p_o - p_w$ est la pression capillaire entre la phase mouillante (*w*) et celle non mouillante (*o*) ; p_d est la pression d'entrée ou pression seuil qui est la pression que doit exercer la phase non mouillante pour déplacer la phase mouillante . Les paramètres α ,*n*, *m* et λ caractérisent le milieu poreux. [30]. proposent une relation de conversion entre les paramètres de [32]. .

Les pressions capillaires diphasiques huile/eau et air/huile peuvent être exprimés en fonction de la pression capillaire air/eau en appliquant le principe de similitude [33]et en utilisant les tensions interfaciales air/eau, air/huile et huile/eau :

Arrange les indices dans tes formules comme je l'ai fais en vert,,et ecris avec la pomice 12

$$p_{cow}(\bar{S}_w) = \frac{1}{\beta_{ow}} \cdot p_{cgw}(\bar{S}_w) \quad (13)$$

$$p_{cgo}(\bar{S}_o) = \frac{1}{\beta_{ow}} \cdot p_{cgw}(\bar{S}_w) \quad (14)$$

avec $\beta_{ow} = \sigma^{\circ}_{gw} / \sigma_{ow}$ et $\beta_{go} = \sigma^{\circ}_{gw} / \sigma_{go}$ sont des facteurs de similitude pour les systèmes fluides huile/eau et air/huile, σ_{gw} , σ_{ow} et σ_{go} sont les tensions interfaciales air/eau, huile/eau et air/huile.

Bien que les modèles de Brooks et Corey et de van Genuchten ont été développés au départ pour des systèmes diphasiques, Leverett (1941) était le premier à proposer l'idée d'étendre la relation *p-S* diphasique pour des systèmes triphasiques. En effet, Leverett a supposé que la saturation liquide totale de la phase aqueuse et organique $S_t = S_w + S_o$ est fonction de la courbure de l'interface gaz-liquide, indépendamment de la composition en fluides dans la phase liquide en système multiphasique. En utilisant cette hypothèse, [31]. ont étendu le modèle de Van Genuchten à un système triphasique (phase aqueuse *w*, phase gazeuse *g*, phase liquide non aqueuse *n*) :

$$\begin{aligned}
\overline{S}_w^{gow} &= \left[1+(\alpha_{ow}p_{cow})^n\right]^{-m} \quad \text{pour} \quad p_{cow} > 0 \\
&= 1 \qquad\qquad\qquad\quad \text{pour} \quad p_{cow} \le 0 \\
\overline{S}_t^{gow} &= \left[1+(\alpha_{go}p_{cgo})^n\right]^{-m} \quad \text{pour} \quad p_{cgo} > 0 \\
&= 1 \qquad\qquad\qquad\quad \text{pour} \quad p_{cgo} \le 0
\end{aligned} \tag{15}$$

$$\text{avec } \overline{S}_a^{gow} = \frac{S_w^{gow} - S_{wr}}{1 - S_{wr}} \;,\; \overline{S}_t^{gow} = \frac{S_t^{gow} - S_{wr}}{1 - S_{wr}} \;,\; S_t^{gow} = S_w^{gow} + S_o^{gow}$$

Les relations *S-k* sont exprimées par la perméabilité relative à la phase β, $k_{r\beta}$. [32]. a obtenu expérimentalement les relations *S-k* pour plusieurs types de sols en système diphasique. La perméabilité relative de la phase mouillante est donnée par

$$k_{rw} = \overline{S}_w{}^4 \tag{16}$$

et de la phase non mouillante par

$$k_{row} = \left(1 - \overline{S}_w\right)^2 \left(1 - \overline{S}_w{}^2\right) \tag{17}$$

Mualem et Parker et al. [30]. ont développé des modèles statistiques pour les relations diphasiques *S-k* permettant de tenir compte des propriétés physiques du milieu poreux et la distribution de tailles des pores à travers les relations *p-S* mesurées.

Un exemple de cette approche statistique est le modèle de perméabilité-saturation de Brooks et Corey qui a été obtenu en appliquant le modèle de Burdine avec la relation *p-S* de Brooks et Corey. Ce modèle est donné par les relations *S-k* suivantes :

$$k_{rw} = \overline{S}_w{}^{\frac{2+3\lambda}{\lambda}} \tag{18}$$

$$k_{row} = \left(1 - \overline{S}_w\right)^2 \left(1 - \overline{S}_w{}^{\frac{2+\lambda}{\lambda}}\right) \tag{19}$$

De la même manière, le modèle de perméabilité-saturation de van Genuchten est obtenu en combinant le modèle statistique de [32]. avec la relation *p-S* de [34]. .

Il est exprimé par les relations suivantes :

$$k_{rw} = \overline{S}_w{}^{l}\left[1-\left(1-\overline{S}_w{}^{\frac{1}{m}}\right)^{m}\right]^{2} \quad (20)$$

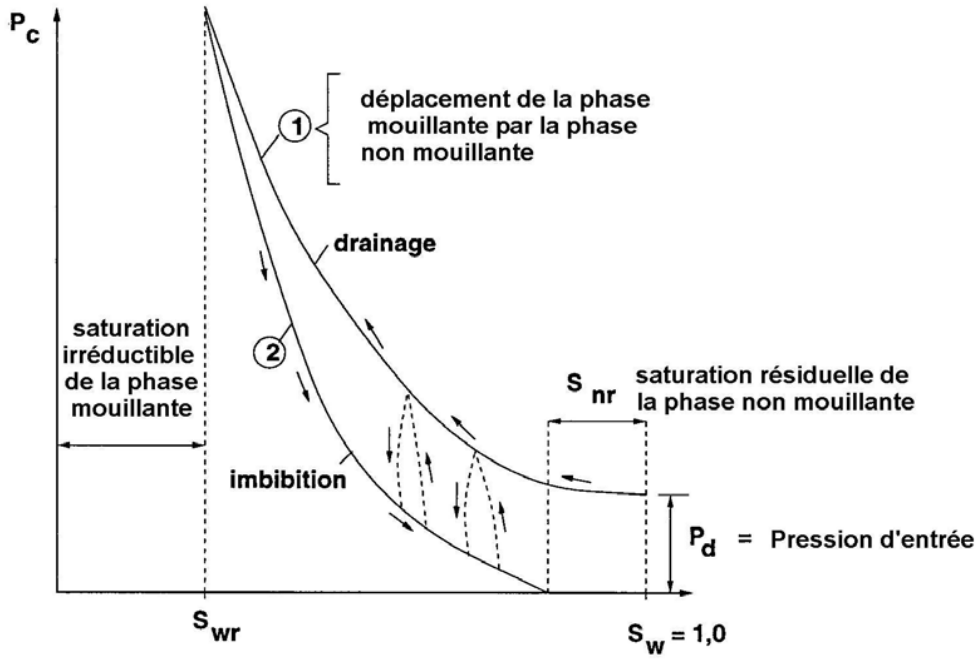
$$k_{row} = \left(1-\overline{S}_w\right)^{\gamma}\left[1-\overline{S}_w{}^{\frac{1}{m}}\right]^{2m} \quad (21)$$

Avec l et γ sont des paramètres qui décrivent la connectivité des pores ; les valeurs l = 1, 2 et γ = 1, 3 sont généralement utilisées.

La difficulté de déterminer à l'aide de mesures expérimentales les relations *S-k* triphasiques a incité plusieurs chercheurs à développer des méthodes pour prédire ces relations à partir des mesures effectuées pour des systèmes diphasiques [34]. [33]. ont étendu le modèle *S-k* de van Genuchten en se basant sur le modèle *p-S* de [30]. à un système triphasique.

Les relations de pression capillaire et perméabilité relative présentent des phénomènes d'hystérésis avec la saturation suivant qu'il s'agit d'une imbibition ou d'un drainage du milieu poreux (figure N°I. **I.1**). L'effet d'hystérésis dans les relations *p-S* et *S-k* est le résultat de :

(1) les effets à l'échelle de pore liés à l'hystérésis de l'angle de contact et à ce qu'on appelle l'effet de la « bouteille d'encre » et (2) piégeage de la phase non mouillante durant l'inversion de l'écoulement. Les modèles à hystérésis les plus connus rencontrés dans la littérature sont ceux de Scott et al. [30]. et [35]. Ces modèles utilisent les paramètres calés du modèle de van Genuchten sur les courbes primaires d'imbibition et de drainage. Le modèle de Scott et al. ne tient pas compte du piégeage de la phase non mouillante alors que le modèle de [33]. qui est plus compliqué, incorpore les effets de l'échelle des pores et le piégeage de la phase non mouillante. Comme pour les modèles sans hystérésis, les modèles à hystérésis *p-S* triphasiques ont été dérivés à partir des relations diphasiques [35]. Des relations *S-k* à hystérésis ont été développées par Lenhard et Parker en combinant une relation *p-S* à l'hystérésis avec un modèle *S-k* corrigé de [30]. pour tenir compte des effets du piégeage de fluides.



FigureN° I.1 : Courbes de pression capillaire en fonction de la saturation : effet d'hystérésis

En pratique, l'utilisation des relations *p-S-k* sans hystérésis reste toujours la norme car moins de données et de ressources de calculs sont requises. L'hystérésis peut être négligé pour modéliser les réservoirs pétroliers, car le plus souvent le déplacement de la phase huile par la phase aqueuse se fait sans inversion du sens de l'écoulement. Cependant, dans les scénarios de décontaminations souterraines, le sens de l'écoulement change souvent. Lenhard [36]. a montré qu'une erreur sur la saturation en fluide pouvait aller jusqu'à la moitié du volume de pore peut être commise si l'on néglige le phénomène d'hystérésis dans l'algorithme de prédiction de la distribution de la saturation en fluide avant et après la contamination.

II.2.3. Techniques de résolution numériques

les équations (1), (3) et (5) sont généralement des équations de type paraboliques, et deviennent hyperboliques dans le cas d'un flux de masse purement convectif. Dans la plupart des cas, la mise en œuvre de ces modèles mathématiques nécessitent une résolution qui est plus au moins précise selon le type d'équation. Pour résoudre une équation parabolique/elliptique, les méthodes des différences finies, des éléments finis, des volumes finis ou des éléments finis mixtes sont les plus fréquemment utilisées.

Ces méthodes classiques ne sont pas adaptées pour traiter une équation hyperbolique et peuvent ne pas être suffisamment précises selon les données du milieu naturel (milieux

hétérogènes, champ de vitesse avec forts contrastes, dimensions du domaine trop grandes compte tenu de la discrétisation, ...). Dans le cas d'un écoulement multiphasique en l'absence de capillarité, les fronts d'infiltration sont alors décrits à l'aide des caractéristiques. Les méthodes Lagrangiennes qui sont spécialement conçues pour résoudre ce type d'équation, calculant la solution par projection le long des caractéristiques. Ces dernières permettent d'utiliser des pas de temps relativement grands.

Vers la fin des années 1970, et pendant les années 1980, des méthodes originales ont été développées permettant de réaliser un calcul plus performant du champ de vitesses (éléments finis mixtes) et de réduire les problèmes de diffusion numérique (éléments finis discontinus).

Le système d'équations non linéaire (3) ou(5), décrivant l'écoulement multiphasique ou le transport des constituants en système multiphasique est linéarisé par des méthodes itératives. Deux méthodes sont généralement utilisées : la méthode de Picard et la méthode de Newton-Raphson.

La méthode de Picard est simple à mettre en œuvre et relativement robuste. Néanmoins, elle ne converge que linéairement ce qui lui confère deux handicaps : un temps de calcul qui peut être très long et des difficultés de convergence près de la solution.

La méthode de Newton-Raphson utilise un processus itératif identique à celui utilisé dans la méthode de Picard, et nécessite le calcul de plusieurs dérivées de matrices. Elle a l'avantage de converger de façon quadratique, c'est à dire plus rapidement près de la solution [33].

II.2.4. Les modèles multiphasiques dans la littérature

Dans cette section, nous donnerons un aperçu sur les travaux de modélisation les plus pertinents. Les modèles d'écoulement multiphasique et de transport peuvent être classés en trois groupes selon les approches de modélisation utilisées [34]. : (1) les modèles d'écoulement diphasique à interface raide sans effets de pression capillaire ou modèles de Buckley-Leverett, (2) les modèles d'écoulement immiscible avec capillarité, et enfin (3) les modèles de transfert de masse entre phases ou modèles compositionnels. Nous allons par la suite nous intéresser plus particulièrement aux modèles du troisième groupe.

L'application d'un modèle numérique aux problèmes de pollutions à l'échelle du terrain passe nécessairement par une validation sur une variété d'expériences de laboratoire.

[32]. ont simulé le transport de composés organiques volatils (COV) dans un milieu poreux partiellement saturé. Dans ce modèle, deux équations d'écoulement respectivement pour les phases aqueuse et gazeuse ont été résolues en tenant compte de l'effet

de densité dans la phase gaz. De plus, le transfert de masse entre phases par dissolution, volatilisation et partage eau/gaz a été représenté par des expressions de cinétique de premier ordre, dans lesquelles le flux de masse est proportionnel à la différence entre la concentration d'équilibre et la concentration actuelle. Les constantes de proportionnalité sont des coefficients de transfert qui reflètent la contribution de la géométrie du milieu poreux et la distribution des phases dans ce milieu.

[35]. ont étudié la volatilisation d'une source de NAPL et le transport des vapeurs dans la phase gazeuse en milieu poreux. Les équations de conservation de la masse pour l'air et les vapeurs ont été résolues en considérant les phases gaz et NAPL mobiles et la phase aqueuse immobile. Le transfert de masse entre phase est simulé en utilisant l'hypothèse de l'équilibre local. [35]. ont développé un modèle pour le transport de plusieurs espèces organiques dans un système triphasique. Dans ce modèle, deux équations d'écoulement respectivement pour la phase aqueuse et organique ont été résolues simultanément en supposant les gradients de pression en gaz négligeables. Les densités des phases liquides (eau, NAPL) en fonction des compositions des phases en constituants sont supposées être constantes sur un pas de temps, et sont recalculées à la fin de chaque pas de temps. Les équations de transport des constituants ont été résolues séquentiellement après le calcul de l'écoulement en utilisant l'hypothèse d'équilibre local.

[33]. ont simulé le transport advectif/dispersif de vapeurs de composés volatils organiques denses dans la zone non saturée en utilisant une géométrie cylindrique. Ils ont négligé le transport dans la phase aqueuse et la source de pollution a été représentée par des concentrations fixes.

Mendoza et [35]. ont modélisé le transport de trichloroéthylene d'une source de pollution en zone non saturée et la dissolution dans l'eau souterraine. Un modèle robuste a été mis en œuvre par le découplage des solutions du transport dans la zone non saturée et la zone saturée. Les deux solutions sont raccordées par des conditions aux limites au niveau du toit la nappe.

Plus récemment, des efforts considérables ont été fournis pour essayer de s'affranchir des hypothèses utilisées dans les modèles précédents. Cependant, la mise en œuvre de modèles de transport cinétique en présence de trois phases, plusieurs constituants, en conditions non isothermes et avec une résolution purement implicite semble actuellement difficilement réalisable, d'où le besoin constant d'utiliser des hypothèses simplificatrices et de faire des compromis.

Falta et al. ont étendu leur modèle précédent non compositionnel en considérant l'écoulement de la phase aqueuse et en résolvant simultanément quatre équations de transport
(y compris une équation pour la conservation de l'énergie). L'hypothèse de l'équilibre local a permis la fermeture du système et les propriétés physico-chimiques des fluides ont été calculées en se basant sur la méthode des équations d'état de Reid et al, [35].). Les transitions de phase (*ex.* passage d'un système triphasique à un système diphasique et vice versa), et en particulier l'apparition et la disparition de phases ont été traitées numériquement par des schémas permettant la substitution des variables primaires. Le nombre de combinaisons de phases a été limité en appliquant les techniques du minimum résiduel aux phases gazeuse et aqueuse, ce qui a conduit pour un système triphasique à deux combinaisons de phase correspondantes à deux jeux de variables primaires.

[33]. ont étudié la contamination et la remédiation en milieu souterrain avec un modèle compositionnel permettant l'écoulement simultané des phases aqueuse, NAPL et gazeuse sous des conditions isothermes. Les transitions de phase ont été possibles pour le NAPL et la phase gazeuse avec un schéma de substitution des variables primaires permettant de maintenir une saturation minimale en phase aqueuse. Cette approche a conduit à quatre conditions de phases possibles, associées respectivement à quatre jeux de variables primaires.

Partie Pratique

Chapitre I :

Présentation de la zone d'étude

I-1- Situation géographique :

Oued El Harrach est l'un des principaux cours d'eau qui traverse la wilaya d'Alger dont le bassin versant couvre une superficie totale de 1200 km^2 comprenant toutes les zones administratives du centre de la wilaya d'Alger et certaines communes de la wilaya de Blida. Le bassin versant est divisé en trois régions distinctes dont la superficie est constituée de 600 km^2 de la wilaya de Blida, de 100 km^2 de sahel et de 500 km^2 de la plaine de Mitidja. Il abrite une population d'environ 3 millions d'habitants. Dans la wilaya d'Alger, Oued El Harrach parcourt environ 18 km jusqu'à son embouchure en Méditerranée.

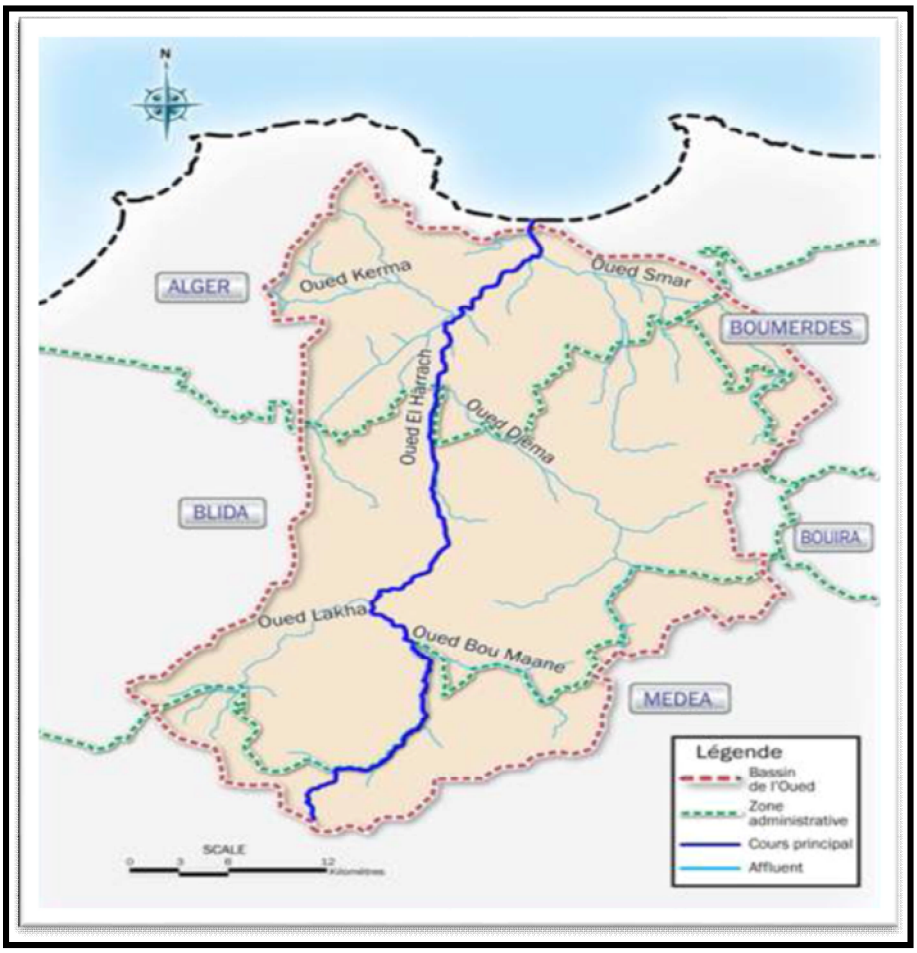


Figure N° I.1. : Carte du Bassin versant de l'Oued El Harrach.

I-2- Milieu physique :

I-2-1- Géologie :

Le Nord de l'Algérie est délimité par les éléments suivants :

- ✓ au Sud : l'Atlas saharien, une chaîne de montagnes d'origine alpine,

- ✓ au centre : des plates-formes comme la Meseta Oranaise à l'ouest et le môle d'Ain Regada à l'est,
- ✓ dans la partie septentrionale, l'Atlas Tellien, zone complexe constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur. Des bassins néogènes tardifs comme le Chétif et le Hodna se sont installés sur ces nappes.

La carte donnée dans la figure N°I.2 représente de manière synthétique les principales unités géologiques de l'Algérie du Nord.

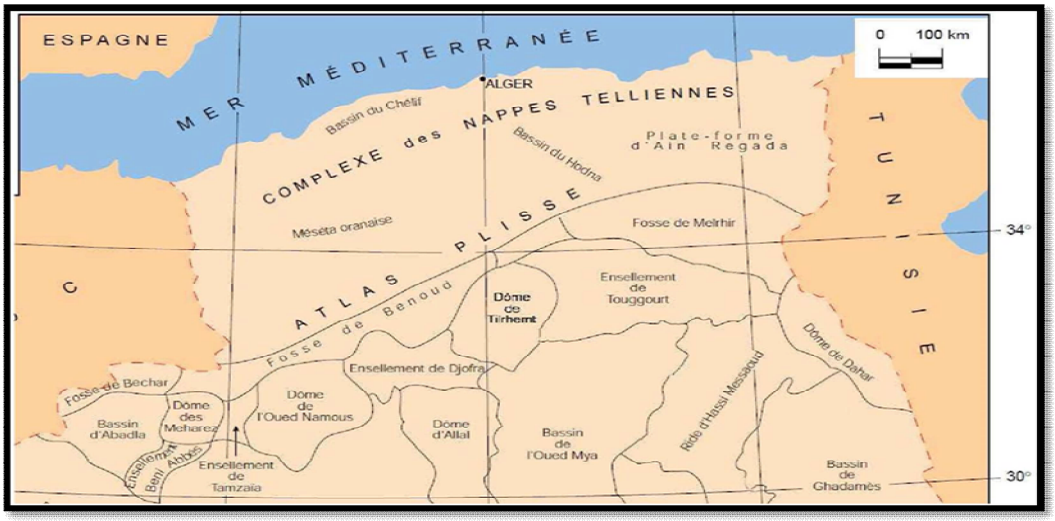


Figure N°I.2. : Carte des unités géologiques de l'Algérie du nord.
Source : Direction des Ressources Hydrauliques et de l'Economie de l'Eau (DRHEE).

L'oued El Harrach est situé dans la partie septentrionale de la chaîne Tellienne, dans la plaine sub-côtière à l'aval de la région de la Mitidja. Il traverse pour l'essentiel des formations Quaternaires et du Pliocène constituées essentiellement de limon, d'alluvions sables et de cailloutis. Cependant, proche de ses rives, on peut observer des marnes (marnes de la Maison Carrée) ainsi que des calcaires grès et poudingues "de l'oued Ouchaia".

I-2-2- Topographie :

Alger se situe au point de convergence de grandes régions géographiques derrière l'Atlas Blidéen qui surplombe la plaine de la Mitidja. A l'Ouest d'Alger, celle-ci s'étend sur une longueur de 100 Km environ et une largeur de 15 Km, totalisant une superficie de 135000 ha, dont 87% sur de faibles pentes (0 à 3 %).

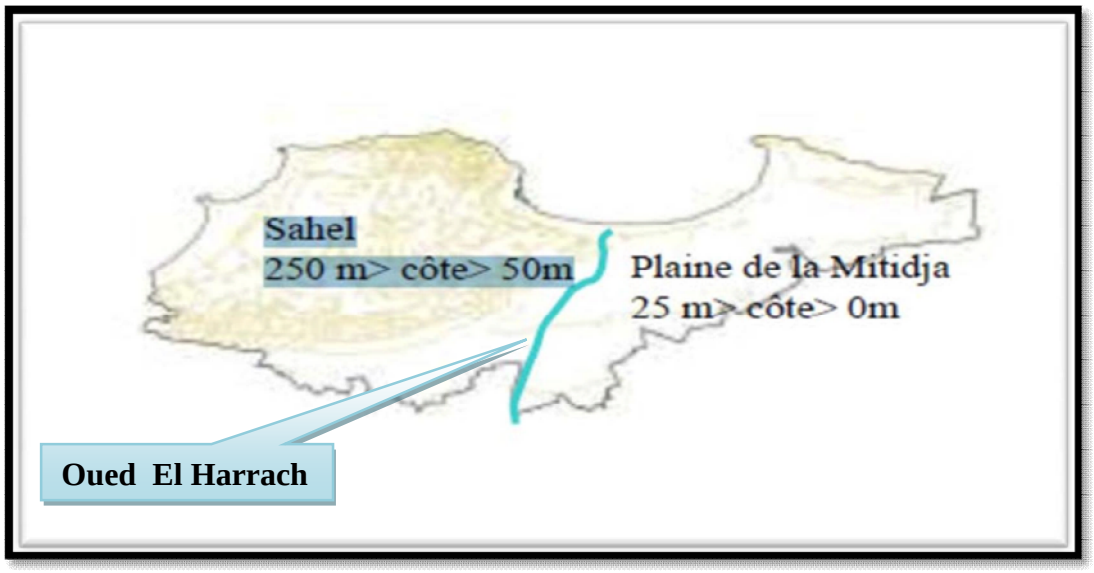


Figure I.3.: Alger, Bassins versants intérieurs et relief.

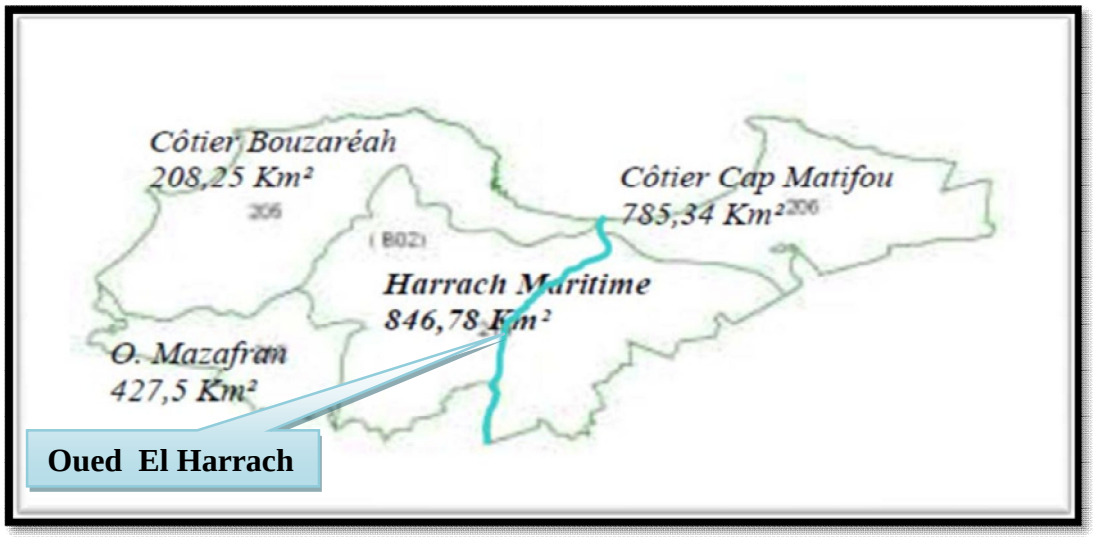


Figure I.4.: Alger, Bassins versants intérieurs et relief.
Source : Fond de carte Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH)

I-2-3- Climat :

Comme la zone d'étude est dépourvue de station météorologique, l'analyse des paramètres climatiques est basée sur les données de la station la plus proche, celle de Dar El Beida présentant les mêmes caractéristiques de la région d'étude.

- **Caractéristiques de la station de référence (Dar El Beida) :**

Indicatif	*390*
Latitude	*36°41*
Longitude	*03°13E*
Altitude	*25 m*

Les principaux paramètres météorologiques se présentent comme suit :

I-2-3-1- Les précipitations (P) :

Les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations sont regroupées dans le tableau N°I.1.

Tableau N°I.1 : Moyennes mensuelles et annuelle des précipitations.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M.A
P (mm)	73,56	54,27	45,47	48,66	29,15	5,80	4,50	9,50	26 ,99	51,12	89,37	77,80	516,19

Période1994-2008

Ce tableau montre que la valeur maximale des précipitations est enregistrée au mois de Novembre qui est de 89,37 mm, tandis que le minimum est atteint au mois de Juillet avec une valeur de 4,5 mm. La pluviométrie moyenne annuelle pour cette station est de 516,19 m. Les variations des précipitations au niveau de notre zone d'étude durant la période 1994 à 2008 se présentent sur le graphe suivant :

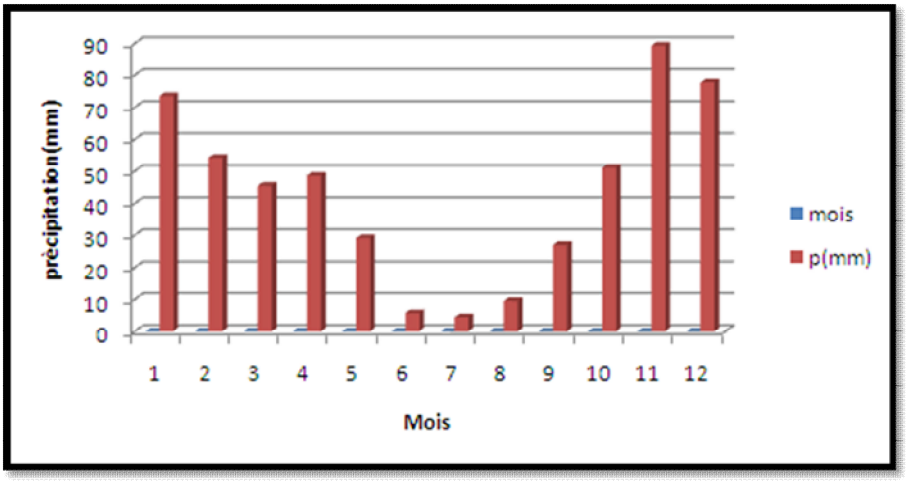


Figure N°I-5: Moyennes mensuelles et annuelle des précipitations.

I-2-3-2- La température:

Les valeurs de température mensuelles et annuelles sont données dans le tableau N°I.2.

Tableau N°I.2: Moyennes mensuelles et annuelles des températures

Période : 1994-2008

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M.A
T max	16,95	17,59	19,87	21,73	25,07	29,06	31,8	32,64	29,55	26,54	20,9	17,83	24,13
T moy	10,82	10,79	13,37	15,34	18,93	22,84	24,75	26,34	23,43	20,26	14,91	11,18	17,75
T min	7,58	5,24	6,62	8,18	11,66	15,27	17,7	19,03	16,39	13,47	8,72	6,42	11,36

Source : *ONM*

Les données montrent que la température diminue pendant les trois mois d'hiver (décembre, janvier, février) et atteint un minimum de 10,82 °C en janvier, elle augmente pendant les mois d'été (juin, juillet, août, septembre) et atteint le maximum de 26,34°C en août. La moyenne annuelle est de 17,75°C.

La proximité de la mer a une influence directe sur le climat, ainsi la forte chaleur est rafraîchie et humidifiée par la brise d'été et la mer réchauffe la terre pendant les hivers rigoureux. Les variations des températures au niveau de notre zone d'étude durant la période 1994 à 2008 sont représentées sur le graphique suivant :

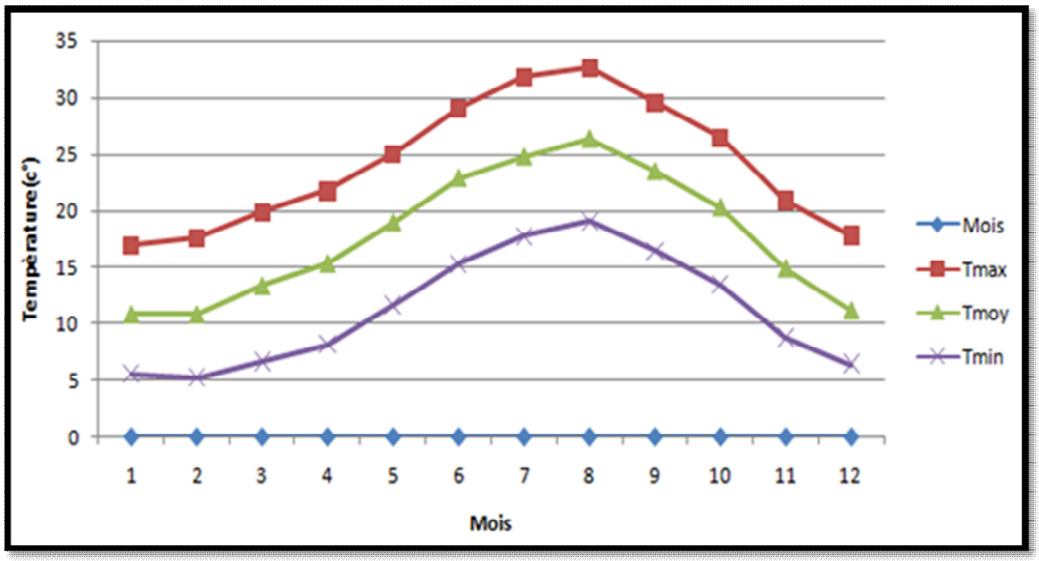


Figure N°I-6: Moyennes mensuelles des températures.

I-2-3-3- L'évaporation

Le tableau ci-dessous montre que l'évaporation est importante en été. Elle atteint son maximum au mois d'août avec une valeur de 111 mm. Le minimum est enregistré au mois de février avec une valeur de 48,07 mm, celle de la moyenne annuelle est de 868,68 mm.

Tableau N°I.3 *:* Moyennes mensuelles et annuelles de l'évaporation

Mois	*J*	*F*	*M*	*A*	*M*	*J*	*J*	*A*	*S*	*O*	*N*	*D*	*M.A*
Evaporation (mm)	*40,0*	*48,07*	*61,27*	*64,87*	*81,10*	*93,50*	*107,17*	*111,0*	*92,07*	*67,6*	*55,90*	*46,50*	*868,68*

Période 1994-2008

Les variations de l'évaporation au niveau de notre zone d'étude durant la période 1994 à 2008 sont représentés sur le graphique suivant :

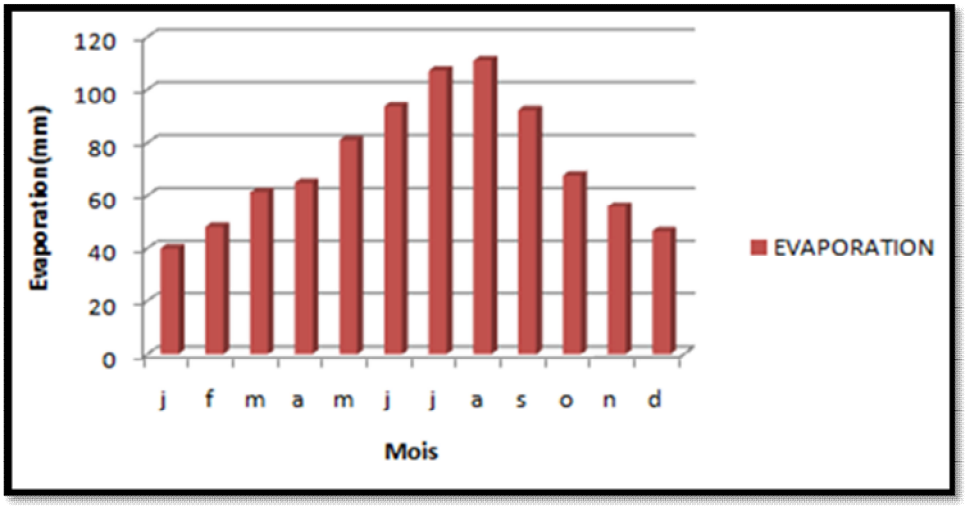


Figure N° I-7: Moyennes mensuelles de l'évaporation

I-2-3-4- L'humidité

Les moyennes mensuelles et annuelles de l'humidité sont regroupées dans le tableau N°I.3.

Tableau N°I.4: Moyennes mensuelles et annuelles de l'humidité

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M.A
Hu %	75,25	73,4	73,65	75,75	69,1	66,75	65,65	66	67,15	75,3	79,3	80,1	72,1

Période : 1994-2008

Le taux d'humidité relative de l'air dans le Sahel varie entre 65,65 et 80 %. Il diminue en direction des montagnes. En outre, l'humidité est plus faible vers midi que le matin et le soir. La valeur moyenne annuelle d'humidité est 72,1 %

Les variations de l'humidité au niveau de notre zone d'étude durant la période 1994 à 2008 sont données dans la figure N°I-8.

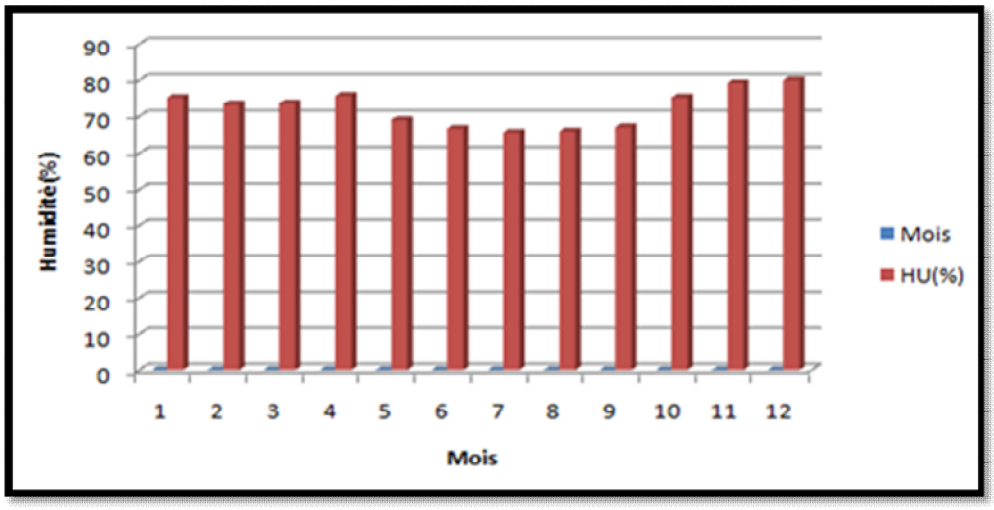


Figure N° I-8: Moyennes mensuelles de l'humidité.

Le climat dans la région d'Alger peut être caractérisé comme typiquement méditerranéen. Les étés sont secs et chauds avec des températures moyennes mensuelles allant jusqu'à 26°C environ. Les hivers sont frais et humides dont le mois le plus froid est celui de janvier, la température moyenne est d'environ 11°C.

L'humidité relative observée est modérée pendant toute l'année avec une valeur moyenne autour de 72%. En décembre, la moyenne journalière atteint le maximum soit 80%, elle ne décroit pas en moyenne en dessous de 65%. L'influence de la méditerranée, se traduit par de grandes variations du taux d'humidité de l'air qui reste en moyenne assez élevé.

Les précipitations sont irrégulières, sous forme d'orages. La quantité de pluie est en moyenne de 516.19 mm par an avec une période allant du mois d'octobre au mois d'avril présentant un maximum de 89.37 mm au mois de janvier. L'évaporation moyenne est de 869 mm avec un maximum de 111 mm au mois d'août et un minimum de 40 mm en Janvier. L'évaporation (ET) dans la région étant de 784 mm.

Chapitre II :

Caractérisation des Milieux Récepteurs "Oued EL Harrach"

II.1. Sources de pollution de l'oued El Harrach

Le bassin de l'Oued El Harrach subit des pollutions d'origine urbaine, industrielle et agricole. Tout au long de leurs cours, l'oued reçoit les effluents des villes qui le bordent. Cette pollution est aggravée par les rejets déversant directement dans l'oued El Harrach. Sur la base de l'origine de pollution, nous avons décomposé l'oued El Harrach en trois parties, Pour lesquelles la localisation et la caractérisation du milieu récepteur regroupant l'occupation du sol, la qualité du milieu récepteur et l'origine de pollution observées sont abordées sur la base de nos visites sur terrain.

- **La partie N°01:** Oued El Harrach: de la confluence avec l'oued Smar à l'embouchure en mer « zone de forte urbanisation » **,**
- **La partie N°02:** Oued El Harrach : de la STEP de Baraki à la confluence avec l'Oued Smar« zone de forte urbanisation et industrie , zone industrielle d'El Harrach, zone industrielle de Baraki et la zone industrielle de l'Oued Smar»,,
- **La partie N°03:** Oued El Harrach : de la confluence avec l'Oued El Kerma à la STEP de Baraki.

L'origine des pollutions observées sont abordées sur la base de nos visites sur terrain.

II.1.1. La partie N°01: Oued El Harrach: de la confluence avec l'Oued Smar à l'embouchure en mer.

II.1.1.1. Localisation :

Ce tronçon est constitué des agglomérations et des zones de forte urbanisation représentant une pollution importante des eaux de l'oued comme c'est représenté dans le Figure N° II.1.

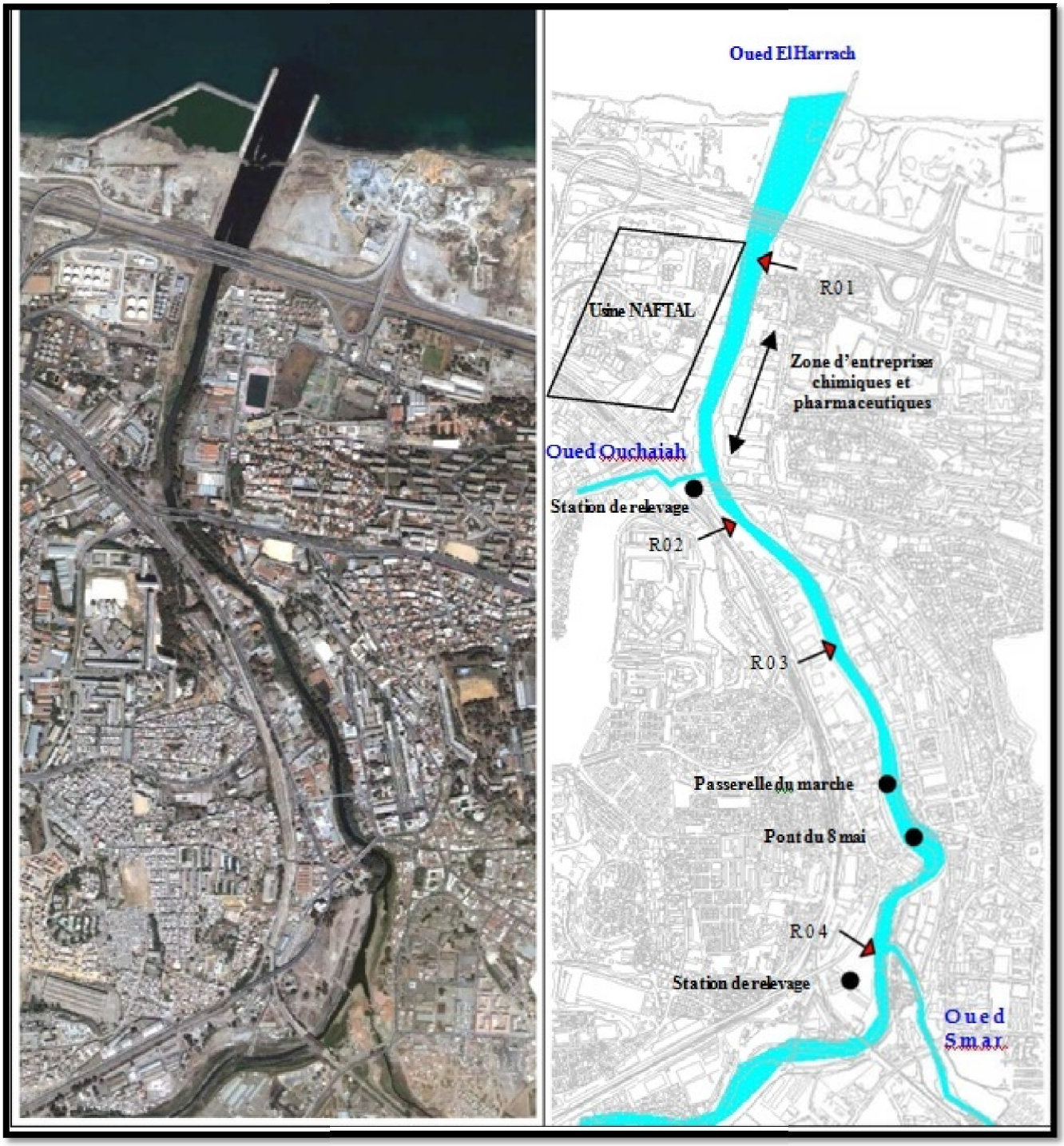


Figure N° II.1. : Carte Oued El Harrach: de la confluence avec l'Oued Smar à l'embouchure en mer.

II.1.1.2. Caractérisation du milieu récepteur :

II.1.1.2.1. Occupation du sol à proximité de l'oued:

Les observations principales de la visite des deux rives de l'oued sont :

- La confluence avec l'oued Smar
- Les berges naturelles arborées avec une zone urbaine de part et d'autre
- La confluence avec l'Oued Ouchaiah
- L'entreprise pharmaceutique en rive droite à l'arrière de berges naturelles arborées
- L'usine NAFTAL en rive gauche à l'arrière de berges naturelles arborées Pont de l'autoroute – Système de désodorisation
- L'embouchure de l'Oued El Harrach

II.1.1.2.2. Qualité du milieu récepteur.

Lors de notre visite sur terrain, nous avons observé que:

- Les eaux de l'oued sont très chargées et présentent une très faible transparence,
- L'odeur est extrêmement désagréable,
- Les berges sont polluées par des immondices et des décharges sauvages dans le secteur de la passerelle et du pont du 8 mai,
- Les sédiments qui présentent une couleur noire très marquée.

II.1.1.2.3. Origines de la pollution Observée:

Dans les zones urbanisées en aval du bassin versant d'oued El Harrach, Ces eaux sont fortement polluées a cause des rejets directs des eaux usées non traitées qui constituent une menace grave pour la sante publique, une haute valeur de charge polluante que les eaux de l'oued reçoivent quotidiennement provoque le dysfonctionnement de sont système d'auto- épuration naturelle et constitue un obstacle majeur au développement urbain, Les principales sources de pollution sont les suivantes :

- Rejets de l'Oued Smar,
- Rejet RN°01 abattoir d'El Harrach,
- Rejet RN°02,
- Rejet RN°03,
- Rejet de l'oued Ouchaiah,

- Rejet RN°04.

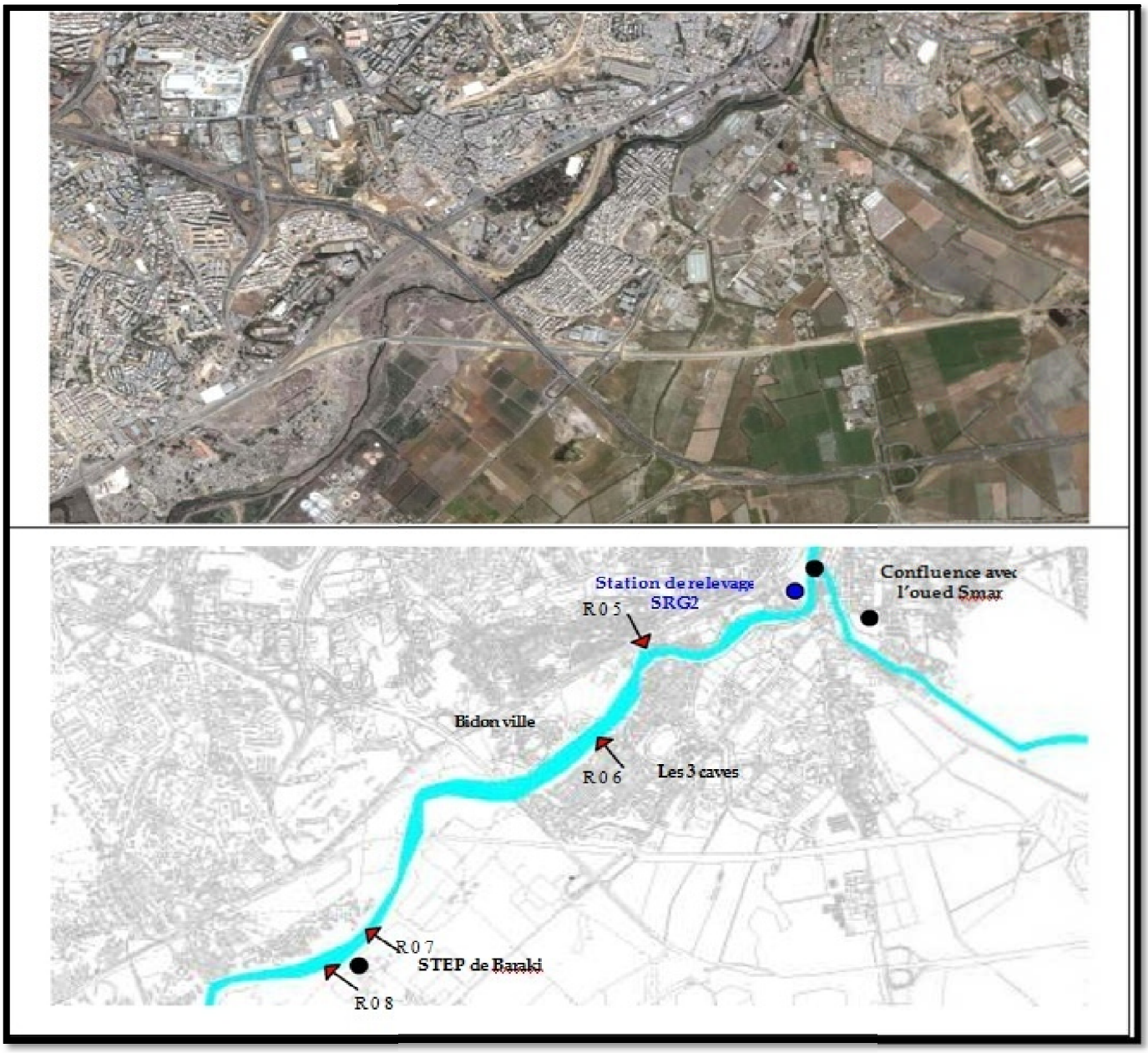
Figure N° II.2. : Les sources de pollution de la confluence avec l'Oued Smar à l'embouchure en mer.

Figure N° II.2. : Les sources de pollution de la confluence avec l'Oued Smar à l'embouchure en mer (suite)

II.1.2. La partie N°02: Oued El Harrach de la STEP de Baraki à la confluence avec l'Oued Smar.

II.1.2.1. Localisation :

Le 2eme tronçon est constitué des agglomérations et des zones de forte urbanisation avec la présence des sites des habitas précaires et des sites industriels « zone industrielles d'El Harrach».



- **Figure N°II.3. :** Carte Oued El Harrach de la STEP de Baraki à la confluence avec l'Oued Smar

II.1.2.2. Caractérisation du milieu récepteur

II.1.2.2.1 Occupation du sol à proximité de l'oued:

Les observations principales de la visite des deux rives du 2eme tronçon de l'oued sont :

- La STEP de Baraki en rive droite,
- L'importante zone de cultures et de vergers en rive droite de la STEP à la rocade sud,
- Le lit majeur herbé berges éloignée,
- Les berges naturelles avec la cité des 3 caves en rive droite,
- Les berges naturelles avec la cité Prise d'Eau en rive gauche,
- Pont autoroutier,
- La station de relevage SRG2 (station de relevage G02),
- Le confluence avec l'oued Smar .

II.1.2.2.2. Qualité du milieu récepteur lors de la visite de terrain

Nous avons observé les faits suivants :

- Une eau de mauvaise qualité,
- De nombreuses décharges sauvages.

II.1.2.2.3. Origines de la pollution observée

Les pollutions sont représentées dans le Figure N° II.4. Elles concernent

- Rejet RN°05 station de relevage SRG2,
- Rejet RN°06 les 03 caves,
- Rejet RN°07 station d'épuration de Baraki,
- Rejet RN°08 ,
- Apport de l'Oued Smar .

Figure N° II.4. : Les sources de pollution de la STEP de Baraki à la confluence avec l'Oued Smar.

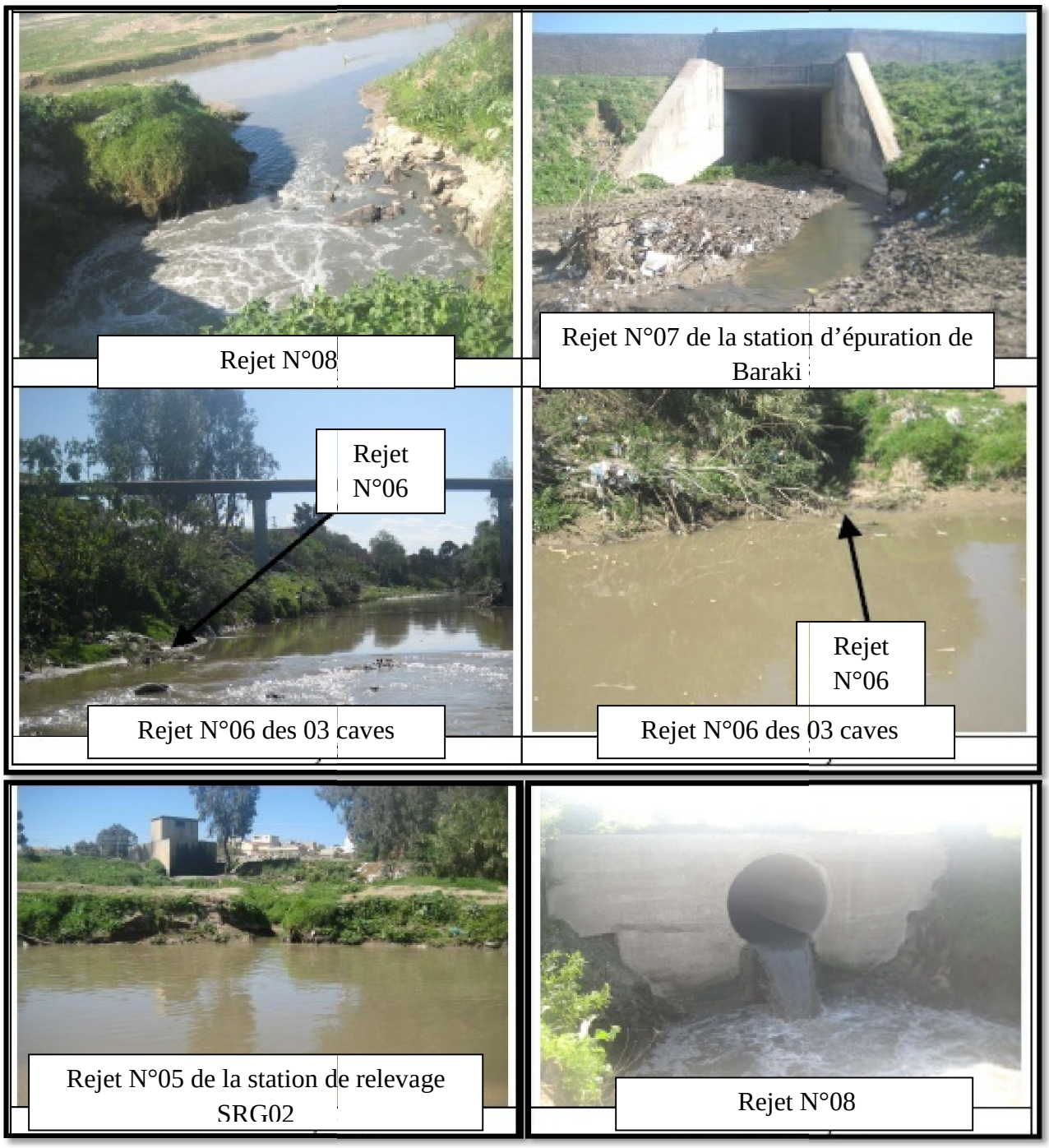


Figure N° II.4. : Les sources de pollution de la STEP de Baraki à la confluence avec l'Oued Smar (suite)

II.1.3. la partie N°03: Oued El Harrach de la confluence avec l'Oued El Kerma à la STEP de Baraki.

II.1.3.1. Localisation :

Le 3eme tronçon est constitué des agglomérations et des zones de moyenne urbanisation avec la présence des sites des habitas précaires et des sites industriels « zone industrielles Gué de Canstantine».

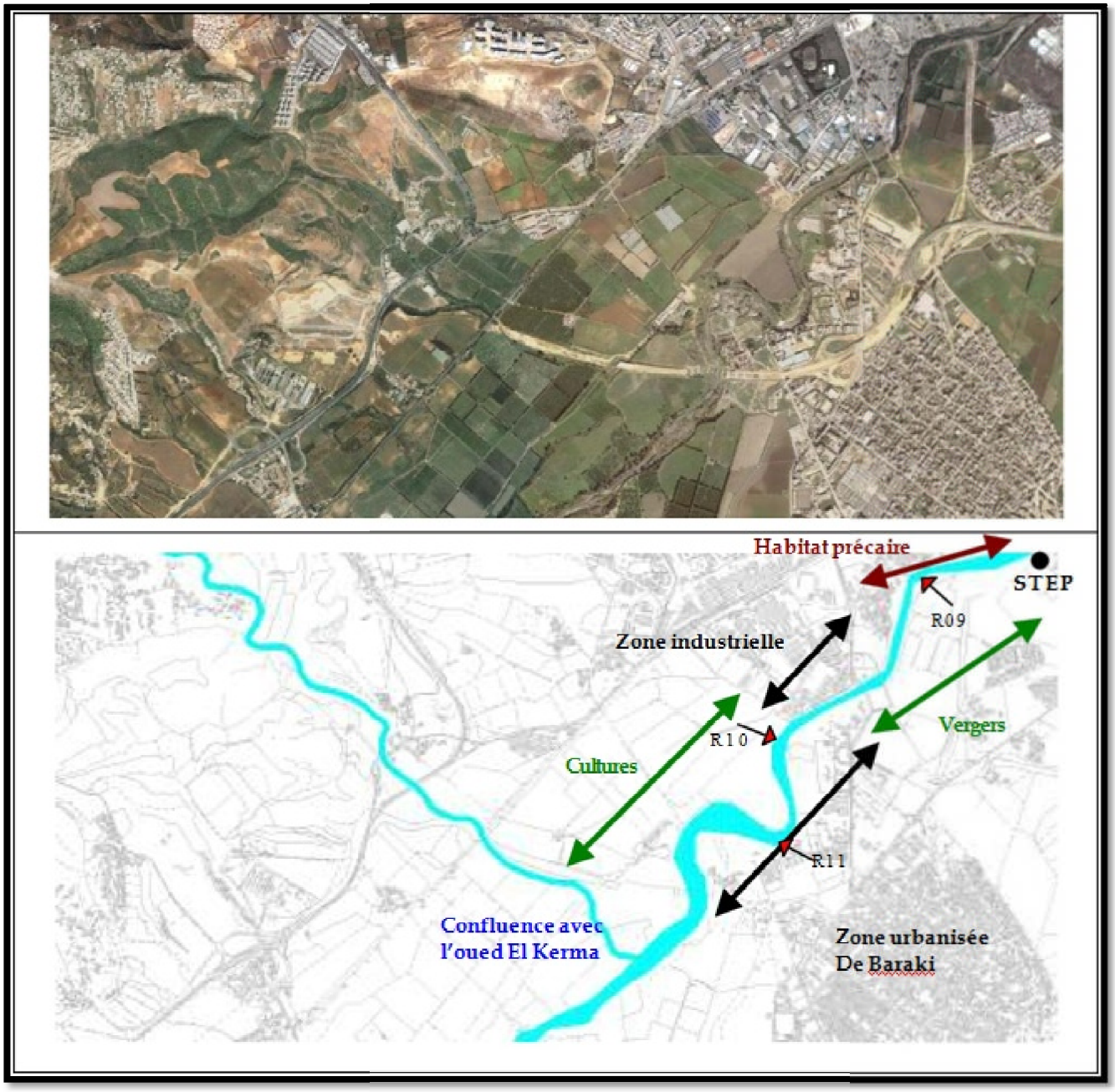


Figure N° II.5. : Carte Oued El Harrach de la confluence avec l'Oued El Kerma à la STEP de Baraki

II.1.3.2. Caractérisation du milieu récepteur

II.1.3.2.1. Occupation du sol à proximité de l'oued :

Les observations principales de la visite des deux rives du 3eme tronçon de l'oued sont :

- Le confluence avec l'Oued El Kerma ,
- La zone urbanisée de Baraki en rive droite suivie d'une zone de cultures et de vergers,
- La zone de cultures et de vergers en rive gauche suivi d'une zone industrielle puis d'une zone d'habitat précaire,
- La STEP de Baraki.

II.1.3.2.2. Qualité du milieu récepteur :

Nous avons constaté ce qui suite

- Une eau de mauvaise qualité,
- De nombreux déchets (pneus, plastiques...).

II.1.3.2.3.Origines de la pollution observée:

La Figure N° II.6.montre les differents pollutions observée à savoir:

- Le rejet Oued El Kerma ,
- Le rejet RN°09 ,
- Le rejet RN°10 de la zone industrielle de Gué de Canstantine,
- Et le rejet R N°11 de la zone d'activité de Barki.

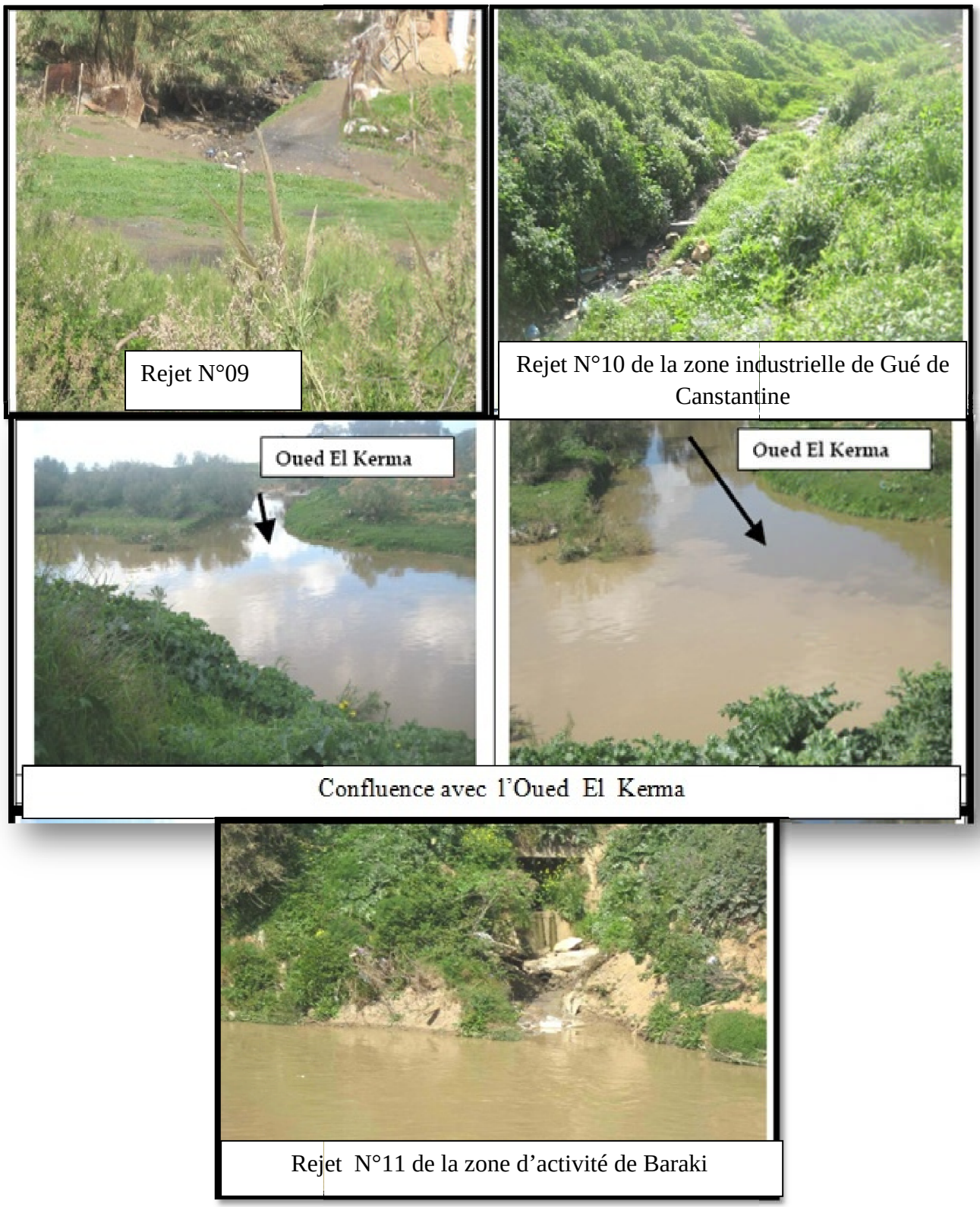


Figure N° II.6. : Les sources de pollution de la confluence avec l'Oued El Kerma à la STEP de Baraki.

Chapitre III :

Analyse des Eaux des Principaux Points de Rejets " Zone Industrielle El Harrach"

III.1. Introduction

La wilaya d'alger demeure l'un des exemples les plus illustratifs de la pollution du pays. En effet, alger est dotée de 5 zones industrielles couvrent une surface globale de 2 500 hectares soit près de 9 % des zones urbanisées de la Wilaya (surface urbanisée totale estimée à 29 000 ha).

Sur le total de 2 500 hectares, seuls 30 % sont actuellement raccordés à une station d'épuration, A elles seules, Cinque zones majeures représentant près des deux tiers des surfaces industrielles à savoir

• la zone industrielle de Rouiba-Reghaia (990 hectares),

• la zone industrielle Oued Smar (380 hectares),

• la zone industrielle El Harrach (59 hectares),

• la zone industrielle de Gué de Constantine – Baraki (150 hectares),

• la zone industrielle de Baba Ali (100 hectares).

Dans notre travail nous avons pris comme échantillon de pollution, la zone industrielle d'El Harrach. Cette zone comprend plusieurs unités polluantes comme le complexe NAFTAL/ AVM**,** complexe NAFTAL/GPL162, NAFTAL 16A+16C, etc. Ces différentes unités évacuent leurs eaux usées parfois sans aucun traitement préalable vers les oueds (oued Smar , oued El Harrach). Ces eaux industrielles rejetées dans le milieu récepteur (oued El Harrach,) entraînent sa pollution, voire son eutrophisation. Face à cette situation précaire et pour une bonne préservation du milieu récepteur, nous avons réalisé une étude concernant l'évaluation du degré de pollution de l'eau des principaux points de déversements de la zone industrielle d'El Harrach dans l'Oued El Harrach par l'analyse de différents paramètres de caractérisation d'une eau usée .

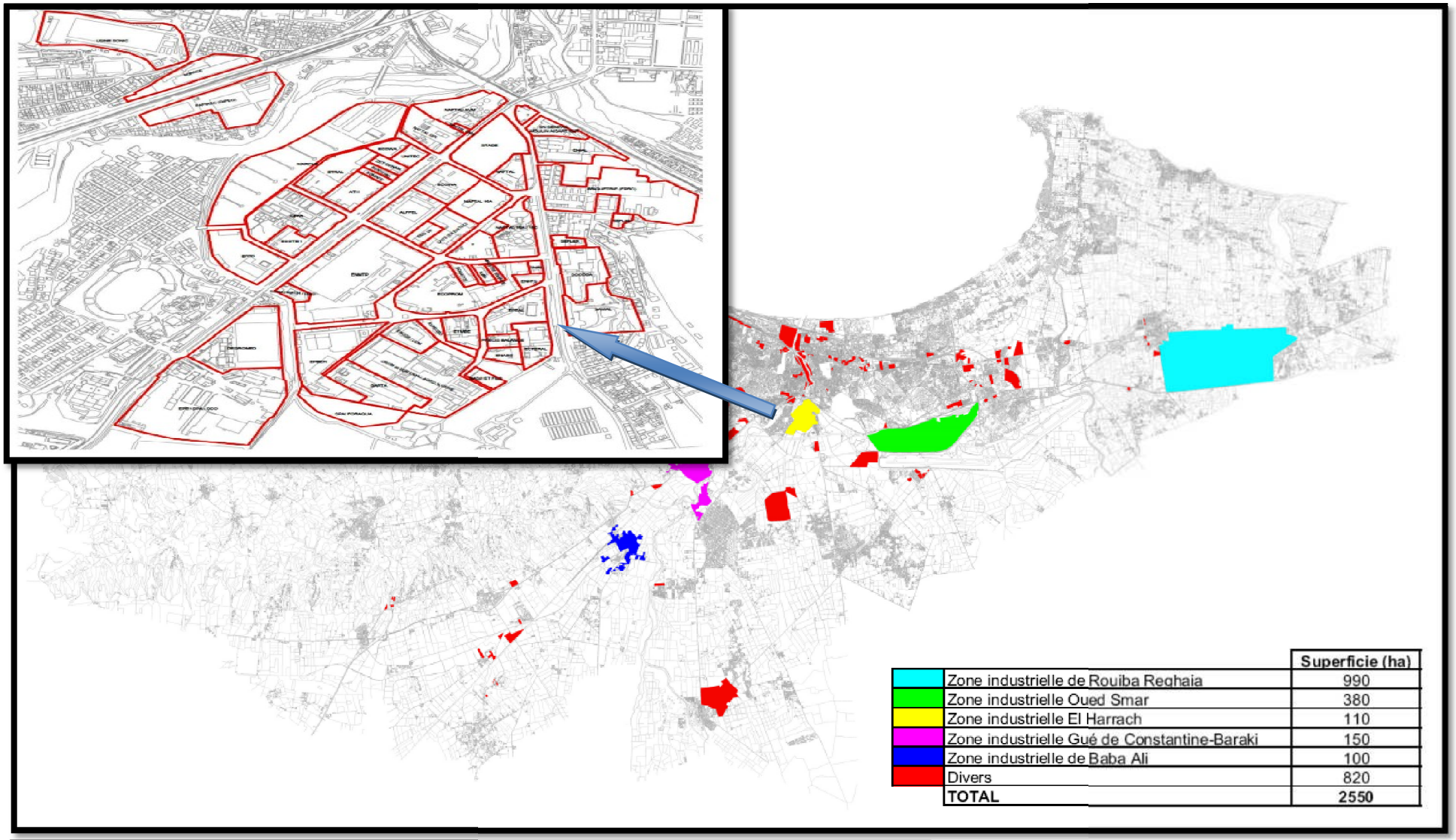


Figure N°III.1 : Carte satellitaire de délimitation de la zone d'étude

III.2. Présentation de la zone d'étude (zone d'échantillonnage)

La zone industrielle d'El Harrach se située à environ 20 Km au Sud-Est. Elle s'étend sur une superficie de 59 hectares. Elle est située tout près de la confluence de oued El Harrach – oued Smar. La zone rassemble 54 industriels réparties dans différents secteur d'activités et sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau N°III.1. : Les noms et les surfaces des entreprises

N° DES LOTS	NOM DE L'ENTREPRISE	SURFACE DU LOT (m2)
1	NAFTAL/ AVM	12000
2	NAFTAL/SL, SC	128
3	NAFTAL/CMS	200
4	NAFTAL/GPL162	7760
5	Unitec	3588
6	Ecotecex, Ecomwa	21160
7	Zet Ceram	8000
8	Benterki/SARL Sotra last	1700
9	Benterki/Vamp ex S.N.C/Map	2400
10	A,T,H ex (Egeciwa)	12220
11	Etral	16830
12+13	C,F,P,A	27000
14	Ecoteh	7078
15	EPTP	22179
16	Ecotec ex, Ecowa	-
17	ENF/UFE	18000
18	EN DVP	13240
19	ENMTP	31197
20	Sonatrach /DAG	3282.95
21	Digrmed ex Enapharm	25000
22	Matco SCP ex ENRIC	23200
23	Naftal 16A+16C	6500
24	Naftal 16A+16C	7250
25+26	ENITEC	9189
27	Eurl EBPEH exEMAL	35300
28+29	Naftal 16A+16C	33240
30	EN DVP	-
31	SNRI	3825
32	EPES	1250
33	Mini Finance	1600
34	A ,M,M	1600
35	Sonatite	3900
36+37	ETB (DRA/UPVD/MAIT)	27581.25
38	EPEL DMGM	16080
39+40	ECFERAL	9153

41	E,C,A	2270
42	Comersid ex ENSIDER	8023
43	ENGCB	9100
44	SAPTA	18283.5
45	ORGM ex EREM	53000
46	BADJI ex ONAPSA	3000
47	ENASC	4626
48	SOCOBA ex MAHEM	25580
49	SAVIAL ex MAHEM	-
50	SAFLEX ex EDIMCO	200
51	C,A ,C	1500
52	SBTC exEPRC/UB/T	40000
53	ERIAD/UP2	9760
54	SEFLEX	1586
SURFACE TOTAL (m2)		**589559.7**

Source : Entreprise de gestion des zones industrielles de la wilaya d'Alger « GZIWA »

En raison de la complexité et de la diversité des rejets, il est difficile de faire un choix judicieux des points de prélèvements. Toutefois, la reconnaissance du réseau de déversement des eaux usées va nous permettre d'opter les points de prélèvements.

Pour mieux cerner les problèmes et les nuisances engendrés par la zone industrielle d'El Harrach et pour une bonne préservation du milieu récepteur, nous avons procédé à un contrôle régulier des rejets d'effluents liquides des trois complexes cités précédemment ,toute en essayant d'estimer le degré de pollution de ces eaux par l'analyse de différents paramètres de caractérisation d'une eau usée. En outre, les résultats d'analyses seront comparés aux critères et normes de déversements industriels.

Les trois points étudiés ainsi que leurs coordonnées géographiques sont présentées ci-dessous à la figure N° III.2.

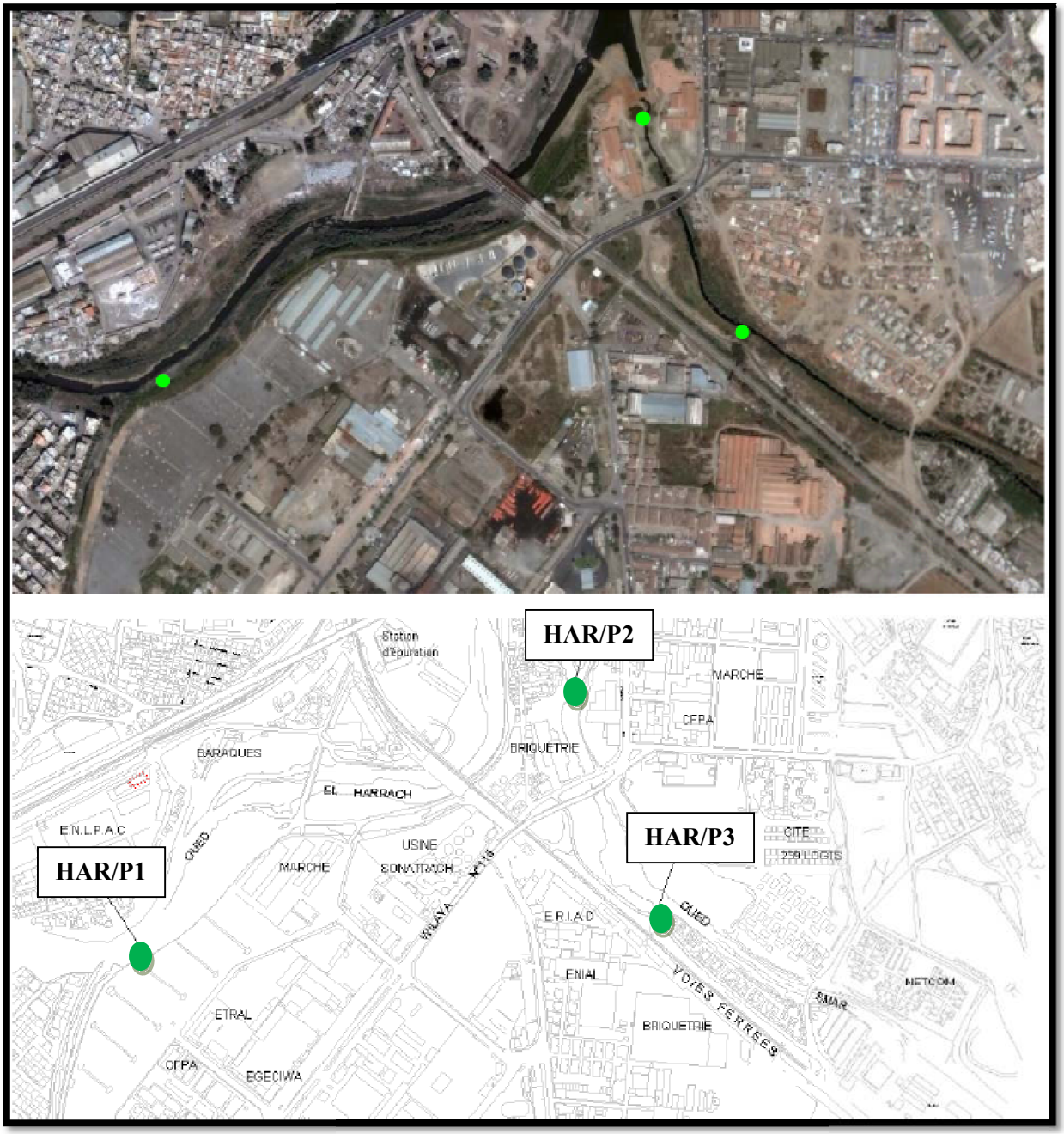


Figure N° III.2 : Carte de situation de la zone d'étude et des points d'échantillonnage

- **Point de prélévement N° 01**

Ce rejet représente le 1er point de prélèvement, dans les caractéristiques suivantes :

-Localisation: Rejet de la ZI El Harrach sur l'oued El Harrach en aval du marché des voitures des trois caves **-Diamètre de la conduite :** DN 1500mm **- la Couleur des eaux usées** grise **-Hauteur d'eau :** H =11cm **-Coordonnés du rejet :** X : 511423,069 Y : 4062918,332 Z : 2,19	

- **Point de prélévement N° 02**

Ce rejet représente le 2ème point de prélèvement, dans les caractéristiques suivantes :

-Localisation: Rejet de la ZI El Harrach sur l'oued El Smar approximé de siphon d'oued smar **-Diamètre de la conduite :** DN 1500mm **- la Couleur des eaux usées** grise **-Hauteur d'eau :** H =40cm **-Vitesse d'écoulement :** V =1m/s **-Debit :** Q= 450 l/s **-Coordonnés du rejet :** X : 512130,667 Y : 4063333,061 Z : 2,60	

- **Point de prélévement N° 03**

Ce rejet représente le 3ème point de prélèvement, dans les caractéristiques suivantes :

-Localisation:
Rejet de la ZI El Harrach sur l'oued El Smar approximé de l'usine EPRC

-Diamètre de la conduite :

DN 2*1000mm
- la Couleur des eaux usées

Noire
-Hauteur d'eau :
H =10cm
-Coordonnés du rejet :
X : 512292,365
Y : 4062987,350
Z : 3,510

Pour chaque point, un échantillon a été constitué par deux prélèvements, l'un réalisé le matin et l'autre l'après midi. Lors de chaque prélèvement, une mesure de débit a été effectuée. Un résumé des mesures effectuées et des débits sur les points de prélèvement est donné dans le tableau N° II.2

Tableau N° III.2. : Récapitulatif des mesures effectuées et des débits sur les points de prélèvement des échantillons de la zone industrielle El Harrach.

POINT	DIMENSION (mm)	HAUTEUR MATIN (cm)	VITESSE (m/s)	DEBIT MATIN (l/s)	HAUTEUR APRES MIDI (cm)	VITESSE (m/s)	DEBIT APRES MIDI (l/s)	COMMENTAIRE
HAR / P1	DN 1500	11	0,045	3	11	0,035	2,5	Section Trapezoidal
HAR / P2	DN 1000	5	1,13	17	5	1,1	16	
HAR / P3	DN 1500	35	0,65	204	36	0,5	157	

II.3. Méthodes d'analyses des échantillons

III.3.1.Méthodes de prélèvements

Les deux échantillons sont prélevés dans des bouteilles de nature et de volumes appropriés en polyéthylènes (pour la DCO, la DBO5, les MS, l'ammonium, le, l'azote Kjeldahl), ou en verre brun (pour le Hg, l'oxydabilité) afin d'assurer la conservation de l'échantillon pour l'analyse. Les bouteilles sont d'abord rincées par l'eau de la rivière, puis remplies en les émergeant dans l'eau sans les remplir à fond pour pouvoir homogénéiser lors de la fixation de l'échantillon et au moment de l'analyse.

Nous avons utilisé des fixateurs pour certains paramètres à fin de stabiliser l'échantillon

Le PH et la conductivité sont mesurés sur place par un potentiomètre utilisant une électrode de verre, et un conductimètre portable de type (WTW), étalonné à l'avance.

III.3.2.Analyses

III.3.2.1.Les paramètres étudiés

Les paramètres étudiés sont :

- Les paramètres physicochimiques sont:
  - pH,
  - DBO5,
  - DCO,
  - Matière en suspension,
  - Matières Décantables,
- Les paramètres indésirables et toxiques sont:
  - Azote Kjeldahl,
  - Huiles et graisses,
  - Hydrocarbures,
  - Le plomb,
  - Indice de phénols,

Nous n'avons pas fait l'analyse bactériologique de ces eaux vu que ces eaux ne sont pas destinées à une prise d'eau pour une production d'eau potable.

- **Matières en suspension (MES)**

Nous avons utilisé la méthode gravimétrique pour la détermination des MES (séchage, dessication et pesage). Une portion de l'échantillon est filtrée à travers un filtre de fibre de verre.
Borosilicaté sans liant préalablement pesé. Lorsque la filtration est terminée, le résidu est séché à 105 C° et pesé à nouveau, Le poids des solides en suspension est obtenu par la différence entre les poids avant et après le séchage.

La quantité de solide en suspension volatil est obtenue par la différence entre le poids du résidu calciné à 550 C° et celui séché à 105 C°.
Les résultats sont exprimés d'après l'équation suivante :

Les matières en suspension sont déterminées par la relation :

$$mg/L = \frac{(A - B) \times 1000 \times 1000}{\text{Volume d'échantillon (mL)}} \quad (1)$$

A: Poids du filtre+ solides+ capsule d'aluminium (g).
B: Poids du filtre vide+ capsule d'aluminium (g).

Les matières en suspension volatils sont déterminées par la relation suivant:

$$mg/L = \frac{(A - C) \times 1000 \times 1000}{\text{Volume d'échantillon (mL)}} \quad (2)$$

A: Poids du filtre+ solides+ capsule d'aluminium avant la calcination
C : Poids du filtre+ solides+ capsule d'aluminium après la calcination (g).

- **Demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO_5).**

La méthode est basée sur la neutralisation de l'échantillon à analyser, et sa dilution avec des quantités variables d'une solution de dilution riche en oxygène et en microorganismes aérobies, avec ou sans suppression de la nitrification. Puis son incubation à une température de 20°C pour une durée fixée de 5 jours à l'obscurité dans un flacon rempli et hermétiquement fermé. Le résultat est obtenu par calcul de la concentration en O_2 dissous avant et après incubation.

- **Demande chimique en oxygène (DCO) :**

La demande chimique d'oxygène (DCO) est la concentration exprimée en masse d'oxygène équivalent à la quantité de dichromate consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies. La méthode est basée sur l'oxydation des matières contenues dans l'échantillon par le bichromate de potassium en milieu acide et en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de bichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer II et d'ammonium (sel de Mohr) en présence d'un indicateur coloré «solution de ferroïne ».

- **L'azote kjeldahl**

L'azote kjeldahl représente l'ensemble des formes réduites organiques et inorganiques et ammoniacales de l'azote. L'azote peut exister aussi sous forme d'azote nitreux ou nitrique. La méthode utilisée pour la détermination de l'azote total est basée sur la digestion et l'oxydation aux UV de toutes les formes d'azote en nitrate en ajoutant à l'échantillon une solution de borax avec excès de potassium persulfate. L'échantillon est mélangé à un tampon qui passe dans une colonne de grains de cadmium recouverts de noir, pour réduire les nitrates en nitrite. Les nitrites résultants donnent une réaction de diazotation avec la sulfanilamide couplée en chlorhydrate d'α-naphtyl-éthylènediamine, pour former un complexe rose, dont l'intensité de la coloration, mesuré à 540 nm, est proportionnelle à la concentration en nitrates résultant de l'oxydation.

L'azote kjeldhal est donné par la relation suivante :

Azote kjeldhal (NTK) = Azote total (NT) – Azote ($NO_3 + NO_2$)

- **Hydrocarbures**

Ils sont déterminés par l'extraction par solvant et, analyse par absorption dans le domaine de l'infra-rouge entre 3,4 µm et 3,5 µm .en utilisant un extracteur incorporé pour échantillon aqueux.

- **Métaux :**

La concentration totale est mesurée après minéralisation de l'échantillon, ensuite le dosage est effectué avec le spectromètre d'émission atomique au plasma d'argon,

l'échantillon est entraîné dans le plasma par l'intermédiaire d'une pompe et d'un nébuliseur. Les métaux contenus dans l'échantillon sont atomisés dans le plasma à une haute température, ils émettent de l'énergie lumineuse à des longueurs d'ondes qui leur sont spécifiques.

Cette lumière émise est séparée à l'aide d'un réseau, puis détecté séquentiellement ou simultanément suivant l'instrument utilisé.

III.3.2.2. Résultats d'analyse et interprétations :

Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire observation nationale de l'environnement « ONED » les résultats des analyses des échantillons sont :

- **Échantillon N°01 :**

Les résultats des prélèvements réalisés pour les 1ère point de rejet, sont donnes sur le tableau suivant :

Tableau N° III.3. : Les résultats des prélèvements des échantillons N°01

valeurs limite [26]	**Paramètres (mg/l)**	**1er jour**	**2ème jour**	**valeurs limite** [27]
5,5-8,5	pH	6,38	7,36	6,5-8,5
600	MES	200	110	35
1000	DCO	1500	460	120
500	DBO5	610	394	35
	Azote Kjeldahl	12	34	30
	Huiles et graisses	<2	2,1	20
0,5	Plomb	/	/	0,5
	Indice phénols	/	/	30
10	Hydrocarbures	/	/	10

- **Interprétations des Résultats : « HAR/P1 »**

Le ratio de biodégradabilité DCO/DBO varie de 1.2 à 2.5 sur les échantillons concernés, il se situe dans les valeurs standards des effluents pouvant être traités sur les systèmes par boue activée.

Le ratio MES/DBO, compris entre 0.28 et 0.33 est acceptable mais démontre que la pollution est essentiellement sous forme dissoute ou colloïdale.

L'effluent présente une variabilité sur les paramètres de pollution standard, ce qui témoigne d'une variation de rythme de production qui nécessite un tamponnage des effluents.
La mise en place d'un dispositif permettant d'éliminer cette pollution est vivement recommandée afin d'éviter les dépassements des valeurs fixées par la règlementation.

- **Recommandations**

Il est préconisé de maintenir le rejet N°2 sur le réseau urbain existant après mise en place d'un dispositif permettant de garantir des niveaux de rejets conformes [26] notamment en ce qui concerne la DCO et la DBO. Le dispositif de traitement doit permettre de tamponner l'effluent et donc de diminuer la variabilité des rejets.

- **Échantillon N°02 :**

Les résultats des prélèvements réalisés pour le 2ème point de rejet, sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau N° III.4. : Les résultats des prélèvements des échantillons N°02

valeurs limite [26]	**paramètres**	**1er jour**	**2 ème jour**	**Valeurs limite** [27]
5,5-8,5	pH	7,12	7,2	6,5-8,5
600	MES	38	46	35
1000	DCO	130	130	120
500	DBO5	31	125	35
	Huiles et graisses	<2	31	20
10	Hydrocarbures	0,38	15,84	10
0,5	Plomb	<0,2	<0,2	0,5
	Indice phénols	<0,1	0,22	0.3
	Azote Kjeldahl	37	6,7	30

- **Interprétations des Résultats : « HAR/P2 »**

Le ratio de biodégradabilité DCO/DBO est compris entre 1.0 et 4.2, qui reste dans les valeurs standards des effluents pouvant être traités sur des systèmes par boue activée, il en est de même pour le ratio MES/DBO qui est compris entre 0.4 et 1.2.

Les paramètres standards de pollution sont conformes aux valeurs limites fixées par le [26]. Toutefois les hydrocarbures présentent une forte variabilité avec des valeurs supérieures aux valeurs limites autorisées dans le [26].

les hydrocarbures présentent une forte variabilité avec des valeurs supérieures aux valeurs limite autorisées par le décret 09-209 et par le décret 06-141, il risque de disperser et rejoindre les eaux pluviales. par conséquent, les actions à envisager concernent la sécurisation des risques de pollution accidentelle lors du transfert ou de la distribution des carburants par la mise en place d'un prétraitement déshuileur/débourbeur, ainsi que l'imperméabilisation des zones de stockage, pour éviter la pollution souterraine par les hydrocarbures.

Les 2 échantillons présentent une variabilité sur les paramètres tels que les huiles et les graisses, les hydrocarbures et l'azote. Ceci témoigne d'une récupération aléatoire des eaux de lavage ou de ruissèlement et elles peuvent ainsi contenir des pollutions non adaptés à des systèmes de traitement conventionnels.

- **Recommandations**

Il est préconisé de raccorder le 1er rejet sur le réseau urbain existant après mise en place d'un dispositif permettant de garantir constamment des niveaux de rejets conformes au décret 09-209, notamment en ce qui concerne les hydrocarbures. Ce réseau permettra d'acheminer les effluents vers la station d'épuration de Baraki.

- **Échantillon N°03 :**

Les résultats des prélèvements réalisés pour le 3ème point de rejet sont résumés dans le tableau suivant

Tableau N° III.5. : Les résultats des prélèvements de l'échantillon N°03

Valeurs limite [26]	paramètres	1er jour	2ème jour	Valeurs limite [27]
5,5-8,5	pH	7,39	7,96	6,5-8,5
600	MES	125	46	35
1000	DCO	420	57	120
500	DBO5	160	75	35
	Huiles et graisses	14	3	20
10	Hydrocarbures	13,1	1,26	10
0,5	Plomb	/	/	0,5
	Indice phénols	/	/	0.3
	Azote Kjeldahl	/	/	30

- **Interprétations des Résultats : « HAR/P3 »**

Le ratio de biodégradabilité DCO/DBO est compris entre 0.8 et 2.6, ce qui reste dans les valeurs standards des effluents pouvant être traités sur des systèmes par boue activée. Il en est de même pour le ratio MES/DBO qui est compris entre 0.6 et 0.8.

L'effluent présent des paramètres standards de pollution conformes aux valeurs limites du [26]. Cependant, une variation des concentrations est très apparente sur les deux échantillons réalisés.

L'effluent présente un risque majeur au milieu naturel « Oued El Harrach » sur la concentration en hydrocarbures supérieures aux valeurs limites autorisées par le décret N°09-209 et par le décret N° 06-141, ce qui nécessite un piège à hydrocarbure, huile et graisse avant le rejet vers le réseau public.

- **Recommandations**

Il est préconisé de maintenir le rejet N°3 sur le réseau urbain existant après mise en place d'un dispositif permettant de garantir des niveaux de rejets conformes au [26] , [27] notamment en ce qui concerne les hydrocarbures. Ce réseau permettra d'acheminer les effluents vers la station d'épuration de Baraki.

Chapitre IV :

Modélisation de la Pollution

IV. Modélisations numériques

Il peut être difficile d'analyser le comportement d'un parc à résidus et d'évaluer l'efficacité d'un recouvrement ou d'une autre solution de restauration à grande échelle. Bien qu'il soit possible (et souhaitable) d'instrumenter un site, le suivi des instruments est fastidieux et très coûteux et les informations sont recueillies a posteriori.

Les modèles numériques permettent d'analyser les problèmes d'écoulement dans les milieux poreux saturés et non-saturés. À partir de paramètres hydrauliques et en imposant les conditions observées sur le terrain, on peut analyser les conditions d'écoulement au sein des matériaux. En utilisant des modèles relativement complexes, il est possible de représenter de façon assez réaliste les conditions *in situ* et d'évaluer leur comportement à long terme.

IV.1. Simulations avec SEEP/CTRAN/W 2007

Le logiciel utilisé ici est basé sur la méthode des éléments finis (MEF), qui consiste à représenter l'ouvrage en petits éléments de tailles finies. Pour chaque élément, on formule une équation de comportement du matériau et la solution du problème consiste à résoudre de façon simultanée l'ensemble des équations du système. Plus les éléments sont petits, plus la méthode atteindra une précision élevée mais plus les calculs peuvent être longs. Une description complète de la résolution de problèmes hydrogéologiques en conditions saturées et non-saturées par la MEF peut être trouvée dans plusieurs ouvrages [36].

Dans la présente étude, le logiciel utilisé est SEEP/W (version 2007) développé par GEOSLOPE international de Calgary au Canada (Geoslope international, 2007). Le tableau 2.1 présente les principales caractéristiques du logiciel SEEP/CTRAN/W. Ce logiciel permet de résoudre des problèmes d'écoulement au travers d'un matériau poreux. Il a été choisi en raison de sa disponibilité. Plusieurs études ont permis de vérifier la validité du logiciel [38].

Par la MEF, SEEP/CTRAN/W utilise la méthode de [37]., un cas particulier de la méthode des résidus pondérés, pour résoudre l'équation [39]., afin de simuler des écoulements saturés et non-saturés. L'analyse peut se faire pour des cas unidimensionnel ou bidimensionnel, des écoulements stationnaires ou transitoires et en présence de sol isotrope et anisotrope.

Afin de construire le modèle numérique, on doit définir les propriétés de nos matériaux incluant la fonction de conductivité hydraulique non-saturée et la courbe de rétention d'eau. Le logiciel ne considère pas les phénomènes d'hystérésis, mais il est possible d'introduire le phénomène d'anisotropie. On construit la géométrie de notre problème (DRAW) et on impose

les conditions frontières (BOUNDARY CONDITIONS) à l'aide de charges hydrauliques, de pressions d'eau ou de débits. Les éléments du modèle peuvent être de forme rectangulaire ou triangulaire, et ils peuvent comprendre de noeuds secondaires. À l'aide de la fonction SOLVE, le logiciel résout le système d'équations et calcule la distribution des pressions interstitielles, des charges hydrauliques, des vitesses d'écoulement, des débits, des gradients, etc. La fonction COUTOUR

Permet la visualisation des résultats obtenus. La fonction GRAPH trace les profils des teneurs en eau et des pressions du système. On peut imposer des conditions frontières à l'aide d'une fonction temporelle; il est nécessaire de définir les paramètres de notre fonction et de résolution de notre système (durée, précision recherchée, pas de temps, etc).

Tableau N° IV.1. Résumé des principales caractéristiques du logiciel SEEP/CTRAN/W [40].)

Éléments utilisés	Quadrilatéraux avec ou sans noeud secondaire (intégration d'ordre 4 ou 9) Triangulaires avec ou sans noeuds secondaires (intégration d'ordre 3 ou 1)
Fonctions d'interpolation	Fonction de Bathe
Équations des éléments finis	Méthode de Galerkin
Intégration dans le temps	Méthode d'approximation des différences finies (méthode implicite)
Intégration numérique	Intégration de Gauss
Résolution des équations	Technique d'élimination gaussienne avec des substitutions répétées
Convergence	Norme Euclidienne des vecteurs de charge de pression Techniques des splines : changements acceptés entre deux étapes d'itérations (DK)
Conditions aux limites	Neuman : conditions de débits Dirichlet : condition de charge
Lissage des courbes	Technique des splines (courbes de conductivité, de rétention, des conditions limites)

IV.2. Résultats d'analyse et interprétations :

1er cas : Nappe saturée :

Condition aux limites :

La concentration niveau bas ; Cb=0mg/l,

La concentration niveau haut; Cb=10mg/l,

Conductivité hydraulique ; 0,001 cm S^{-1}.

Pour le cas N°01, on observe que la couche de couverture est partiellement saturée, alors que les rejets présentent une dé-saturation plus grande que dans le recouvrement (Figure N° IV.1.). pour la partie basse la nappe est saturée Le profil de pression a atteint l'équilibre hydrostatique sur toute la colonne à la fin de la simulation. Ceci nous indique que, pour les conditions appliquées à ce modèle, une dé-saturation plus marquée ne pourrait se faire que sous l'effet d'une évaporation en surface.

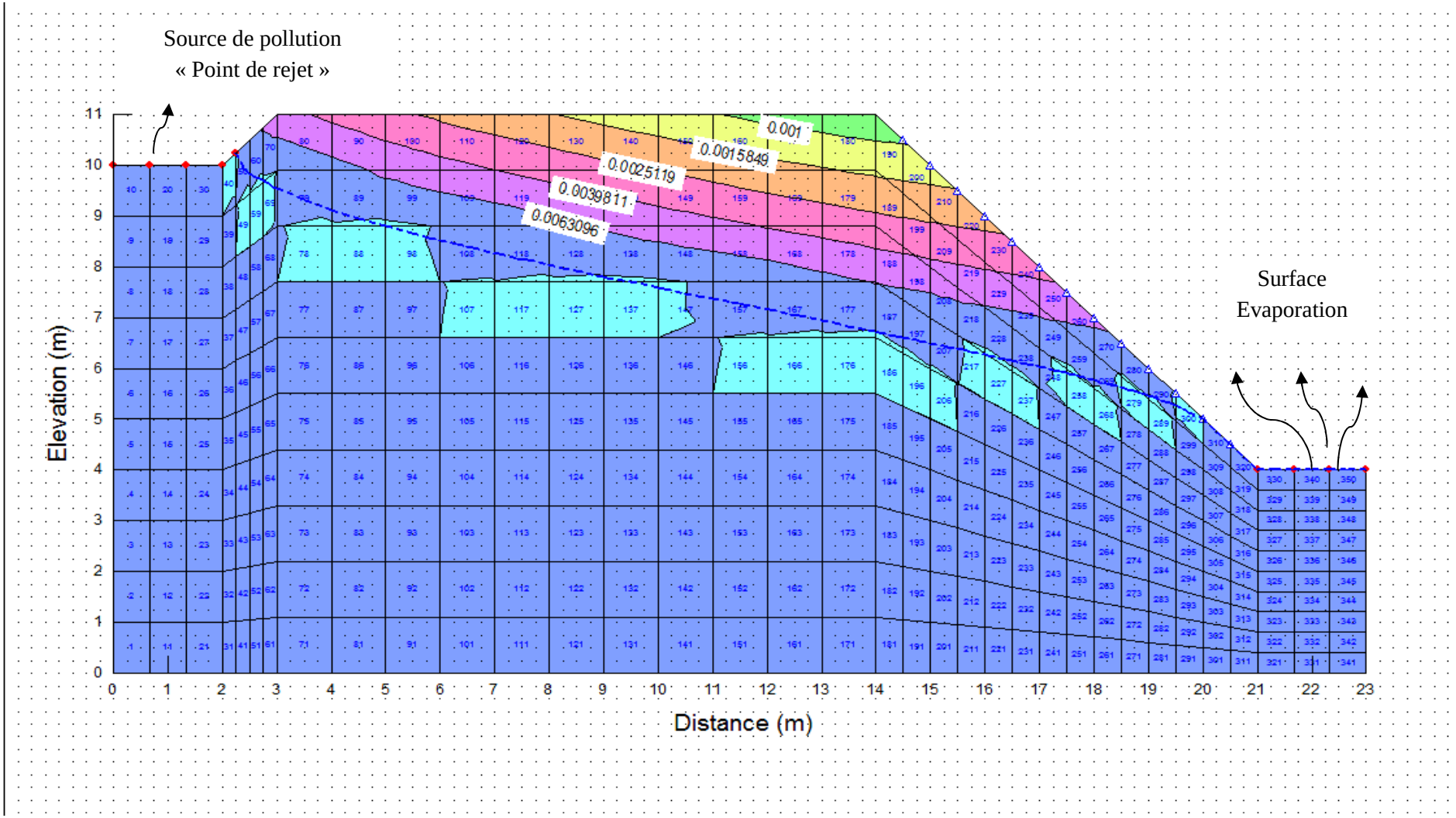


Figure N° IV.1. : Valeurs de la conductivité hydraulique dans la couverture et les rejets pour la période hivernale
Cas de saturation (.nappe saturée)

2ème cas : Nappe non saturée :

Condition aux limites :

La concentration niveau bas ; Cb=0mg/l,

La concentration niveau haut; Cb=10mg/l,

Conductivité hydraulique ; 0,001 cm S^{-1}.

Pour le cas N°02, on observe que la dégradation de contaminant en fonction de temps, alors que les rejets présentent une dé-saturation plus grande (Figure N° IV.2) colonne à la fin de la simulation. Ceci nous indique que, pour les conditions appliquées à ce modèle, une dé-saturation plus marquée a cause de la dé-saturation de la nappe.

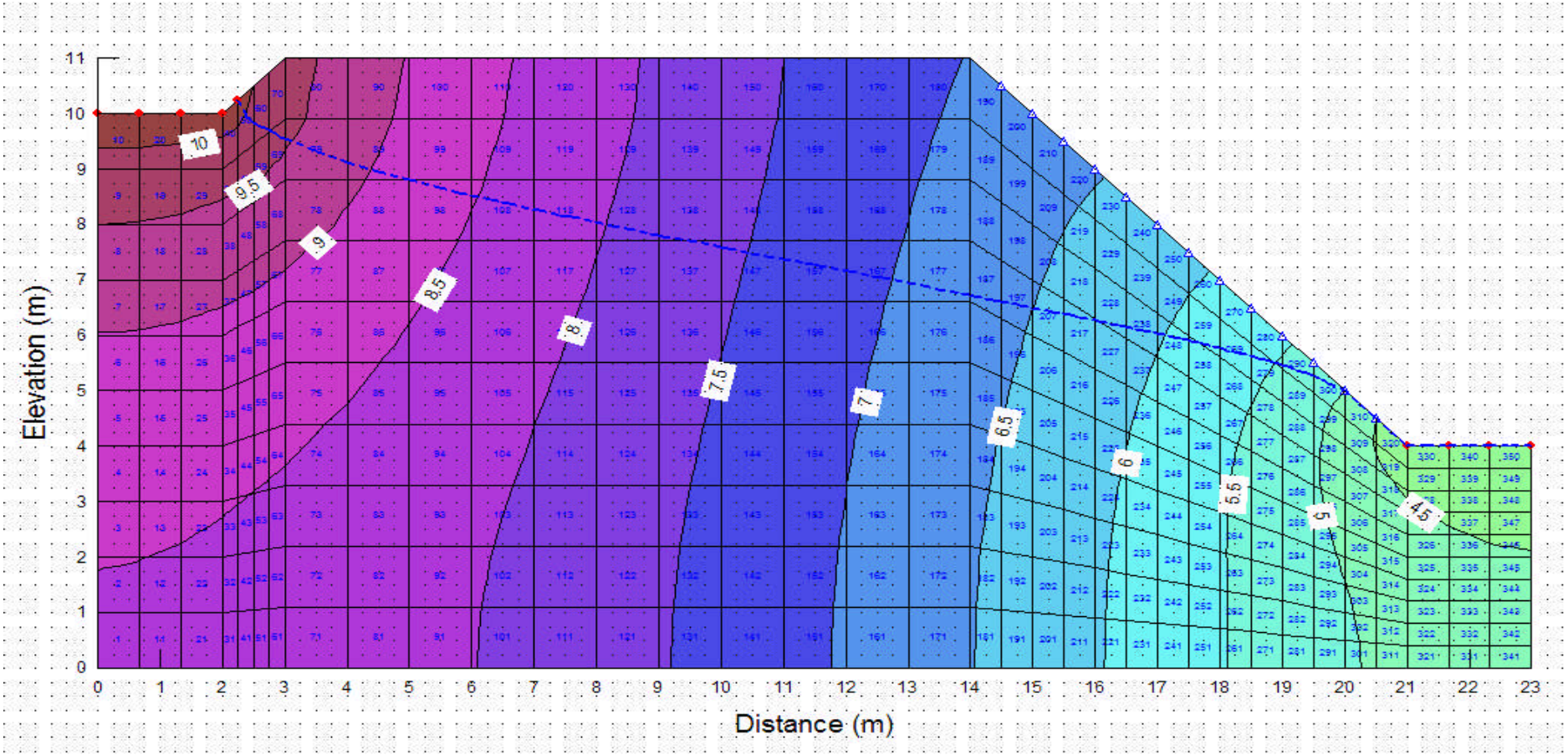


Figure N° IV.2. : Valeurs de la conductivité hydraulique dans la couverture et les rejets pour divers pas de temps Cas de désaturation (.nappe désaturée)

Conclusion Générale

A la lumière des résultats des analyses et de simulation obtenus, il s'est avéré que les eaux du l'oued El Harrach sont de qualité mauvaise à très mauvaise. Cette dégradation de la qualité des eaux est principalement générée par le déversement des rejets des eaux usées urbaines et industrielles dans l'oued sans aucune épuration préalable. Cet état est encore plus alarmant pendant les années de sécheresse et pendant les périodes d'étiage en raison des faibles débits d'écoulement qui ne permettent pas de bonnes conditions de dilution et d'auto-épuration.

Afin de préserver la qualité des eaux et de réduire l'ampleur des dégâts causés par ces rejets, des mesures immédiates de dépollution méritent d'être proposées dans les plus courts délais. Cette étude nous a permis d'avoir un constat sur la qualité des eaux résiduaires industrielles des trois échantillons étudiés à partir de données et d'informations rassemblées au cours de notre travail avec une simulation par le logiciel (SEEP/CTRAN/W2007 adapte de GEO-SLOPE, 2007) de niveau de pollution issue de la zone industrielle d'El Harrach . Mais il est bien évident que des analyses partielles et irrégulières ne présentent souvent pas la précision et la rigueur indispensable, pour cela nous poserons des questions de l'avenir de ces eaux résiduaires industrielles, afin de mettre en œuvre une politique de sécurité et de protection de l'environnement :

- Quelle sera la qualité des eaux rejetées par ces installations vis-à-vis de la contamination des milieux récepteurs naturels, et donc dans la faune et la flore aquatique et marine?
- Quel est le devenir de ces polluants dans la colonne d'eau, le sédiment, la faune, la flore et dans la chaîne alimentaire ?
- Quel est l'impact sur la santé publique ?

A cette effet, chacun d'entre nous porte une responsabilité morale, nombreux sont les acteurs potentiels qui peuvent participer à amoindrir et maitriser les problèmes liés aux eaux résiduaires industrielles dans la région. Il est impératif de promouvoir une gestion intégrée et durable et de renforcer les mécanismes de participation de la société civile.

BIBLIOGRAPHIE

[1]. **Emilian. K, 2009.** Traitement des pollutions industrielles: Eau, Air, Déchets, Sols, Boues, 2éme édition, DUNOD, PARIS.

[2]. 1er Rapport du Conseil sur la qualité de l'environnement de la Maison Blanche, 1965, in Ramade, 2002.

[3]. **Ngô .C., Régent .A, 2004.** Déchets et pollution, Impact sur l'environnement et la santé, préface de Bernard Bigot, Dunod. Paris .3 p**.**

[4]. **MIZI A, 2006.** Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba.

[5]. **Faurie. C., Ferra .C., Medori .P et *al* , 2003.** Ecologie : approche scientifique et pratique, 5éme édition, Lavoisier technique et documentation, Paris.

[6]. **Djilani .C, 2006.** Analyse et traitement des eaux de rejets de l'unité VCM du complexe pétrochimique de Skikda, Mémoire de Magister. Université de Skikda.

[7]. **G. Gros Claude, 1998**. L'eau, Usages et polluants, édition Paris. pp143-149.

[8]. **Gérard Gros ,1998** ; Valiron F, Tabuchi JP, 1992.

[9]. **Peter T.J et *al*, 2003** ; Davida V et *al*, 2003 in Djilani .C.

[10]. **Mekhalif .F, 2009**. Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme d'eau d'appoint dans un circuit de refroidissement, Mémoire de Magister. Université de Skikda.

[11]. **S. W. Chiu, K.M. Ho., S. S. Chan., O.M. So and K.H. Lai , 2006**. Characterization of contamination in and toxicities of a shipyard area in Hong Kong, Environmental Pollution, Issue 3, Volume 142, August 2006. pp 512-520.

[12]. **Aurigi .S., Focardi .S., Hulea.D and Renzoni .A**, Organochlorine contamination in bird's eggs from the Danube Delta,Environmental Pollution, Issue 1, Volume 109, July 2000, p p 61-67.

[13]. **Rodier .J et *all* , 1996**. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édition. DUNOD. PARIS.

[14]. **Olivier. A, 2005**. Chimie et pollutions des eaux souterraines. LAVOISIER.

[15]. **Galaf .F et Ghannam. S, 2003**. Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin. Mémoire d'ingénieur d'état. Université HASSAN II. RABAT. ROYAUME du MAROC.

[16]. **BOTTA.A., BELLON.L,2001** .Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale. Université Euro-Méditérranée TEHYS**.**

[17]. **BELLON.L,2001** .Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale. Université Euro-Méditérranée TEHYS**.**

[18]. **Peter T.J., Biggs S.J., Weeir L.K et Keating A.B, 2003**. Nitrate in groundwaters of intensive agricultural areas in coastal Northeastern Australia-Agriculture, Ecosystems and environnement , pp 49-58.

[19]. **Geddah. D , 2003**. Evaluation de la pollution industrielle et urbaine dans la région de Skikda: impact sur l'écosystème marin côtier. Thèse de Magister. Université d'Annaba.

[20]. **JORA, 2006**. Journal Officiel de la République Algérienne. Décret ministériel n°06-141., du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

[21]. **BERNIE.F et CORDONNIER. J , Novembre 1991**. Traitement des eaux. TCHNIP. France..

[22]. **Mechati .F, 2006**. Etude des paramètres physico-chimique avant et après traitements des rejets liquides de la raffinerie de SKIKA. Mémoire de magister. Université de Skikda.

[23]. Journal officiel de la REPUBLIQUEALGERIENNE N°60 28 Joumada Ethania 1426 4 août 2005

[24]. Journal officiel de la REPUBLIQUEALGERIENNE N°36 14 juillet 1993

[25]. Journal officiel de la REPUBLIQUEALGERIENNE N°14 25 moharram 1425 10mars2004

[26]. Journal officiel de la REPUBLIQUEALGERIENNE N°36 27 joumada ethania1430 21juin2009

[27]. Journal officiel de la REPUBLIQUEALGERIENNE N°26 24 Rabie El Aouel 1427 23 avril 2006

[28]. Journal officiel de la REPUBLIQUEALGERIENNE N°26 . 28 Rabie El Aouel 1431 14 mars 2010

[29]. Journal officiel de la REPUBLIQUEALGERIENNE N°63. 25 Ramadhan 1428 7 octobre 2007

[30]. **Meinck .F., Stooff .H ., Kohlschütter .H, 1977**. Les eaux résiduaires industrielles, 2ème Ed. Masson, paris, 863p.

[31]. **(Miller C. T ., Poirier- McNeill M. M., Mayer A. S. 1990) : "** Dissolution of trapped nonaquous phase liquids: mass transfer characteristics", *Water resources* , vol 26, n°11 , pp2783-2796.

[32]. **(Reid R .C , Prausnitz J.M., Poling B.E) :** "The properties of gases and liquids", *Mc Graw – Hill, New York*

[33]. **(Miller C. T., Cgristacos G., Imhaff P. T ., McBride J.F ., Pedit J. A., Trangestein J. A. 1998)** : « Multiphase flow and transport modeling and heterogeneneous porous media : challenges and approaches » , *Advances in Water Resources,* vol, 21, n°2, pp. 77-120.

[34]. **Leverett M.C. (1941)** : « Capillary Behavior in Porous Solids », *Trans. Soc. Pet. Eng. AIME* , vol. 142, pp. 152-169.
[35]. **(Aziz et Settari, 1979 ; Stone, 1973)** : « Petroliuim reservoire simulation » , *Applied Science Publ., Ltd., London*
[36]. **Lenhard R. J., Parker J. C. (1987)** : « Measurement and prediction of saturation-pressure relationships in three-phase porous media systems », *Journal of Contaminant Hydrology*, vol. 1, pp. 407-424.
[37]. **Bathe, K-J. (1982).** *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*. Prentice- Hall.

[38]. **Huyakorn, P.S., Pinder, G.F. (1983**). *Computational Methods in Subsurface Flow*. Academic Press inc., San Diego, USA.

[39].**Chapuis, R.P. (2003).** Permeability Tests in Rigid-Wall Permeameters: Determining the Degree of Saturation, its Evolution, and its influence on the Test Results. *Geotch Test J.*, 27(2)

[40]. **Bussière, B., Aubertin, M., Mbonimpa, M., Molson, J.W., Chapuis, R.P. (2007).** Field experimental cells to evaluate the hydrogeological behaviour of oxygen barriers made of silty materials. *Canadian Geotechnical Journal*, 44(3): 245-265.