

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

جامعة سعد دحلب البليدة
UNIVERSITE SAAD DAHLEB - BLIDA



UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB - BLIDA

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et de l'Environnement

MEMOIRE DE MASTER

Filière: **Hydraulique**

Spécialité : **Sciences de l'Eau**

Thème :

**Etude du transfert des rejets eaux de surface- eaux souterraines
au niveau de la zone de Baraki
(Plaine de la Mitidja)**

Présenter Par :

GHESSAB Abdelmadjid

Dirigé par :

Mr : GUENDOOUZ Abdelhamid

Promotion October /2012

Dédicace

A mon cher père qui a toujours été près de moi, pour m'écouter et me soutenir. Puisse ce travail exprimer le respect et l'amour que je lui porte.

A ma chère mère qui n'a ménagé aucun effort pour m'aider et m'encourager. Veuillez trouver en ce travail la consolation et le témoin de la patience et de l'amour.

A mes sœurs Khadidja, Anfal et Marama à qui je souhaite tout le bonheur du monde. Vous avez toujours été pour moi d'une aide très précieuse.

A toute ma famille sans oublier mes chères grand-mères

A tous mes amis.

A tous ceux qui ont confiance en moi.

G. ABDELMADJID



REMERCIEMENTS

Tout d'abord je remercie le bon DIEU LE TOUT PUISSANT de m'avoir donné le courage d'arriver à ce stade du savoir.

Avant de présenter mon travail, j'adresse mes remerciements les plus distingués à tous les enseignants du département de science de l'eau et de l'environnement Faculté des Sciences de l'ingénieur de Blida . Et plus particulièrement à mon promoteur :

Mr Guendouz Abdel Hamid pour tous ses conseils, sa coopération et pour son précieux encadrement.

Je remercie également Mr. Ali pour son aide.

Un énorme merci à toutes les personnes de l'Agence du Bassin Hydrographique, sans oublier Monsieur Faouzi, L'Agence National Des Ressources Hydrique de Bir-mourad Reis et SEAAL de Kouba surtout Melle Fairouz

Je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou

De loin à la réalisation de ce travail.



Résumé :

Le présent travail consiste en une étude géologique et hydrogéologique de la plaine de la Mitidja qui vit une crise sévère de son environnement, en termes de pollution des eaux superficielles et souterraines, notamment dans la région d'El Harrach et Mazafran.

L'étude entreprise dans le cadre de ce mémoire consiste à examiner et interpréter les données chimiques relatives aux eaux des rejets qui nous permette une relation qualitative entre les eaux superficielles et souterraines, ceci nécessite une évaluation de la pollution dans l'ensemble de la zone de la Mitidja et explication des transferts de cette pollution à travers des sols.

Le choix de ce thème a été guidé par le souci d'examiner de la zone non saturée, dont la compréhension de transfert des polluants est assez complexe, car gouvernée par des mécanismes hydrodynamique et chimique intervenant à des échelles spatiales différentes.

ملخص :

العمل الحالي هو القيام بالدراسة الجيولوجية والهيدروجيولوجية لسهل متيجة التي تعيش أزمة حادة في بيئتها من حيث تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية، ولا سيما في مجال الحراش ومزفران.

الدراسة التي أجريت كجزء من هذه الأطروحة هو دراسة وتفسير البيانات الكيميائية على مياه الصرف التي تسمح لنا علاقة بين نوعية المياه السطحية والجوفية، وهذا يتطلب تقييما للتلوث في المنطقة كلها بشرح كيفية انتقال هذا التلوث من خلال التربة.

وقد استرشد اختيار هذا الموضوع هو الرغبة في دراسة المنطقة غير المشبعة، حيث أن فهم عملية نقل الملوثات معقد جدا، والتي تحكمها آليات الهيدروديناميكية والكيميائية التي تحدث في مستويات مكانية مختلفة.

Abstract:

The present work is a study of the geological and hydro geological Mitidja plain lives a severe crisis of its environment in terms of pollution of surface and ground water, particularly in the area of El Harrach and Mazafran.

The study undertaken as part of this thesis is to examine and interpret chemical data on water discharges that allows us a qualitative relationship between surface and ground water; this requires an assessment of pollution in the whole area explanation of Mitidja and transfers this pollution through soil.

The choice of this theme has been guided by the desire to examine the unsaturated zone, the understanding of pollutant transfer is quite complex, as governed by hydrodynamic and chemical mechanisms occurring at different spatial scales.

INTRODUCTION GENERALE

Les eaux souterraines sont contaminées par des polluants venant, dans la plupart des cas de la surface du sol ou de la proximité de celle-ci, ces polluants sont transportés vers le bas par l'eau d'infiltration à travers la zone non saturée(ZNS).

Les eaux souterraines de la Mitidja ont pour origine les eaux de pluie qui tombent sur la plaine mais aussi l'infiltration des eaux des oueds traversant et communiquant en permanence avec la nappe du quaternaire. Cette nappe aquifère véritable réceptacle d'eau mais aussi de soluté, n'est pas à l'abri d'éventuelles contaminations traversés par six principaux Oueds donc l'Oued El Harrach long de 67 km qui la traverse par le centre. Au terme des chiffres :

- 250 000 m³ d'eaux usées d'origine industrielles rejetés quotidiennement dans l'Oued El Harrach ou dans l'un de ses affluents.
- Rejets urbains
- Effluents agricoles
- Fertilisation par les engrais chimiques
- L'élevage
- Divers décharges publiques

La quantité de NO₃ issue des rejets urbains de la Mitidja ferait de l'ordre de 74480 tonne de NO₃ par an dont 66,6% des rejets sont drainés par l'Oued El Harrach.

Là encore, il est très important de connaître les mécanismes de migration des produits nocifs entraînés par l'eau, d'apprécier les effets de la dispersion, des échanges avec le sol dans le but de prévoir, de contrôler, et d'intervenir pour la protection d'une nappe d'eau souterraine.

Notre travail à pour objectif de déterminer la relation qualitative entre les eaux de rejets de surface et les eaux souterraines , depuis le sol en passant par la zone non saturée (ZNS) jusqu'à la zone saturée (ZS),dans la nappe quaternaire de la Mitidja

(région de Baraki et Mazafran) qui pourraient être proche des sources de pollution. Pour ce la les données de l'inventaire des ces sources de pollution concernant la plaine de la Mitidja que mènent l'Agence National des Bassins hydrographique (ABH) ainsi les données des analyses des eaux souterraines et superficiel qui ont été exploités par l'Agence National des Ressources Hydriques (ANRH d'Alger) et (SEAAL Kouba) afin de mieux comprendre le mécanisme de transfert.

Le présent travail est structuré selon 04 chapitres :

- **La première partie** : est consacrée à une synthèse bibliographique s'attachant à résumer d'une manière générale les considérations sur les transferts d'eau et solutés dans les sols non saturés
- **La deuxième partie** : est consacrée à la présentation de la zone d'étude (La zone de la Mitidja)
 - **La troisième partie** : présente la démarche méthodologique.
 - **La quatrième partie** : est consacrée à la présentation, discussion et l'interprétation des résultats des sites retenus.

REMERCIEMENT

DEDICACE

RESUME

TABLE DE MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GENERALE1

CHAPITRE 01 : CONSIDERATIONS GENERALES SUR LES
TRANSFERTS D'EAU ET DE SOLUTE DANS LES SOLS NON SATURES

1 L'EAU DANS LE SOL.....3

1.1 Rappel des paramètres fondamentaux.....3

 1.1.1 La porosité4

 1.1.2 La densité apparente.....4

 1.1.3 L'humidité pondérale.....4

 1.1.4 L'humidité volumique.....5

1.2 les états de l'eau dans le sol.....5

 1.2.1 Les divers types de l'eau.....5

 1.2.2 L'état énergétique de l'eau.....7

2 CARACTERES FONDAMENTAUX DE LA ZONE NON SATUREE.....11

 2.1 La texture du sol.....12

 2.1 La structure du sol.....13

3 LA CIRCULATION DE L'EAUX DANS LE SOL.....13

 3.1 Ecoulement en conditions saturés.....14

 3.2 Ecoulement en conditions non saturés.....15

4	LES PROCESSUS DU TRANSFERT.....	17
5	MECANISMES HYDRODYNAMIQUES DU TRANSPORT DES POLLUANTS DANS LE SOL.....	18
5.1	Introduction.....	18
5.2	Notions générales sur les mécanismes de transfert des contaminants dans un milieu poreux : application au cas des métaux lourds.....	19
5.3	Phénomènes Fondamentaux.....	20
5.3.1	La convection.....	21
5.3.2	Dispersion hydrodynamique.....	21
5.3.2.1	Diffusion moléculaire – Loi de Fick.....	22
5.3.2.2	Dispersion cinématique.....	23
5.4	Modèles de transfert.....	24
5.4.1	Équation Convection – Dispersion.....	24
5.4.2	Modèle Mobile – Immobile.....	25
	Conclusion.....	27

CHAPITRE 02 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1	SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE DE MITIDJA.....	28
2	LIMITES DE LA ZONE D'ETUDE.....	29
3	CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	30
3.1	Litho stratigraphie et géomorphologie.....	31
3.1.1	La structure de Sahel.....	31
3.1.2	La série stratigraphique.....	31
3.1.3	La plaine de la Mitidja.....	33
3.1.3.1	Le quaternaire.....	33
3.1.3.2	Le pliocène.....	38
4	CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.....	39

4.1	Reconnaissance des aquifères.....	40
4.1.1	L'aquifère Astien.....	40
4.1.2	L'aquifère alluvial de la Mitidja.....	41
4.2	Le réseau hydrographique de la Mitidja.....	43
Conclusion.....		44
5 CONTEXTE HYDROCLIMATOLOGIQUE DE LA ZONE DE LA MITIDJA.....44		
5.1	La pluviométrie.....	45
5.2	La température.....	45
Conclusion.....		46

CHAPITRE 03 : METHODOLOGIE

1	INTRODUCTION.....	47
2	PRESENTATION DES SITES RETENUS.....	47
2.1	Contexte Géographique.....	48
2.2	Contexte Hydrographique.....	49
2.3	Contexte Hydrogéologique.....	50
3	LES DIFFERENTES SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION.....	53
3.1	Pollution d'Oued El Harrach.....	53
3.1.1	Topographie et pédologie de la vallée d'Oued El Harrach.....	53
3.1.2	Des chiffres calamiteux.....	54
4	ACTIVITE INDUSTRIELLE DANS LA MITIDJA.....	56
	• INVENTAIRE DES UNITES INDUSTRIELLES CLASSEES POLLUANTES DANS LE SITE RETENU.....	59
5	BASE DE DONNEES.....	61
5.1	Qualité des eaux souterraines de la zone d'étude.....	61
5.1.1	Paramètres physico-chimiques.....	61
5.2	Qualité des eaux superficielles de la zone d'étude.....	63
6	METHODES D'ANALYSES.....	65

6.1 Techniques d'analyses.....	65
6.1.1 Absorbation atomique.....	65
6.1.2 Chromatographie ionique.....	67
6.1.2.1 Mécanismes et éluant.....	67

CHAPITRE 04 : DISCUSSION ET INTERPRETATION DES SITE RETENUS

1 INTRODUCTION.....	68
2 DONNEES A L'ECHELLE DE LA MITIDJA	68
3 APERCU SOCIO-ECONOMIQUE.....	69
4 DISCUSSION DES RESULTATS DES SITES RETENUS.....	70
4.1 Les eaux souterraines	71
4.1.1 Facies chimiques.....	71
4.2 Les eaux superficielles.....	72
5 CORRELATIONS.....	76
5.1 Couple des éléments chimiques.....	76
5.2 Corrélations entre éléments chimiques (Eaux de surface-Eaux souterraines)....	79
Conclusion	81
 CONCLUSION GENERALE.....	 82

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

LISTE DES FIGURES

Fig.1 : Début de la pénétration de l'air dans un sol.....	3
Fig.2 : Les formes de l'eau dans le sol.....	7
Fig.3 : Distinction entre la zone non saturée et la zone saturée.....	12
Fig.4 : Classification texturale des sols.....	12
Fig.5 : Influence de la texture et de la structure du sol.....	13
Fig.6 Utilisation de géotextiles dans les chaussées à structure réservoir et distribution des métaux lourds.....	20
Fig.7 Les principales causes de la dispersion mécanique dans un milieu poreux.....	21
Fig.8 : Situation de la plaine de la Mitidja (ANRH 2010).....	29
Fig. 9 Limite de la zone d'étude.....	30
Fig.10 Formations géologiques de la plaine de la Mitidja (Bennie et Partners, 1983).....	32
Fig.11 Coupe géologique sur la formation de la Mitidja	34
Fig.12 Principaux Oueds de la Mitidja (ANRH Blida).....	43
Fig.13 : Carte pluviométrique de la plaine de la Mitidja (ANRH Blida).....	44
Fig.14 Carte des bassins de la zone d'étude (ANRH).....	47
Fig.15 Carte de situation géographique de (Bassin d'El Harrach ANRH).....	48
Fig.16 Carte de situation géographique de (Bassin de Mazafran ANRH).....	49
Fig.17 Carte de situation Hydrographique de bassin d'El Harrach.....	50
Fig.18 Carte de situation Hydrographique de bassin de Mazafran.....	50
Fig.19 Carte positionnement des sondages électriques de Bassin d'El Harrach (ANRH).....	51
Fig.20 Coupe géo électrique de Bassin d'El Harrach (ANRH).....	52
Fig.21 Carte positionnement des sondages électriques de Bassin Mazafran (ANRH).....	52
Fig.22 Coupe géo électrique de Bassin Mazafran (ANRH).....	52

Fig.23 Fond de carte Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH).....	54
Fig.24 Pollution d'Oued El-Harrach.....	55
Fig.25 Enjeux écologique et socioéconomique liées aux Oued El Harrach.....	55
Fig.26 Carte des risques de pollution dérivant des industries de la nappe alluviale de la Mitidja.....	57
Fig.27 Champs de captage dans la zone d'étude.....	63
Fig.28 Activités industrielles dans la Mitidja.....	68
Fig.29 L'ensemble de couples des éléments chimiques.....	78
Fig.30 L'ensemble des corrélations entre éléments chimiques.....	80

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Récapitulatif des principaux types d'eau et leur état énergétique (Jean-François Arantossy 1978).....	10
Tableau 2 : Distribution générale des formations du remplissage de la Mitidja. (Sir M.Mac Donald et Partners limited, 1992).....	38
Tableau 3 : Précipitation moyennes mensuelles à différents stations (ANRH 1984/2006).....	49
Tableau 04 : Activités Industrielles dans la Mitidja (ANRH, service pédologie 2010).....	60
Tableau 05 : Répartition des unités industrielles et leur principales caractéristiques (ANRH 2010).....	62
Tableaux 06 : Inventaires des unités industrielles classées polluantes dans le site retenu (ABH 2012).....	64
Tableau 07 les résultats obtenus pour les principaux paramètres physico-chimiques. (SEAAL Kouba 2012).....	66
Tableau 08 les principaux paramètres physico-chimiques des eaux de surface (ANRH Alger 2012).....	68
Tableau 09 Grille de la classification de la qualité des eaux superficielles (ANRH 2005).....	77
Tableau 10 Grille des éléments toxiques et indésirables (ANRH 2005).....	77
Tableau 11 Echantillons d'analyse des effluents industriels.....	78
Tableau 12 Analyses mensuelles de l'eau de l'oued El Harrach (ANRH 2009).....	79

1 L'EAU DANS LE SOL :

Le sol dans sa partie non saturée apparaît comme un complexe dynamique à trois phases : **liquide, solide et gazeuse**. La variabilité temporelle et spatiale de la phase liquide d'un sol se manifeste aussi bien sur le plan quantitatif que qualitatif. L'évolution de la quantité (volume) et de la qualité (composition de l'eau) découle d'une dynamique de transferts liée aux propriétés même de l'eau et aux caractéristiques du sol. 1'

1.1 Rappel des paramètres fondamentaux :

L'eau joue un rôle majeur dans le comportement des sols non saturés. Sa cohabitation avec l'air dans les pores prend des formes variées, selon que l'eau domine et l'air ne peut se déplacer librement, ou au contraire que l'air occupe l'essentiel des pores et l'eau est bloquée aux contacts des particules, ou encore que l'eau et l'air peuvent se déplacer tous les deux. 1'

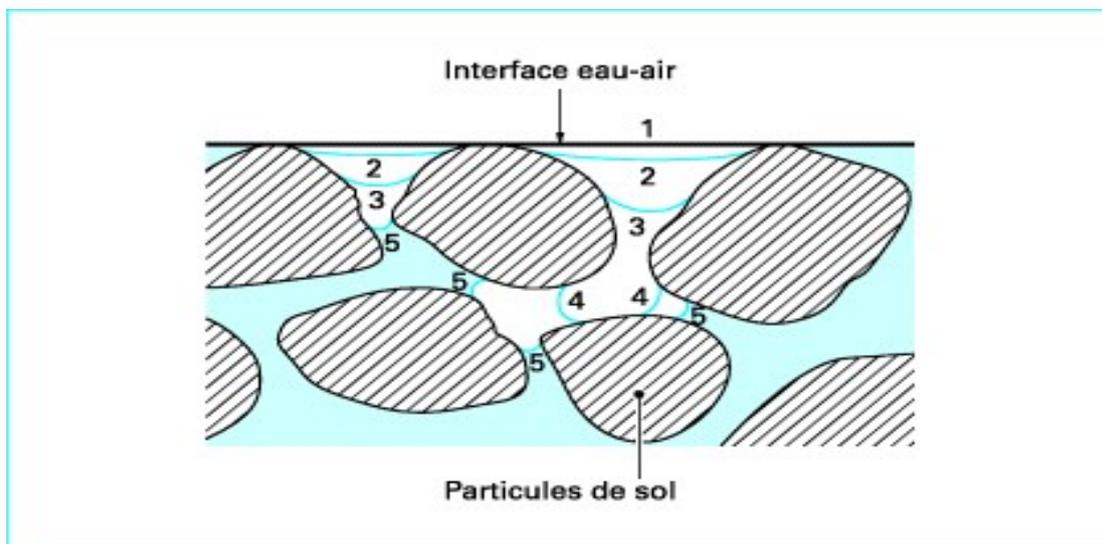


Fig.1 : - Début de la pénétration de l'air dans un sol

1.1.1 La porosité :

L'eau peut, selon le type de roche, pénétrer : c'est la **porosité** de la roche. L'eau peut aussi traverser complètement la roche : c'est la **perméabilité** de la roche.

La porosité est aussi une valeur numérique qui caractérise ces interstices, le rapport du volume des vides (volume eau + volume air) du matériau divisé par le volume total. Cette valeur est usuellement appelée Φ .

$$\Phi = (V_A + V_w) / V_t \quad \text{Eq.01}$$

Elle s'exprime généralement en pourcentage (%), théoriquement invariable, cet indice subit pourtant des fluctuations en cas des rétractions d'expansion de la matrice. 2'

1.1.2 La densité apparente :

La densité apparente (masse volumique) représente le rapport du volume de phase liquide au volume total de l'échantillon de sol :

$$D. A = V_e / V_t \quad \text{Eq.02}$$

Elle s'exprime généralement en (g/cm³). [1]

1.1.3 L'humidité pondérale :

En mécanique des sols, l'humidité pondérale ou (la teneur en eau massique) s'exprime le rapport de la masse d'eau sur la masse total de l'échantillon

$$W = M_e / M_s \quad \text{Eq.03}$$

La teneur en eau est fonction de la porosité et de la perméabilité du sol. Le volume maximal d'eau qu'un sol peut retenir est la "capacité au champ" ou capacité de

rétenion du sol qui dépend essentiellement de la granulométrie du sol. (D'après GAUCHER 1994). [1]

1.1.4 L'humidité volumique :

L'humidité volumique ou (la teneur en eau volumique) s'exprime le rapport du volume de la phase liquide au volume totale de l'échantillon de sol

$$\Theta = V_e / V_t \quad \text{Eq.04}$$

Sa connaissance est nécessaire pour les calculs de variation de stock d'eau, elle s'obtient facilement soit à partir des mesures d'humidité pondérale et de densité apparente, soit par mesures d'humidimètre neutronique. (D'après GAUCHER 1994). [1]

Notons que ces paramètres ne mettent en évidence que des rapports de masse et de volume, chaque phase étant considérée globalement. Ils ne peuvent à eux seuls caractériser l'état d'un sol. (STAKMAN 1968, FEODOROFFE 1970).

1.2 Les états de l'eau dans le sol :

1.2.1 Les divers types de l'eau :

Dans le sol, l'eau peut se trouver sous différents états : eau libre, eau liée capillaire et eau liée adsorbée. L'eau libre se déplace par gravité. Elle n'est retenue que par la présence d'eau libre autour et la pression générale qui en résulte. L'eau liée capillaire est retenue dans les interstices entre les grains par les forces de capillarité. Elle peut être mise en mouvement tout comme l'eau libre, mais seulement par gradient de capillarité et par adsorption des plantes. L'eau liée adsorbée entoure les grains sous la forme d'une couche de molécules. Cette eau, caractérisée par une forte viscosité se déplace peu et constitue souvent une fraction négligeable de l'eau présente dans le milieu poreux (De Marsilly, 1981). [2]

-
- a) **L'eau gravitaire : (gravifique, libre ou mobile)** qui circule librement dans la macroporosité du sol, se déplace essentiellement vers le bas sous l'effet de la gravité, jusqu'à rencontrer un niveau imperméable ou déjà saturé. (Polubrina-Kochina).
- b) **L'eau hygroscopique** : L'eau hygroscopique est fortement retenue par les particules de sol et n'est pas susceptible d'être déplacée sous l'action des forces gravitationnelles ou capillaires (Jaques Gallichand et Yvon Brochu)
- c) **L'eau de rétention capillaire** : qui occupe la porosité capillaire ou microporosité ; les forces de tension superficielle l'emportent sur celles de la gravité, mais l'eau capillaire peut se déplacer dans les pores et interstices (« par capillarité »). Elle peut être extraite en grande partie par l'extraction racinaire : c'est la fraction de l'eau de rétention capillaire mobilisable qui constitue la réserve hydrique dans lesquelles puise la végétation en l'absence de précipitations pour assurer son alimentation en eau. (Polubrina-Kochina).
- d) **L'eau de constitution** : fait partie intégrante de la composition chimique de la matrice, elle n'est donc théoriquement ni mobilisable, ni échangeable c'est-à-dire L'eau liée ou adsorbée forme, autour des grains, une pellicule d'environ 0,1 μ m d'épaisseur (on l'appelle aussi eau pelliculaire), rigoureusement immobile, de densité élevée ($\sim 1,5$) et ne gelant pas. C'est une eau uniquement hygroscopique (l'épaisseur de cette pellicule est en équilibre avec le degré hygrométrique de l'air dans le sol, diminuant rapidement dès que l'humidité relative est inférieure à 100 %), hors d'atteinte de la succion racinaire. Un sol qui ne contient plus que de l'eau liée provoque un manque d'eau irréversible pour les plantes qui s'y alimentaient : on appelle cet état hydrique le point de flétrissement-, il correspond, sous nos bioclimats, à un $pF \sim 4,2$. L'eau hygroscopique ne participe pas de façon «habituelle» au cycle de l'eau, et peut donc être négligée dans les calculs de bilans (mais on doit en tenir compte dans l'estimation des réserves hydriques par des méthodes d'étuvage). (JOLIBOIS et P. LEFERVRE 1965) [3]

- a) 1 l'eau de constitution
- b) 2 l'eau hygroscopique (adsorbée)
- c) 3 Réserve hydrique (eau de rétention capillaire)
- d) 4 Réserve hydrologique (eau gravitaire)

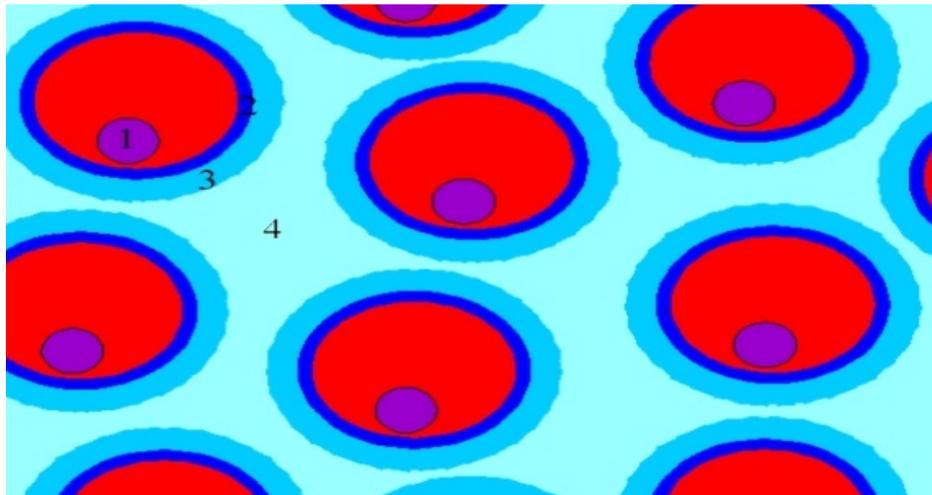


Fig.2 : les formes de l'eau dans le sol

1.2.2 L'état énergétique de l'eau :

La dynamique de l'eau résulte de l'action de différents champs de forces auxquelles elle est soumise : force de gravité, de capillarité, d'adsorption, etc. On parle ainsi d'eau gravitaire lorsque l'effet de la gravité est prépondérant, d'eau capillaire lorsque l'effet des forces de capillarité prédomine, ou encore d'eau hygroscopique pour signaler la supériorité des forces d'adsorption. Signalons cependant que cette description crée une discontinuité arbitraire entre les diverses fractions de la phase liquide. Il est donc préférable de décrire le comportement dynamique de la phase liquide en se basant sur les principes généraux de la thermodynamique et donc sur une quantification de l'état énergétique de la phase liquide en un point du sol et à un instant donné.^{3'}

L'état énergétique de la phase liquide dans le sol est ainsi caractérisé par la somme de son énergie interne (mise en jeu à l'échelle atomique), de son énergie cinétique et de son énergie potentielle. L'énergie cinétique pouvant être négligée en raison des très faibles

vitesses d'écoulement, on ne tient compte que de l'énergie potentielle. (Musy et Soutter, 1991).

- a) **Le potentiel gravitaire Ψ_g** : ou potentiel de position, c'est la densité d'énergie nécessaire pour apporter un volume élémentaire d'eau libre et pure. Il est associé au poids et qui est déterminé par la cote Z du point par rapport au niveau de référence qui est généralement la surface du sol.3'

$$\Psi_g = - \Phi_g (z - z_0) \quad \text{Eq.05}$$

- b) **Le potentiel de pression Ψ_c** : ou potentiel matriciel, l'état énergétique de l'eau dans le sol (associée à la force de liaison de l'eau avec le sol), Il représente le travail qui doit être fourni contre la pressions capillaire pour extraire du sol 1g d'eau et le porter à l'état d'un gramme d'eau pur (M.HALLAIRE). le potentiel de pression est exprimé par h, qui représente la charge hydraulique relative de l'eau du sol 3'

$$h = (P_e - P_{atm}) / \Phi_e \cdot g \quad \text{Eq.06}$$

Ou g est l'accélération de la pesanteur, P_e la pression de l'eau du sol, P_{atm} pression atmosphérique. La valeur de h dépend la teneur en eau. (V. GUJISTAITE, 2008).

- c) **Le potentiel osmotique Ψ_o** : est liée à la charge de l'eau du sol en solutés, la contribution du potentiel osmotique dans le calcul du potentiel de l'eau du sol, négligeable en générale, sauf dans les sols salés.3'
- d) **Le potentiel total Ψ_t** : quantitativement, le potentiel total de l'eau dans le sol est la somme des potentiels de gravitaire et de pression

Le mouvement de l'eau dans le sol entre deux points est donc fonction de la différence de potentiel entre ces deux points, potentiel formé de la somme des

potentiels gravitaire et matriciel. Pour que l'eau soit en équilibre dans le sol, il suffit que son énergie potentielle ou charge hydraulique soit partout la même.**3'**

Corrélativement chaque variation de potentiel entre deux points entraine un écoulement de la zone de fort potentiel vers celle de potentiel plus faible. Par référence l'eau pur (ne contenant aucune espèce dissoute), et libre (soumise uniquement à la force de gravité), à l'altitude z_0 , à la pression p_0 et à la température T_0 , a un potentiel de zéro.

La force motrice de l'écoulement est le taux de diminution de l'énergie potentielle en fonction de la distance, appelée gradient de charge. La connaissance du profil de charge hydraulique permet de connaitre le sens de l'écoulement de l'eau dans le sol. (NdjagaSOW, 2005). **[4]**

Le sol mis en présence d'eau pure exerce sur elle une attraction nommée succion. Pour lutter le contre cette adsorption du sol, il faut lui opposer une pression équivalente.

Donc un sol ayant un potentiel hydrique de 1 bar exerce sur l'eau une succion de 1 bar.

Pour rappel, 1 cm d'eau soumis à 1 gramme de pression correspond à 1 bar. (Guillaume CALU, 2004)

On trouvera sur le tableau 01 les correspondances entre les diverses catégories d'eau et leur états énergétique. **[1]**

ÉTATS CARACTÉRISTIQUES DU SOL	"TYPES D'EAU"	Pf	FORCES PRINCIPALES MISES EN JEU	P bars	DIAMÈTRE DE PORE (théorique)	MOYENS POUR LIBÉRER L'EAU
capacité maximale $\approx n$ (total capacity)	eau gravitaire à écoulement rapide	1	gravité		30 μ	gravité
capacité au champ (field capacity)	à écoulement lent	2, 2,5		0,1		
capacité de rétention (retentive capacity)	eau capillaire	2,7	tension superficielle	0,5	8 μ	dépression
"zone de rupture du lien capillaire"		3,5			3 μ	centrifugation
point de flétrissement temporaire	eau de rétention	4	adsorption	10		
point de flétrissement permanent		4,2	forces électrostatiques	15	0,2 μ	chauffage
Hygroscopicité	eau liée pelliculaire hygroscopique	7	attraction moléculaire liaisons chimiques	10000	0,06 μ	
sol sec	eau de constitution					

Tableau A.2. : Récapitulatif des principaux "types d'eau" et de leur état énergétique

R. M. U.
Réserve Utile Totale

2 CARACTERES FONDAMENTAUX DE LA ZONE NON SATUREE :

La zone non saturée présente deux aspects majeurs vis-à-vis des transferts: d'une part, le stockage d'eau et de substances dissoutes, dont la disponibilité détermine la production agricole; et d'autre part, le drainage en profondeur de la fraction mobile de l'eau ou de produits toxiques conditionnant la réalimentation des nappes respectivement la contamination des réserves en eau. [5]

Le sol est un milieu poreux, cohésif qui présente une fraction de volume de vide accessible à un fluide (Berne, 2007). Il est caractérisé par la juxtaposition des trois phases : liquide-solide-gaz.

- **La phase solide du sol** : c'est une matrice solide formée par l'assemblage des particules minérales (appelées sables, limons et argiles en fonction de leur dimension et des matières organiques en proportion variables. Les mouvements des fluides dans les interstices laissés vides appelés pores.
- **La phase liquide du sol** : c'est la phase occupant le reste de l'espace vide laissé dans les pores qui n'est pas de l'eau pure mais une solution de composition complexe et très variable. On la désigne souvent par l'expression « solution du sol ». l'eau du sol se trouve généralement sous deux formes, soit de l'eau mobile qui participe à l'écoulement, soit de l'eau immobile liée aux particules solide par des forces d'adsorption moléculaire, et piégée dans des pores isolés de l'écoulement. (Raoul CALVER ,2003 ; SZENKNECT ,2003)
- **La phase gazeuse du sol** : ou l'atmosphère du sol occupant une fraction des pores, sa composition est souvent voisine de l'air, elle dépend principalement de la proximité de l'atmosphère, en particulier de l'activité biologique. Ce mélange gazeux existe soit sous forme d'une phase continue qui s'écoule dans le milieu poreux et transporte des espèces volatiles, soit sous formes de bulles occluses piégées dans la matrice poreuse. [6]

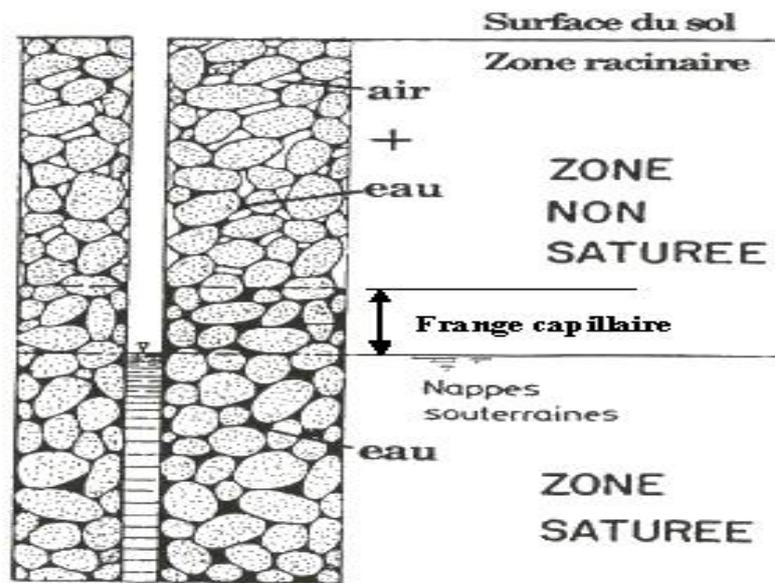


Fig.3 : Distinction entre la zone non saturée et la zone saturée.

2.1 La texture du sol :

La texture peut s'apprécier sur le terrain ou être déduite de l'analyse granulométrique qui permet, précisément, de déterminer les proportions des diverses particules, réparties en classes de dimensions. 4'

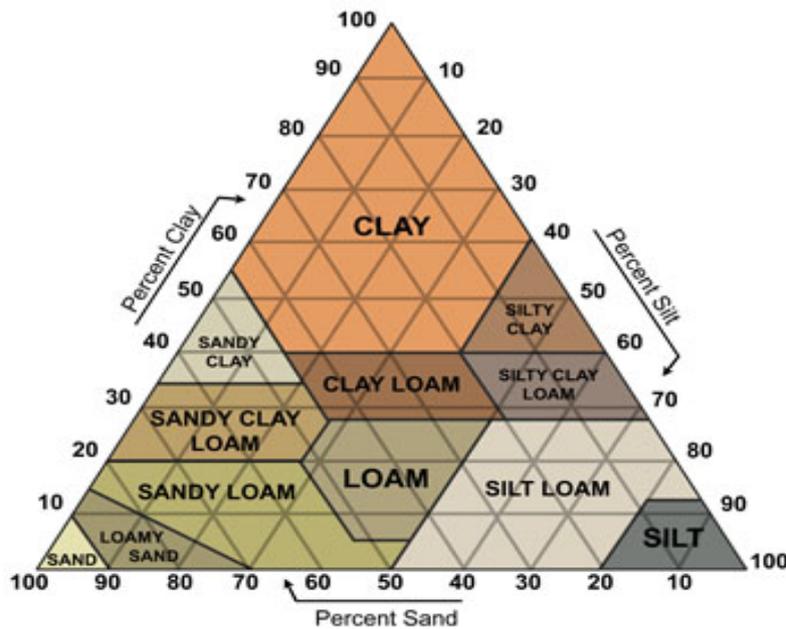


Fig.4 : classification texturale des sols

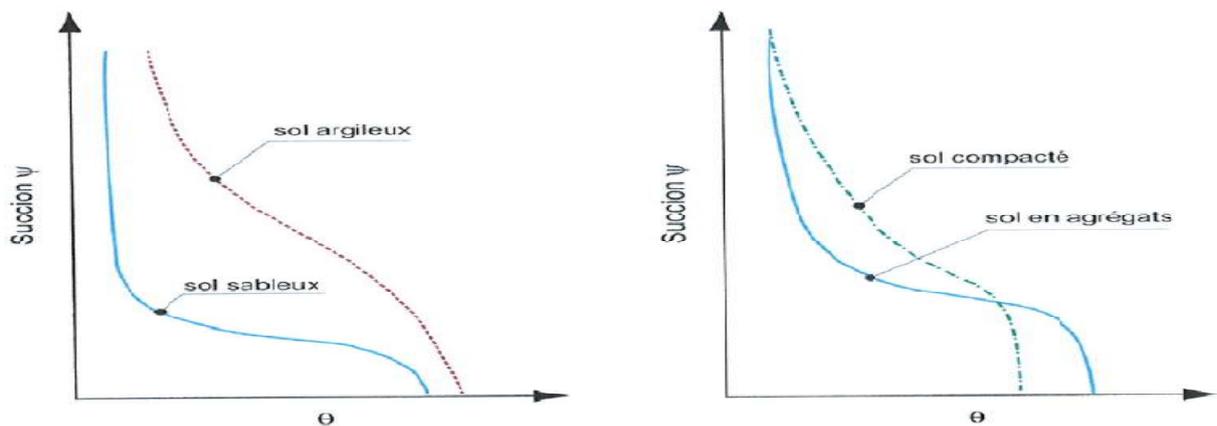
2.2 La structure du sol :

C'est une caractéristique difficilement quantifiable qui fait état de l'arrangement réciproque des particules solide.

Elle est due à la cimentation des grains grossiers (limon, sable) par éléments colloïdaux, argile et humus associés en complexes argilo-humiques.^{4'}

Les pédologues reconnaissent habituellement :

- Une structure à particules isolées
- Une structure massive
- Une structure en agrégats



**Influence de la texture et de la structure du sol
sur la fonction $\psi(\theta)$**

Fig.5 : influence de la texture et de la structure du sol

3 LA CIRCULATION DE L'EAU DANS LE SOL :

Pour les milieux poreux aux caractéristiques structurales (porosité, distribution des pores par classes de taille), et hydrauliques (conductivité hydraulique) continues, il est possible de représenter la matrice solide comme un ensemble de volumes élémentaires. Ces volumes élémentaires comprennent les trois phases du sol (phase solides, air et eau). Ils sont de dimensions suffisamment grandes pour définir l'ensemble des paramètres macroscopiques liés à l'état de l'eau dans le sol et à

l'écoulement. Ils sont de dimensions suffisamment petites pour considérer que ces paramètres sont homogènes. Ces paramètres comprennent la teneur en eau volumique θ , la masse volumique de l'eau ρ , la hauteur hydraulique (h_M), la hauteur d'eau en saturé (h) ou la succion en non saturé (ψ), le gradient hydraulique $i = \nabla h_M$, la vitesse darcienne q , la vitesse de pores V_p . Chacun des ces paramètres dépend de la position dans l'espace (x, y, z) et du temps (t).

3.1 Ecoulement en conditions saturés : [3]

Les pores sont complètement remplis d'eau. La teneur en eau volumique est égale à la porosité. L'écoulement s'opère dans tout le milieu poreux. La teneur en eau peut évoluer localement du fait des compressions de l'eau et de la matrice solide induites par la variation de la pression d'eau au cours du temps (Freeze et Cherry, 1979). La variation de la teneur en eau au cours du temps est compensée par les flux d'eau induits par les gradients de pression. Ces flux conditionnent aussi les échanges entre la zone saturée et non saturée et peuvent provoquer l'augmentation de la teneur en eau dans la zone non saturée.

D'un point de vue mathématique, la hauteur hydraulique (h_M) vérifie l'équation de Richards dans la zone saturée (Banton et Bangoy, 1999) :

$$S_s \frac{\partial h_M}{\partial t} = \frac{\partial \left(K_x \frac{\partial h_M}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(K_y \frac{\partial h_M}{\partial y} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left(K_z \frac{\partial h_M}{\partial z} \right)}{\partial z} \quad \text{Eq.07}$$

Avec S_s : emmagasinement spécifique

K_x, K_y et K_z = conductivités hydrauliques à saturation selon x, y ou z

Cette équation suppose que l'écoulement est laminaire et que le flux induit par le gradient hydraulique est linéaire par rapport à ce gradient (loi de Darcy).

$$\vec{U} = -K_{\text{sat}}(\theta) \vec{\nabla} H \quad \text{Eq.08}$$

La résolution de cette équation en tenant compte des conditions aux limites et des conditions initiales permet de déterminer en tout point du milieu poreux et en tout temps la hauteur hydraulique h_M et d'en déduire la vitesse darcienne q par la loi de Darcy. La vitesse de pores est ensuite déterminée à partir de la vitesse darcienne selon la relation :

$$\bar{v}_p = \frac{\bar{q}}{n_{\text{eff}}} \approx \frac{\bar{q}}{n} \quad \text{Eq. 09}$$

Avec n_{eff} = porosité efficace.

La porosité efficace ne prend en compte que l'eau participant à l'écoulement. L'eau adsorbée et l'eau fortement liée ne prenant pas part à l'écoulement sont exclues (Banton et Bangoy, 1999).

En conditions saturées, la porosité efficace est proche de la porosité totale n . Ces lois supposent qu'il existe une relation linéaire entre la vitesse d'écoulement et le gradient hydraulique. Le coefficient de proportionnalité est appelé conductivité hydraulique et caractérise la capacité du milieu à transmettre de l'eau.

3.2 Ecoulement en conditions non saturés : [3]

L'écoulement dans un milieu poreux correspond à la description du mouvement de l'eau dans ce milieu. Lorsque la matrice est continue et que l'écoulement est homogène, il est possible de définir en tout point du milieu $M(x, y, z)$ et pour tout temps (t) la « vitesse de pores », c'est à dire la vitesse de l'eau V_p . L'écoulement correspond alors au champ

$V_p(x, y, z)$.

La différence fondamentale avec l'écoulement en milieu saturé réside dans le fait que la conductivité hydraulique et la charge hydraulique dépend la teneur en eau c à dire, Seule une partie des pores est saturée et permet l'écoulement. La teneur en eau du milieu θ est fonction de la succion ψ . Elle a tendance à diminuer lorsque la

succion augmente. En outre, la teneur en eau est plus faible pour la même succion ψ en phase d'imbibition qu'en phase de drainage.

La relation $\theta(\psi)$ présente donc une hystérèse. Cette hystérèse résulte de l'hystérèse de l'angle de contact entre les particules solides et l'eau, de l'effet de la bouteille à encre (dû à la géométrie des pores) et du piégeage de l'air lors de l'humidification (Fetter, 1993). La conductivité hydraulique du milieu K est fonction de la teneur en eau et donc de la succion ψ . La conductivité hydraulique tend vers la conductivité hydraulique à saturation pour des succions faibles. Elle baisse de manière importante pour des succions plus fortes. La relation

$K(\psi)$ est aussi hystérétique du fait de l'hystérèse de la relation $\theta(\psi)$. Les relations $\theta(\psi)$ et $K(\psi)$ déterminent le comportement hydraulique des milieux poreux en conditions non saturées.

En conditions non saturées, la masse d'eau apportée par les flux conditionne une variation directe de la teneur en eau. La compression de l'eau et du milieu ne joue plus aucun rôle.

Dans ce cas, en supposant la loi de Darcy valable, la succion obéit à l'équation différentielle suivante :

$$\frac{\partial \left(K_x(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(K_y(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left(K_z(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \right)}{\partial z} = C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad \text{Eq. 10}$$

Ou : $C(\psi)$ est une caractéristique de $\theta(\psi)$

$K_x(\psi)$, $K_y(\psi)$ et $K_z(\psi)$ = conductivités hydrauliques selon x, y ou z

La résolution de cette équation en tenant compte des conditions aux limites et initiales pour ψ permet de déterminer, en tout point et en tout temps, la succion, la hauteur hydraulique et donc la vitesse de darcy et la vitesse de pores. La vitesse de pores est reliée à la vitesse darcienne selon la relation :

$$\bar{v}_p = \frac{\bar{q}}{\theta}$$

Eq. 11

Avec : θ = teneur en eau.

Les milieux poreux continus donnent lieu à des écoulements homogènes et facilement modélisables. En revanche, les milieux fortement structurés (sols fortement agrégés, sols de granulométrie et de distribution des pores par classes de taille hétérogènes) sont le lieu d'écoulements particuliers non continus et souvent hétérogènes.

4 LES PROCESSUS DU TRANSFERT :

La variabilité spatiale des caractéristiques hydriques du milieu, qui reflète une hétérogénéité structurale et texturale du sol (Buchter, 1995), se traduit par une distribution de vitesses d'écoulement non uniforme dans le volume poral. Des écoulements préférentiels peuvent notamment se produire.

L'eau circule alors dans le milieu à travers des voies privilégiées, impliquant donc qu'une partie de la matrice des sols ne joue aucun rôle lors du transport de l'eau. Ces flux rapides peuvent induire un transfert rapide des solutés dans les sols, des profondeurs d'infiltration plus importantes (Buttle et Leigh, 1997), et une forte variabilité de la distribution spatiale des concentrations de ces solutés (Schoen, 1999 ; Hendrickx et Flury, 2001).

Ces chemins préférentiels sont généralement provoqués par la présence de macrospores, qui peuvent être d'origine diverse (Beven et Germann, 1982) : fissures faisant suite à un dessèchement du sol, ou dus à la faune du sol, trous de racine etc. Ces macrospores jouent un rôle important dans le transport de solutés au cours de l'infiltration, avec un effet d'autant plus marqué qu'ils sont bien connectés et peu tortueux (Allaire-Leung et Allaire-Leung, 2000). Le transfert d'eau dans les macrospores est également influencé par les propriétés du sol et la teneur en eau du milieu (Weiler et Naef, 2003).

Différents processus sont impliqués dans le transport de solutés non interactifs dans le sol. On distingue :

- la convection, qui caractérise l'entraînement des solutés par l'eau en mouvement ;
- la dispersion hydrodynamique, qui associe la diffusion moléculaire (due uniquement à l'agitation, ou mouvement Brownien, des molécules transportées au sein du fluide) et la dispersion cinématique (due à l'hétérogénéité de la distribution des vitesses dans le milieu). [2]

5 MECANISMES HYDRODYNAMIQUES DU TRANSPORT DES POLLUANTS DANS LE SOL :

5.1 Introduction :

L'eau est considérée comme le principal vecteur de transport des solutés dans les milieux poreux. Au cours de son écoulement dans le sol, elle peut entraîner des éléments sous la forme dissoute (ex. des ions) ou particulaire (ex. des colloïdes et/ou des bactéries), ainsi que de l'énergie (c'est à dire de la chaleur). Les mécanismes de transport de ces éléments dans le sol, ont lieu principalement dans la phase liquide, par le réseau poreux partiellement rempli d'eau. En effet, lorsqu'un soluté (un métal dissous par exemple) pénètre dans le sol, il peut être transporté par l'eau suivant un mouvement convectif. Dans le cas où on ne s'intéresse qu'au transport de solutés non-réactifs ou réactifs (tel est le cadre de cette étude), deux phénomènes fondamentaux sont mis en jeu : la convection, due à l'écoulement massique de la solution du sol, la dispersion hydrodynamique, due à la diffusion moléculaire et à la dispersion cinématique. [7]

5.2 Notions générales sur les mécanismes de transfert des contaminants dans un milieu poreux : application au cas des métaux lourds.

En l'absence de phase liquide immiscible, le milieu poreux comprend trois phases : la phase solide, la phase liquide (eau) et la phase gazeuse (air). La phase solide comprend les particules solides mobiles (transportées par l'eau) et les particules solides formant un ensemble cohérent continu (matrice solide). Le transfert des contaminants dans un tel milieu résulte de la combinaison du transport dans chaque phase et des échanges entre les différentes phases (Hillel, 1998).

Les phases liquide et gazeuse (eau et air) se déplacent et transportent les contaminants présents en leur sein. Il en résulte un processus de transport adventif. En outre, si des gradients de concentration subsistent dans ces phases, les contaminants migrent des concentrations les plus élevées vers les concentrations les plus faibles par dispersion. Il en résulte un transport supplémentaire appelé transport dispersif. Les phases solides en mouvement participent au transport des contaminants associés aux particules en mouvement. [3]

On parle alors de transport particulaire. La phase solide fixe ne participe pas au transport des métaux. La diffusion moléculaire au sein des particules est extrêmement lente et donc négligeable par rapport aux autres processus et mécanismes de transfert par les autres phases. Les contaminants qui se lient avec la matrice solide sont donc stables et sont dits retenus. Excepté pour quelques métaux (mercure), la volatilisation des métaux est négligeable (Yong ,1992). La phase gazeuse a peu d'importance pour le transfert des métaux. Ce dernier résulte donc du transport par la phase liquide (transport aqueux), du transport par la fraction solide mobile (transport particulaire) ainsi que des échanges entre la phase liquide et la phase solide (mécanismes de rétention). Les trois composantes (transport aqueux, mécanismes de rétention et transport particulaire) sont directement liées à l'écoulement. Une bonne appréhension de ces composantes nécessite une bonne compréhension de l'écoulement dans le milieu poreux. Les géotextiles ont été aussi utilisés dans des chaussées à structure réservoir. Ces chaussées permettent

l'infiltration directe des eaux pluviales. Les géotextiles ont été placés entre le sol et la chaussée pour séparer les deux matériaux de granulométries différentes ainsi que pour drainer et filtrer les eaux pluviales (Fig.6) (Hogland et, 1987) [3]

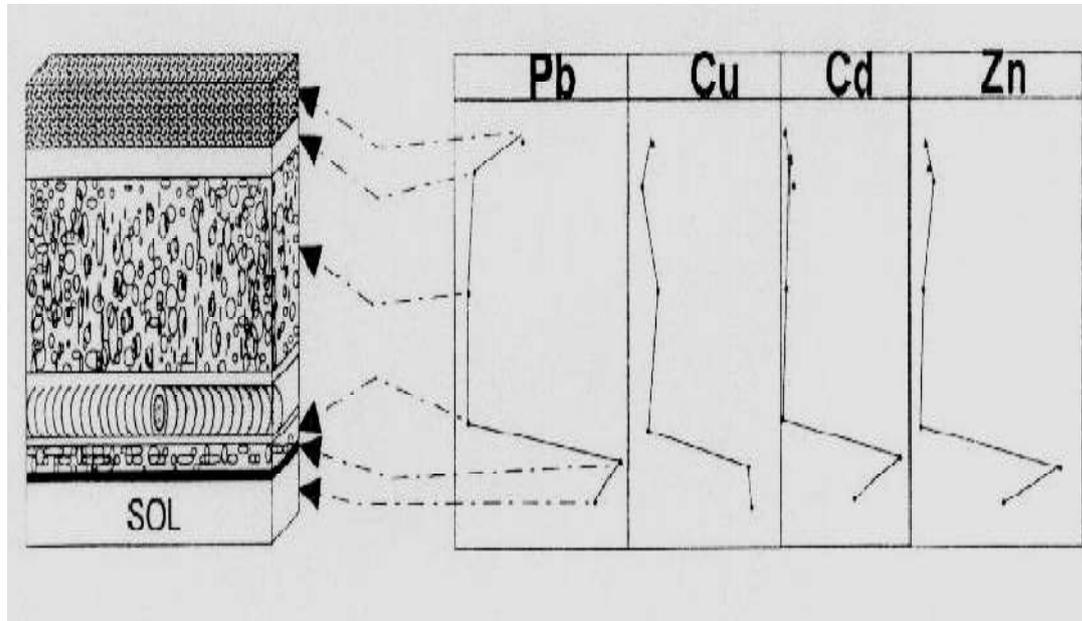


Fig.6 Utilisation de géotextiles dans les chaussées à structure réservoir et distribution des métaux lourds

5.3 Phénomènes fondamentaux :

Le transfert des polluants dans les sols se fait en interaction avec le milieu ambiante. Cette interaction entraîne généralement un retard dans la migration ou un appauvrissement en substance polluantes (atténuation naturelle). L'atténuation naturelle est ainsi le résultat de la combinaison de plusieurs phénomènes physique, chimiques et biologique dans un sol, qui peuvent modifier le comportement du ou des contaminants et peuvent aboutir à sa disparition ou modifier sa forme chimique en rendant le polluant plus ou moins mobile voire plus au moins toxique (Eddy EL TABACH, 2005). [7]

5.3.1 La convection :

La convection est considérée comme l'entraînement des éléments en solution dans le sol lors du déplacement du fluide. Le soluté suit le mouvement général de l'eau sans perturbation, à la vitesse q définie par la (loi de Darcy). En se basant sur cette loi et sur le principe de conservation de la masse, le flux de soluté transporté par convection est alors le produit de concentration en soluté (ou de la fraction volumique soluté (V_x)) et du flux d'eau, exprimé suivant la relation :

$$\overline{q_c} = V_x \cdot q = -V_x(\theta) \overline{\text{grad}}(H) \quad \text{Eq. 12}$$

Où V_x est la fraction volumique de soluté (m³)

5.3.2 Dispersion hydrodynamique:

La dispersion hydrodynamique est un phénomène résultant de l'étalement de la concentration du polluant dans le milieu. En se déplaçant, l'espèce chimique se dilue (effet du mélange) et s'étale pour occuper un volume plus grand avec une concentration corrélativement décroissante (effet de dilution). Cette propagation est régie, d'une part, par le déplacement des molécules sous l'effet de la diffusion moléculaire et, d'autre part, par la dispersion cinématique. [7]

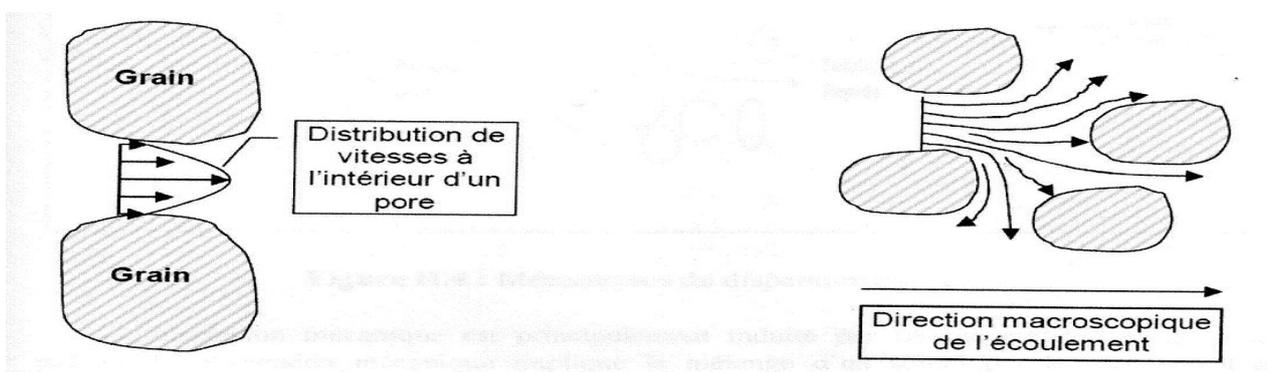


Fig.7 les principales causes de la dispersion mécanique dans un milieu poreux

5.3.2.1 Diffusion moléculaire – Loi de Fick :

La diffusion moléculaire est un phénomène indépendant de la vitesse du fluide et est dû uniquement à l'agitation des molécules (le fluide étant immobile), qui tend à rendre homogène la distribution spatiale du soluté jusqu'à une concentration uniforme par diffusion vers la zone moins concentrée.

Cette migration suit une loi classique dite « Loi de Fick » où le coefficient de diffusion moléculaire (D_0) traduit la proportionnalité du flux massique (F_s) d'ions en solution au gradient de leur concentration (C). Cette relation représente alors la première loi de Fick et est exprimée par : [7]

$$\overline{F}_s = -D_0 \cdot \overline{\text{grad}C} \quad \text{Eq. 13}$$

Où F_s : est le flux de matière transporté par unité de surface, Kg/m²S

D_0 : Le coefficient de diffusion moléculaire, m²/s

C : est la concentration massique, Kg/m³

Le signe (-) montre que la diffusion a lieu dans la direction opposée au gradient de la concentration.

Notons également que le coefficient de diffusion moléculaire (D_0) dépend de la teneur en eau et de la tortuosité des lignes de flux.

Dans le cas d'un déplacement monodimensionnel, en tenant compte de la loi de conservation de la matière, on utilise la 2ème loi de Fick :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D_0 \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \text{Eq. 14}$$

Dans le cas d'un milieu poreux, la diffusion en phase liquide interstitielle (dans les pores remplis d'eau) est modélisée par :

$$\theta \frac{\partial C}{\partial t} = D_e \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \text{avec } D_e = \frac{\varepsilon \cdot D_0}{\tau} \quad \text{Eq. 15}$$

Où D_e = coefficient de diffusion moléculaire effectif, m²/s ; τ = tortuosité des pores.

5.3.2.2 Dispersion cinématique :

La dispersion cinématique est due à l'hétérogénéité de la distribution des vitesses dans un milieu poreux. Cette hétérogénéité est soumise elle-même à trois phénomènes : (i) la non uniformité de la distribution des vitesses dans un pore (donc la vitesse est plus rapide pour les molécules situées au centre du pore), (ii) la variabilité de la dimension des pores entraînant des différences dans les vitesses de propagation (la vitesse est plus rapide pour les molécules transportées par macropores) et, (iii) La variation des lignes par rapport à la direction principale de l'écoulement. Le flux de matière transporté par dispersion, F_D , est alors exprimé par :

$$\vec{F}_D = -\overline{D}_{ij} \cdot \theta \cdot \overline{\text{grad}C} \quad \text{Eq. 16}$$

Où F_D est le flux dispersif, Kg/m²S ; D_{ij} est le tenseur de dispersion, m²/s (c'est un vecteur symétrique de 2ème ordre, et ses directions principales sont celles du vecteur de la vitesse d'écoulement, les autres directions sont perpendiculaires à la première et entre elles). Pour une dispersion tridimensionnelle, ce tenseur prend la forme de : [7]

$$D = \begin{pmatrix} D_{xx} & D_{xy} & D_{xz} \\ D_{yx} & D_{yy} & D_{yz} \\ D_{zx} & D_{zy} & D_{zz} \end{pmatrix} \quad \text{Eq. 17}$$

Plusieurs théories ont été élaborées pour décrire le transfert des solutés dans les milieux poreux. Les unes sont basées sur la description de la vitesse convective des

molécules, d'autres décrivent leur comportement dispersif dans le volume poral. Toutefois, la base fondamentale de ces théories est d'exprimer la densité de flux total du soluté par la somme des flux convectifs et dispersifs. Ceux-ci sont généralement quantifiés à l'aide de l'équation dite « Équation Convection - Dispersion (CDE) ». De même, d'autres modèles, tels que le Modèle Mobile - Immobile (MIM), sont également développés pour tenir compte de la régionalisation des écoulements. [7]

5.4 Modèles de transfert :

5.4.1 Équation Convection – Dispersion :

Ce modèle est basé sur le principe de la conservation de la masse et correspond à un écoulement homogène au sein du volume poral, régulé uniquement par les phénomènes convectifs et dispersifs. Pour un écoulement d'eau permanent, unidirectionnel, l'équation de convection -dispersion s'écrit :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v \frac{\partial C}{\partial z} \quad \text{Eq. 18}$$

Avec C : concentration de soluté (mol/l) ou (g/l)

D : coefficient de dispersion (cm²/s)

v : vitesse de pore (cm/s)

Z : espace (cm)

t : temps (s)

Le terme de gauche de l'équation représente la variation du stock de soluté, le terme de droite est la somme d'un terme dispersif (1er terme) et d'un terme convectif (2ème terme).

La résolution de l'équation convection-dispersion nécessite la connaissance préalable de la vitesse de Darcy (q), de la dispersion hydrodynamique et du facteur

de retard. Dans le cas où toute l'eau du milieu poreux participe à l'écoulement, alors la vitesse de pore est exprimée selon l'équation de la vitesse de pores.

Le modèle convection-dispersion est le plus utilisé dans l'étude du transport de solutés dans les sols. Cependant, il peut s'avérer insuffisant dans certains cas ; ce qui amène à définir d'autres modèles tels que le modèle à deux régions d'eau ou modèle mobile immobile. [7]

5.4.2 Modèle Mobile – Immobile:

Le modèle MIM est un modèle de convection-dispersion à deux régions d'eau mobile et immobile et avec un échange de solutés selon une cinétique du premier ordre entre les deux zones.

Si l'on suppose que les teneurs en eau mobile et immobile ont une répartition uniforme dans le milieu poreux, les équations du modèle MIM pour un écoulement permanent et unidirectionnel s'écrivent (Gaudet et al., 1977; De Smedt et Wierenga, 1984; Bond et Wierenga, 1990; Maraqa et al., 1997; Comegna et al., 2001; Février, 2001; Kamra et al., 2001; Szenknect, 2003):[7]

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} + \frac{\theta_{im}}{\theta_m} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = D_m \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} - v_m \frac{\partial C_m}{\partial z} \quad \text{Eq. 19}$$

$$\theta_{im} \frac{\partial C_{im}}{\partial t} = \alpha (C_m - C_{im}) \quad \text{Eq. 20}$$

Avec C_m : concentration dans la phase mobile (mol/l) ou (g/l)

C_{im} : concentration dans la phase immobile (mol/l) ou (g/l)

θ_m : teneur en eau volumique dans la région d'eau mobile

θ_{im} : teneur en eau volumique dans la région d'eau immobile

D_m : coefficient de dispersion (cm²/s)

V_m : vitesse de pore, $V_m = q / \theta_m$

α : Coefficient cinétique d'échange (1/S)

Chacun des phénomènes intervenant dans l'écoulement, est caractérisé par les paramètres des modèles CDE et MIM, possède des temps caractéristiques propres (Sardin et al. 1991). En effet, que l'écoulement soit représenté par un modèle CDE ou MIM, on peut définir identiquement un temps de séjour, t_s , correspondant au temps nécessaire à une molécule de soluté pour parcourir une distance donnée dans un milieu poreux. Ce temps résulte de tous les facteurs intervenant dans l'écoulement : convection-dispersion et diffusion, exprimé par :

$$t_s = \frac{L \cdot \theta}{q} \quad (\text{min}) \quad \text{Eq. 21}$$

Où : L est la distance à parcourir par la molécule de soluté

q est la vitesse de Darcy.

On peut également définir le temps caractéristique d'échange (ou temps de transfert de masse) t_α , qui correspond au temps au bout duquel la concentration dans la phase mobile et celle de la phase immobile sont en équilibre. Il dépend uniquement de la teneur en eau immobile Θ_{im} et du coefficient cinétique d'échange α :

$$t_\alpha = \Theta_{im} / \alpha \quad \text{Eq. 22}$$

Conclusion :

Dans cette section, j'ai présenté les concepts théoriques d'écoulement et de transport de solutés dans un milieu poreux (le sol par exemple) variablement saturé en eau. A l'issue de cette synthèse bibliographique, il apparaît que la maîtrise des écoulements en milieu poreux reste une étape essentielle dans la connaissance du comportement hydrodynamique des polluants. Les modèles, couramment utilisés (CDE ou MIM) dans les études de transport réactif ou non-réactif des solutés dans le sol, sont dans la plupart des cas insuffisants pour décrire tous les processus de transfert ou de transport. Pour compléter cette insuffisance, on opte le plus souvent pour une approche couplée dite « géochimie-transport » prenant en compte à la fois les différents mécanismes de transport et les réactions chimiques.

1 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE DE MITIDJA :

La plaine de la Mitidja est située juste au Sud d'Alger (Fig.8), Elle s'étend sur les territoires ; Wilaya d'Alger, Boumerdès, Tipaza et Blida. D'une orientation WSW – ENE et d'une altitude moyenne de 100 m, elle s'étend sur une superficie de 1300km² depuis l'oued Boudouaou à l'Est jusqu'au bassin de Menacer à l'Ouest, sur une longueur de 100 km avec une largeur qui varie de 8 à 18 km, elle est limitée :

- Au Sud par le piémont de l'Atlas.
- Au Nord par la ride du Sahel.

Elle est formée de la juxtaposition de sous bassins versants se regroupant en quatre ensembles, drainés du Sud au Nord par le réseau hydrographique. Ces principaux bassins sont :

- Bassin occidental (O. Nador).
- Bassin du Mazafran.
- Bassin d'El Harrach.
- Bassin oriental (O. Hamiz et O. Reghaia).

Elle est située entre les longitudes 2° 32'00 à 3°19'00 et les latitudes 36°24'17 à 36°47'40

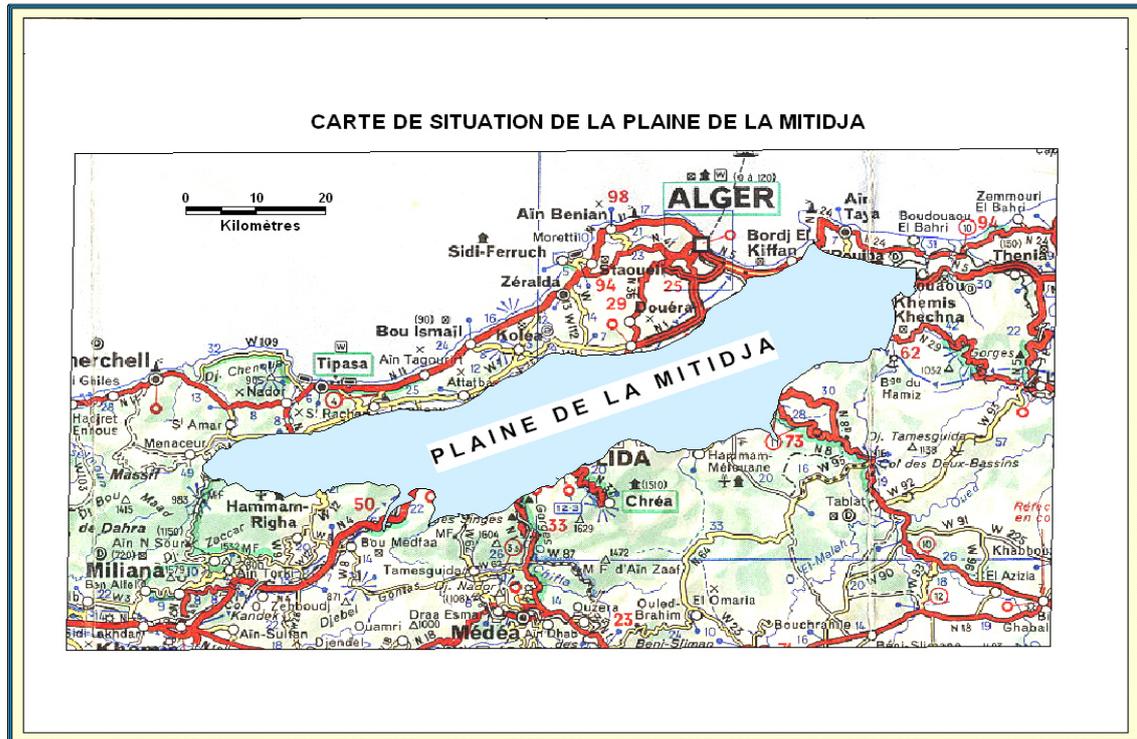


Fig.8: Situation de la plaine de la Mitidja.

La plaine de la Mitidja a différents exutoires dont les principaux sont :

- L'Oued Mazafran qui traverse le sahel par une cluse
- L'Oued El Harrach
- L'Oued Hamiz
- L'Oued Reghaia.

Ces trois derniers Oueds se jettent directement dans la mer sans rencontrer d'obstacles géomorphologiques. L'ensemble de ces Oueds permet de subdiviser la plaine en quatre compartiments. [8]

2 LIMITE DE LA ZONE D'ETUDE :

La région d'étude, représentée par la Mitidja centre et ouest, fait partie des sous bassins versants : du Mazafran et de Oued Chiffa.

Elle est limitée par le Sahel au nord, l'Atlas Blidéen au sud, Oued Bouroumi a l'ouest et Boufarik a l'Est. (figure.10).

A l'Ouest de la plaine de la Mitidja, dans le secteur de Halloula, on observe un changement de faciès sableux/argileux de la formation quaternaire. Peu de forages y ont été recensés, compte tenu notamment du faible potentiel aquifère de cette zone. Ainsi, il existe peu d'informations relatives à ce secteur de la plaine. [9]

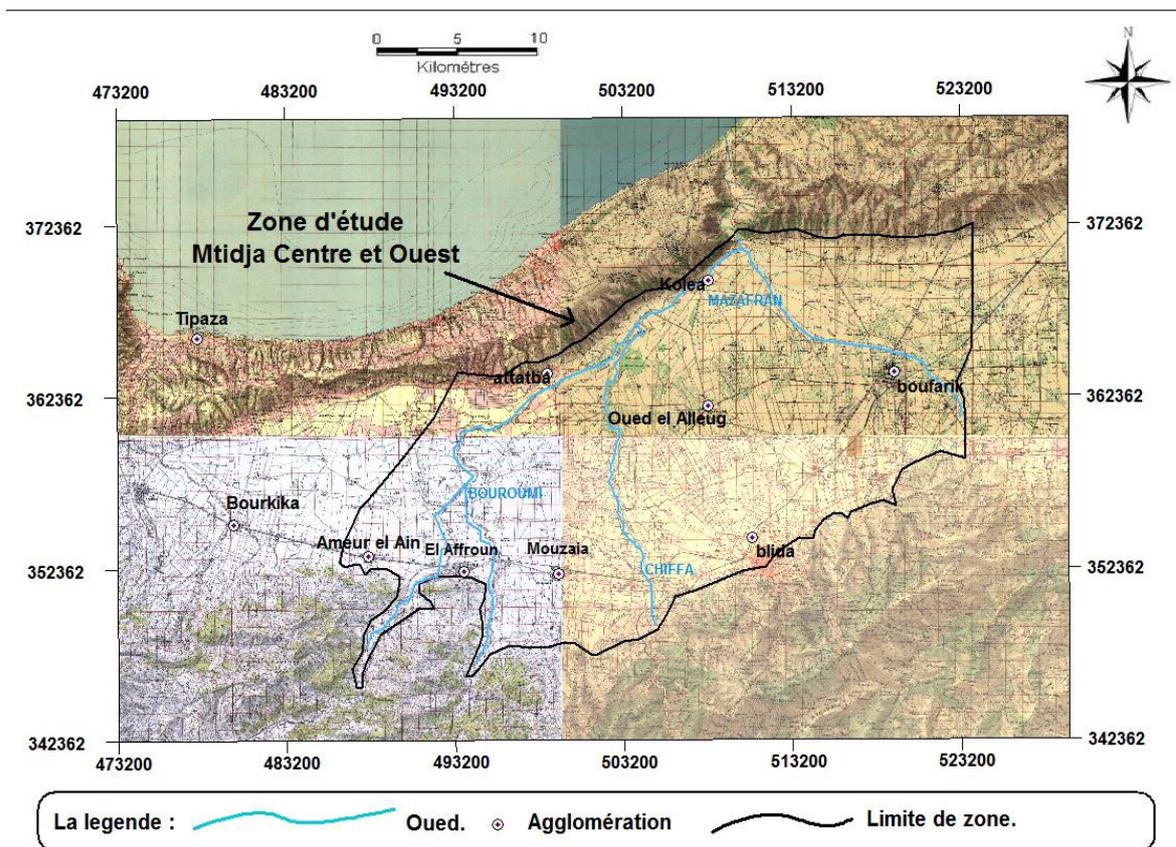


Fig. 9 Limite de la zone d'étude

3 CONTEXTE GEOLOGIQUE :

Par définition, la géologie est la science qui étudie l'écorce terrestre, ses constituants, son histoire et sa genèse.

Considérant la terre en tant que réalité minérale, elle utilise et comprend : la pétrographie, la minéralogie, la géophysique, la tectoniqueEtc.

Elle a recourt à la méthode de datation absolue (par le carbone 14) et de chronologie relative (par la stratigraphie) ; les temps géologiques sont divisés en

ères, (primaire, secondaire, tertiaire, quaternaire) elles même divisées en systèmes, en série puis en étages.

Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu géologique sur la région de la Mitidja, à partir des études et travaux antérieurs des géologues Glangeaud (1952), Aymé (1964), Muttin (1977) et Bennie and Partner (1983). (Fig.12).

La faible altitude de la plaine qui passe de la cote 14 mètres à l'entrée de la cluse du Mazafran, à la cote 270 mètre à Blida, fait que les lignes de partage des eaux entre les compartiments sont souvent confuses. En effet, depuis Boufarik (50 mètre d'altitude) jusqu'à Blida (270 mètre d'altitude) sur une distance de 13 Kilomètre la pente est inférieure à 2%. [10]

Dans ce contexte régional, la plaine de la Mitidja est limitée par deux ensembles morpho structuraux distincts : l'anticlinal du Sahel au Nord et l'Atlas Blidéen au Sud. Bien sur, le sahel n'a pas partout la même structure ; au niveau du Mazafran, c'est un monoclin à pendage sud et dans la région du Chenoua, c'est une série plissée à deux anticlinaux. [11]

3.1 Litho stratigraphie et Géomorphologie :

Dans cette étude on s'attachera essentiellement à préciser les caractéristiques lithostratigraphiques des différentes formations géologiques dans le but de préciser leurs superpositions. L'éventail des séries stratigraphiques s'étal du Primaire au Quaternaire.

3.1.1 La structure de Sahel :

Le sahel est constitué essentiellement de terrains mio-plio quaternaire, [11]

3.1.2 La série stratigraphique :

A la fin du pliocène, la Mitidja était une plaine alluviale qui s'étendait du pied de l'Atlas jusqu'au delà de la cote actuelle. Pendant la quaternaire, les cours d'eau qui parcouraient la plaine alluviale l'ont débarrassé par suite de l'abaissement du niveau de

la mer, de plus de 100 mètres au dessous du niveau actuel.les apports venant de l'Atlas par les torrents et les cours d'eau remplissent de cailloutis le synclinal Mitidjien .La vitesse d'alluvionnement étant sensiblement plus considérable que la vitesse de descente de fond, les produits d'étriques pouvant se déposer en certains points, du Sahel. Ainsi s'est formé dans le Sahel des méplats couverts d'alluvions.

La genèse de la formation de la Mitidja d'après Glangeaud peut s'expliquer par trois facteurs :

- **Plissement** : qui s'étend jusqu'à la fin de l'Eocène et durant lequel, il y aurait eu la naissance d'une zone graduellement déprimée et les terrains qui forment le substratum du bassin.
- **Remblaiement** : Cette phase est caractérisée par la transgression du Miocène et les cycles du Pliocène qui vont combler la dépression.
- **Déblaiement** : Cette troisième phase est constituée par des matériaux Néogènes. Influencé par le poids des dépôts, le bassin continu à se creuser en prenant une forme de cuvette (forme actuelle) c'est le phénomène de la subsidence.

Ces évènements géologiques ont cependant contribué à l'évolution paléogéographique et tectonique de la Mitidja. [10]

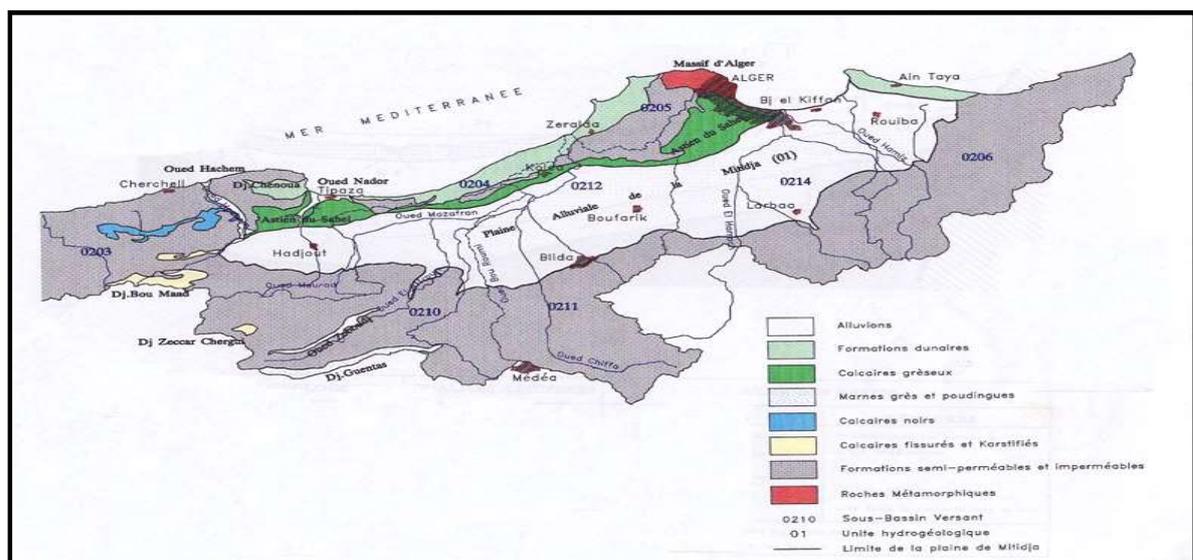


Fig. 10 : Formations géologiques de la plaine de la Mitidja (Bennie and Partners, 1983)

3.1.3 La plaine de la Mitidja :

Au sud du sahel, s'étend la plaine de la Mitidja d'une superficie de 1300 km² orientée WSW- ENE. Elle est limitée par l'Atlas Blidéen au sud, son altitude moyenne varie de 50 à 100 mètres. La pente dans la plaine tend vers zéro, ce qui favorise l'infiltration la ou les conditions géologiques le permettent.

L'étude de la succession stratigraphique du remplissage a été effectuée par de nombreux auteurs (Glangeaud ,1935 ; Aymé, 1952 ; ingénieurs de Géo hydraulique, 1972) ainsi que par l'interprétation de données récentes de forage (Binnie et partners, 1981) [12]

La synthèse des différents travaux, appuyés par de nombreux sondages hydraulique montre deux grands ensembles stratigraphiques d'âge Quaternaire et Pliocène.

3.1.3.1 Le quaternaire :

Il est constitué par les formations suivantes :

- a) La formation de la Mitidja ;
- b) Les dépôts récents ;
- c) La formation d'El Harrach (Villafranchien) ;
- d) La formation du Mazafran et Halloula (Rharbien). [10]

a. La formation de la Mitidja :

La formation de la Mitidja se compose principalement de matériaux alluviaux grossiers.

- Des graviers ;
- Des galets ;
- Des limons ou argiles en quantités variables.

Des éléments à grains fins sont présentés en quantité relativement importante dans la partie supérieure de la formation. On remarque des variations de granulométrie considérables qui se produisent dans le sens horizontal et dans le sens vertical qui sont liées aux sources de matériaux. En effet les principales sources de matériaux sont:

- Les dépôts des oueds les plus importants.
- Les cônes de déjections des piémonts de l'Atlas.

Cette formation est présentée sur toute l'étendue de la plaine à l'exception de la partie occidentale où ces matériaux passent en dessous des marnes et argile de la basse plaine du Mazafran. La formation perd de son épaisseur en traversant les piémonts en direction de son contact avec l'Atlas et vers le Nord, dans la baie d'Alger où elle se retrouve reliée à la mer en traversant les dépôts dunaires et marins.

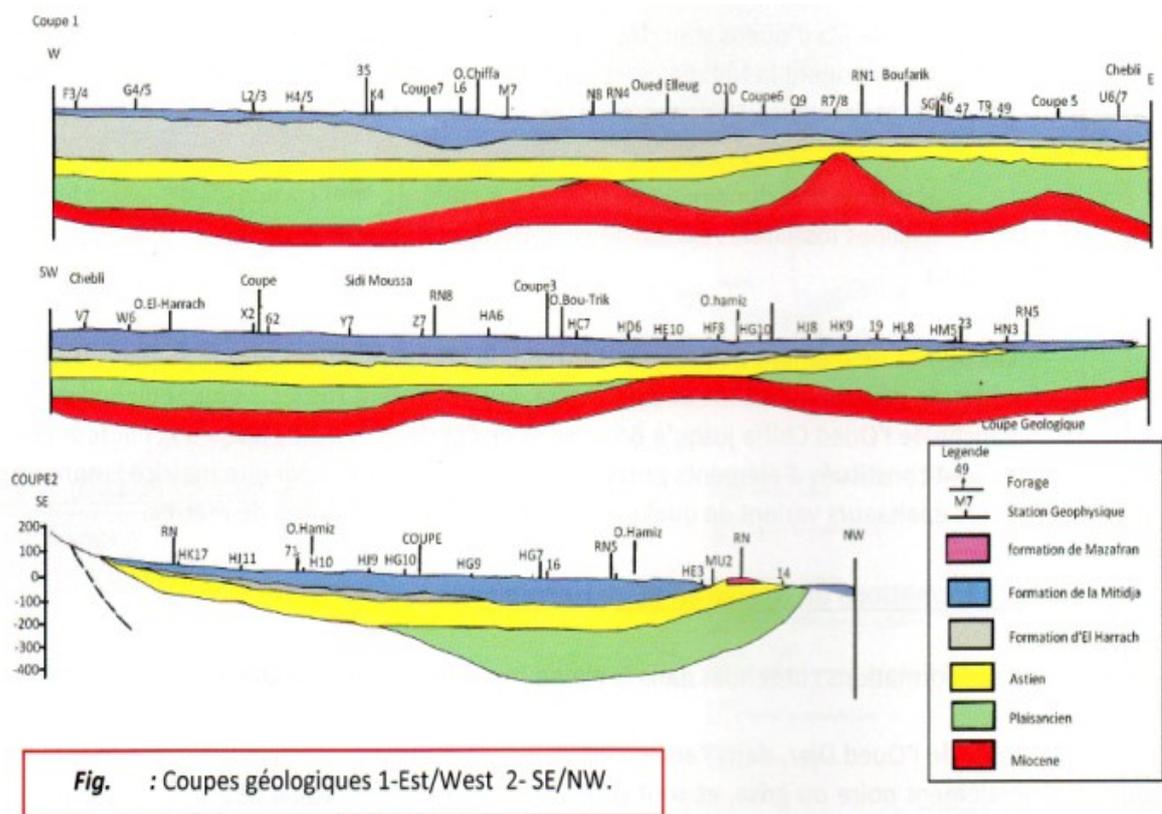


Fig. : Coupes géologiques 1-Est/West 2- SE/NW.

Fig.11 coupe géologique sur la formation de la Mitidja

b. les dépôts récents :

Ils comprennent des dépôts de lits d'Oueds, de sables dunaire et de piémont de l'Atlas :

- Des dépôts de sable dunaire ;
- Des sables et des graviers ;
- Des dépôts de piémont de l'Atlas.

Leur mise en place constitue une partie relativement peu importante par rapport aux dépôts du Mazafran, Halloula et du remplissage de la Mitidja.

Au niveau de la baie d'Alger et de la région de Réghaia, ils sont représentés par des sables dunaires.

Au niveau du piémont de l'Atlas, on trouve de gros éléments anguleux dans une matrice de limons argileux provenant des cônes de déjections.

Ils sont également localisés dans les lits d'oueds et se composent de sables fins gris et de graviers.

		Age	Formation	Lithologie	Epaisseur	Aquifère existants	
Quaternaire		Actuel / récent	Alluvions des oueds, dunes, piémont de l'Atlas	Sable / Gravier, Sables éoliens, limons argileux	< 10 m 10 à 20 m	Aquifère existants	
		Pléistocène	Rharbien	Formation du Mazafran Formation de Hallola Formations dunaires	Limons et argiles limoneuses Sables consolidés		10 à 60 m 15 à 50 m
	Soltanien Tensiftien		Formation de la Mitidja	Altérnance de graviers, de sables et d'argiles	100 à 200 m		Aquifère de la Mitidja
	Amirien Saltinien		Non identifié dans la plaine de la Mitidja	—	—		
	Villafran- chien		Formation d'El Harrach	Argiles et cailloutis	0 à 200 m moyenne 100 m		
Tertiaire		Pliocène	Astien	Grès, sables, calcaires	100 à 130 m	Aquifère de l'astien	
			Plaisancien	Marnes et argiles bleues	200 m		
	Miocène et roches plus anciennes	Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives.	Diverses mais peu significatives dans l'évolution du bassin sédimentaire	—			

Tableau 2 : distribution générale des formations du remplissage de la Mitidja. (Sir M. Macdonald et Partners limited, 1992)

c. La formation d'El Harrach :

Cette formation, connue sous le nom «formation de Maison Carrée », constitue une séquence relativement uniforme, d'argiles plastiques jaunâtres et grises à la base.

On y rencontre de minces niveaux lenticulaires de graviers et de sable. En raison de la présence de gravier, cette formation a été confondue avec les formations alluviales sus-jacentes qui sont essentiellement caillouteuses. Elle affleure dans les régions suivantes : El Harrach, le long du versant sud du Sahel et à l'ouest de Hadjout.

La formation d'El Harrach atteint son épaisseur maximale de 200m dans la partie occidentale du bassin, tandis que l'érosion a fait disparaître cette dernière dans le secteur Est, région de Reghaïa et de Rouïba entraînant un passage direct vers la formation de la Mitidja (Soltano - Tensiftien) au Pliocène supérieur. [10]

d. La formation du Mazafran et Halloula (Rharbien) :

Elle est constituée de limons et d'argiles limoneuses de couleur généralement grise à jaunâtre et contenant parfois un peu de graviers.

Les limons de la formation du Mazafran s'étendent le long de la cluse du Mazafran, ils atteignent leur épaisseur maximale à proximité de l'extrémité de la cluse, soit 60 m.

La formation de Halloula se situe à l'Ouest des oueds (Djer et Bou Roumi) où elle occupe la zone de l'ancien lac de Halloula. [10]

3.1.3.2 Le pliocène :

Il est formé par des dépôts astiens et plaisanciens bien distincts. Il est bien développé à l'Est de Kolea, à la limite du « sahel Mitidja » et apparaît très peu sur la bordure Sud près de Hadjout. Sur cette bordure méridionale le pliocène est masqué par les formations quaternaires qui viennent recouvrir les formations du paléocène (Omar Mimouni, 2010). [11]

Le pliocène comprend :

a) L'Astien :

La formation de l'Astien comporte plusieurs faciès séparés par un niveau repère glauconieux de 4m à quelques centimètres d'épaisseur.

Le faciès marno sableux jaunâtre à blanchâtre est plus répandu avec un nombre important de fossiles, associés à une sédimentation marine de haut fond (Rivoirard, 1952). Les descriptions lithologiques les plus rencontrées de l'Astien se réfèrent aux séries rencontrées dans les forages du Sahel qui l'ont atteint.

Les lithologies les plus fréquemment rencontrées sont:

- les calcaires ou calcaires sableux ;
- les grès ;
- les argiles calcaires jaunes ;
- les calcaires à faciès récifal.

L'Astien dont l'épaisseur moyenne varie entre 100 à 130 m (Bennie and Partners ,1981), il se situe généralement à des profondeurs allant de 250 à 300 m au-dessous de la surface du sol de la Mitidja.

Dans la région de Rouïba il se trouve à de faibles profondeurs car l'érosion a été très importante (Glangeaud et Aymé, 1935). Les affleurements de l'astien se rencontrent sur le côté Sud du Sahel et dans les faubourgs Sud d'Alger. [10]

b) Le plaisancien :

Il repose en discordance sur les formations du Miocène (Glangeaud ,1952). Il s'agit d'une formation constituée de niveau fossilifère glauconieux, de marnes jaunes et grises parfois sableuses.

En effet, cela correspond aux sédiments de milieu profond qui se sont déposés sur une surface d'érosion avec une épaisseur moyenne de 200 m. Les affleurements du Plaisancien en surface se rencontrent uniquement dans les collines du Sahel, Au cœur d'un plissement anticlinal et dans la zone de Khémis El Khechna, Reghaia où ils constituent la fermeture Est du bassin (Rivoirard, 1952).

4 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE :

L'hydrogéologie, dont la base fondamentale est la géologie, a pour but l'étude du bassin hydrogéologique, qui est la fraction de l'espace du bassin hydrologique située sous la surface du sol. C'est donc le domaine de l'eau souterraine.

Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable. Là, elles s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé aquifère. La nappe chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau.

L'objectif de cette étude hydrogéologique est d'identifier et d'écrire les unités géologiques ayant une importance du point de vue ressources en eau souterraine dans la plaine de la Mitidja. [12]

4.1 Reconnaissance des Aquifères :

Un aquifère est un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable. Un aquifère peut comporter une zone non saturée (définition de Margat et Castany).

En effet, cette dernière (plaine de la Mitidja) comporte deux principaux aquifères :

- ❖ L'aquifère Astien ;
- ❖ L'aquifère de la nappe alluviale (nappe de Mitidja)

L'analyse de remplissage de bassin de la Mitidja permet de distinguer de bas en haut quatre ensembles lithologiques :

- ☞ Une série marneuse plaisancienne formant le substratum que l'on peut considérer comme **imperméable** ;
- ☞ Un ensemble calcaro-gréseux, correspond à l'Astien ;
- ☞ Un ensemble argileux contenant par endroits des passées de sable et de graviers. Cet ensemble correspond à la formation dite : « formation d'El Harrach » ;
- ☞ Un ensemble gravo-sableux dite : « alluvion de la Mitidja ».

4.1.1 L'aquifère Astien :

Il subsiste sous les alluvions de la Mitidja et affleure sur les collines du Sahel et à des endroits peu nombreux le long du piémont de l'Atlas par où il est alimenté.

La formation de l'Astien généralement captive, est constituée principalement de sables et de grès plus ou moins calcaires qui reposent sur le substratum marneux du Plaisancien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de

100 m. le toit de l'Astien se trouvant généralement à une profondeur de 250m à 300m, est constitué principalement par les argiles jaunes du Villafranchien (formation d'El Harrach) qui le sépare de l'aquifère de la Mitidja hormis au Nord-Est de la plaine où les 2 formations perméables sont en contact direct.

a) Alimentation de l'aquifère de l'Astien :

Son alimentation se fait principalement par l'infiltration des pluies sur le Sahel et sur le piémont de l'Atlas où il affleure, elle est de l'ordre de 25000m³/jour. (Bennie & Partners)

Il est également alimenté par les nappes alluviales sus-jacentes, par drainante à travers la formation d'El Harrach.

b) Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère Astien :

Concernant l'aquifère de l'Astien, Les valeurs de transmissivité s'échelonnent entre $0,8 \cdot 10^{-4}$ et $2,9 \cdot 10^{-3}$ m²/s, soit des perméabilités comprises entre $4 \cdot 10^{-6}$ et $1,6 \cdot 10^{-4}$ m/s. (SOGREAH ,2008).

Il comporte néanmoins des chenaux de bonne transmissivité avec des valeurs allant de 10 à $30 \cdot 10^{-3}$ m²/s, coïncidant le plus souvent avec les chenaux transmissifs de l'aquifère alluvial. (Géo hydraulique, 1970 in Berdous.F et Bennani .K, 1997).

4.1.2 L'aquifère alluvial de la Mitidja :

La formation de la Mitidja est hétérogène, constituée de graviers et sables avec des intercalations de niveaux argileux d'âge quaternaire (Soltano-Tensiftien-inferieur) reposant sur les marnes et argiles bleus de Maison carrée (formation d'El Harrach) dont la morphologie du toit impose une inégale répartition des masses alluviales , (Glangeaud,1952).

Cette formation occupe toute l'étendue de la plaine et sa limite supérieure est libre sauf dans la zone du bas Mazafran où la nappe est captive sous les limons à faible perméabilité du Rharbien.

L'épaisseur moyenne de la nappe est de l'ordre de 100m à 200m sur la majeure partie de la plaine, et va en s'amincissant vers le sud, pour atteindre l'Atlas, (Mac Donald, 1992). [10]

a) Alimentation de l'aquifère alluvial de la Mitidja :

L'alimentation de l'aquifère de la Mitidja se fait essentiellement par :

- L'infiltration des précipitations qui a été estimée par Bennie & Partners à 21100 m³/jour (1978-1980).
- Les infiltrations à travers les oueds (Djer, Chiffa et Bouroumi).
- Les écoulements souterrains de l'Astien à travers la formation d'El Harrach où la différence de charge atteint les 10m. (Ait Ouali, 2007).

b) Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère alluvial de la Mitidja :

Cette aquifère présente des perméabilités verticales inférieures aux perméabilités horizontales, du fait des grandes variations de granulométrie et de stratification.

D'après les valeurs acquises depuis 1968, la transmissivité de l'aquifère est comprise entre 1.10^{-4} et 2.10^{-2} m²/s. (SOGREAH ,2008)

Transmissivités (BRGM, 1973 et Berdous.F, 1997) et sur les mesures ponctuelles recueillies dans les études antérieures, ou calculées à partir d'essais de pompage et des débits spécifiques disponibles.

D'après la carte des transmissivités (Toubal, 1998) on observe trois zones d'intérêt hydrogéologique :

La première zone : se localise au niveau du Hamiz avec des transmissivités qui varient entre $1,7.10^{-2}$ et $2,3 .10^{-2}$ m²/s.

La deuxième zone : se situe au niveau du bassin d'El Harrach avec des transmissivités qui varient entre $0,4.10^{-2}$ et 3.10^{-2} m²/s.

La troisième zone : se trouve au niveau du Mazafran avec des transmissivités de l'ordre de $1,5.10^{-2}$ et 2.10^{-2} m²/s.

Les faibles valeurs se répartissent dans les fonds peu perméables (l'axe de Mouzaia, Attatba, Boufarik et oued El Alleug dans la région de Meftah).

Ainsi que dans les piémonts de l'Atlas où les valeurs de la transmissivité varient entre 10^{-3} et 5.10^{-3} m²/s.

Ces zones de faibles transmissivités correspondent aux endroits où le toit des marnes est topographiquement relevé. [10]

4.2 Le Réseaux hydrographique de la Mitidja :

Les Oueds qui traversent la plaine de la Mitidja prennent naissance dans l'Atlas. Les grands axes de ce réseau sont en général perpendiculaires à l'allongement de la plaine ainsi que cette dernière, est partagée en quatre bassins fluviaux contenant les oueds suivants : Bouroumi, Nador, Mazafran, El Harrach, Hamiz et Reghaia. [11]

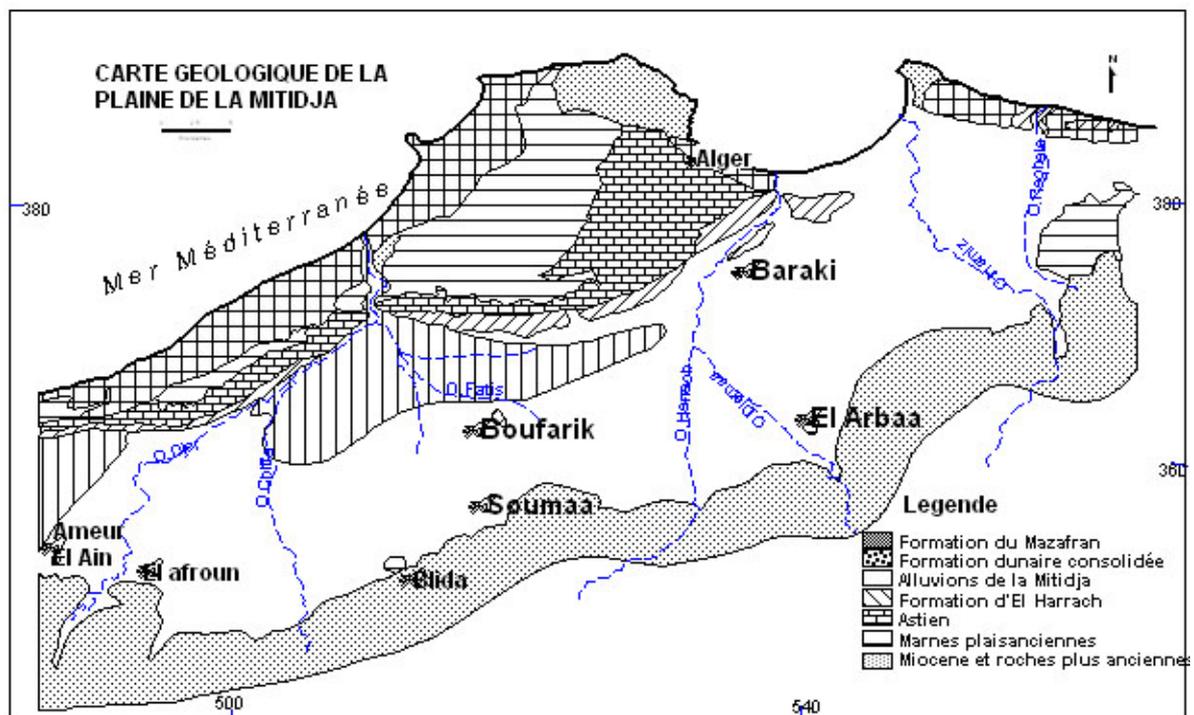


Fig. 12 principaux Oueds de la Mitidja (ANRH Blida)

Conclusion :

La plaine de la Mitidja comporte deux principaux aquifères : celui de l'Astien et celui de la Mitidja séparées par la formation d'El Harrach, sauf dans la partie Est où ils sont en contact direct.

- L'aquifère de l'Astien (calcaire - gréseux) se trouve en charge sous la formation d'El Harrach. Ses caractéristiques hydrodynamiques sont mal connues.
- L'aquifère de la Mitidja est représenté par une nappe libre sauf dans le Bas Mazafran où elle est captive.

5. CONTEXTE HYDROCLIMATOLOGIQUE DE LA ZONE DE LA MITIDJA :

La plaine de la Mitidja est soumise à un climat régional subhumide littoral caractérisant l'ensemble des plaines côtières. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral, le climat devient de plus en plus continental et l'on enregistre une baisse sensible de température. [11]

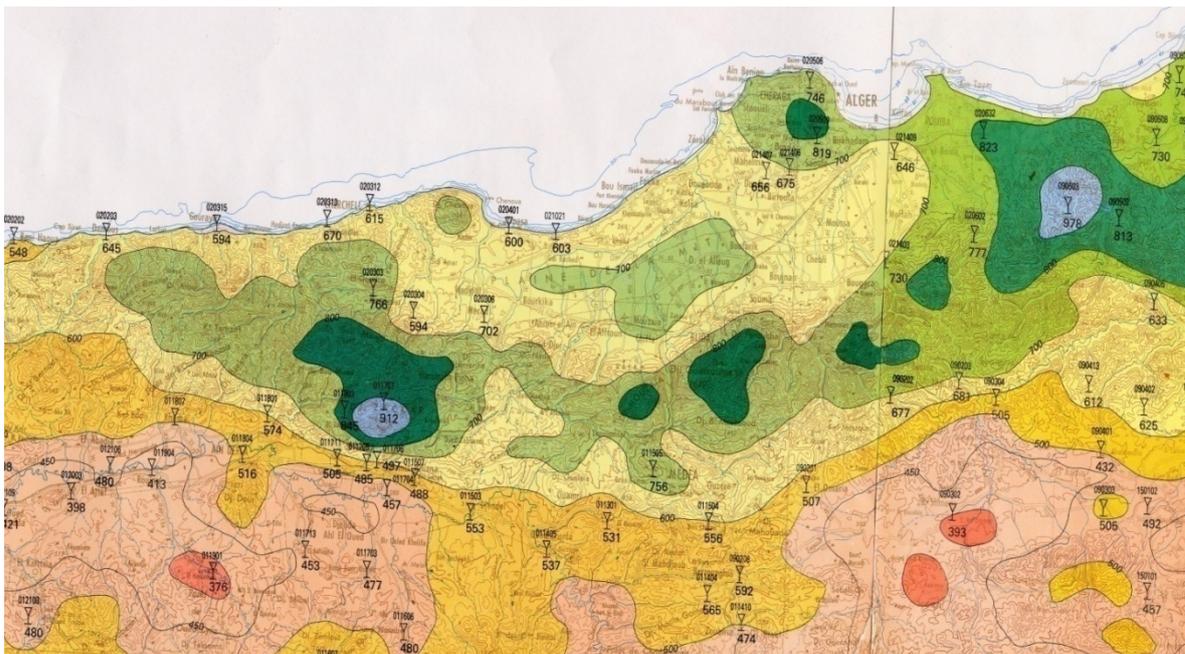


Fig.13 Carte pluviométrique de la plaine de la Mitidja (ANRH Blida)

5.1 La pluviométrie :

Les précipitations moyennes interannuelles sont régulièrement réparties. A cet effet, des études réalisées sur différents stations réparties et assez représentatives dans la plaine, nous prendrons en considération des données allant de 1984 à 2006 d'après l'Agence National des Ressources Hydraulique (ANRH), de Blida et la Direction de la Région Centre (DRC) à soumaa.

	Moyenne Mensuelles des précipitations (mm) 1984 / 2006											
	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Hamiz	32.05	54	87.16	116.6	94.9	78.86	67.16	68.45	49.71	8.68	2.97	4.3
Reghaia	26.8	47.1	82.69	93.36	79.08	64.14	54.82	50.6	47.68	13.5	4.55	8.46
Ouled Ali	25.84	50	82.16	53.25	85.98	67.87	59.38	57.17	43.47	12.6	8.4	6.62
Pont D9	25.86	53.7	80.33	97.06	85.38	64.57	59.27	54.45	38.79	11.3	3.8	6.5
Ameur El Ain	21.98	36.3	69.53	109.86	96.71	73.58	74.82	59.17	45.5	11.9	17.9	7.44
Attatba	30.45	48.6	71.23	86.8	81.26	66.28	54.78	47.75	35.93	10.9	3.79	10.32
Blida	26.45	50.2	64.83	86.07	84.97	60.15	70.65	43.41	39.93	10.2	6.85	5.16
Chiffa	22.16	42.1	74.02	86.43	88.13	72.22	64.05	44.04	38.5	7.6	8.95	9.14
Mouzaia	28.42	38.1	68.3	76.11	76.54	61.05	48.8	61.2	43.55	5.02	8.18	9.1
Beni Mered	32.81	57.3	82.69	90.36	94.15	74.59	71.44	62.72	50.92	13.6	11.94	8.14
Boufarik	28.69	57	77.7	86.44	84.76	70.79	58.3	58.82	42.16	14.2	4.42	7.61
Baraki	31.8	47.3	85.63	96.17	83.77	69.05	52.1	55.53	33.44	11.9	11.81	9.52

Tableau 3 : précipitation moyennes mensuelles à différents stations (1984/2006)

5.2 La température :

La température moyenne annuelle de l'air varie de 16°C à 18°C ; notons que la variation est fonction de l'éloignement par rapport à la mer. Ces températures sont plus douces à proximité du littoral qu'à l'intérieur. (Ait OUALI AEK, 2007) [8]

Conclusion :

La plaine de la Mitidja se situe au Nord de l'Atlas Blidéen (1620, pic de Chéraa), qui la protège de l'influence sahariennes, elle se trouve par sa position géographique soumise à l'influence du régime climatique méditerranéen.

La zone d'étude reçoit une lame d'eau d'environ 616,1 mm /an, dont 84,7 % s'évapore, 2,63% s'infiltré et 12.67% s'écoule.

1. INTRODUCTION :

Sur le plan méthodologique, l'étude entreprise dans le cadre de ce mémoire consiste à examiner et interpréter les données chimiques relatives aux eaux des rejets.

Cette étude vise à déterminer les sources de pollution, conséquences des activités industrielles, ceci nécessite une évaluation de la pollution dans l'ensemble de la zone de la Mitidja (région Baraki et Mazafran) et explication des transferts de cette pollution à travers des sols.

Pour l'indentification et le suivi de ces sources de pollution industrielle, nous avons choisi deux sous bassin représentatif sur la plaine de la Mitidja, il s'agit de :

- Le bassin de Mazafran
- Le Bassin d'El Harrach

Notre objectif est de déterminer les relations existantes entre les eaux superficielles et souterraines sur le plan du transfert des polluants.

Pour les prélèvements d'échantillons d'eau, ont été menés régulièrement, respectivement par la SEAAL à (Kouba 2011) et l'ANRH à Bir-Mourad Rais (de 1998 à 2011). Les échantillons prélevés ont subi des analyses chimiques au niveau des laboratoires de ces deux organismes.

2. PRESENTATION DES SITES RETENUS :

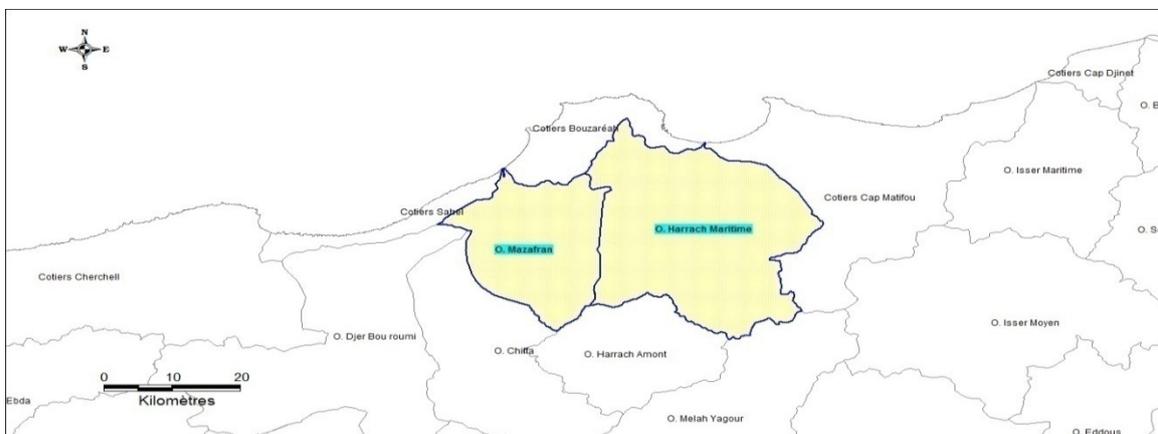


Fig. 14 carte des bassins de la zone d'étude (ANRH)

2.1 Contexte Géographique :

La région étudiée est située dans les deux bassins versants à savoir le bassin d'El Harrach et le bassin de Mazafran wilaya d'Alger (fig. 20 et 21), qui sont circonscrites dans la plaine de la Mitidja à environ 100 km de longueur et 2 à 18 km de largeur.

Cette dernière est une dépression allongée d'Ouest en Est, de Hadjout à Blida et s'incurve en direction WSW-ENE de Blida jusqu'à l'oued El Hamiz et la mer. Cette plaine, limitée à l'Ouest par l'Oued Nador et à l'Est par l'Oued Boudouaou, est bordée par deux zones élevées : le Sahel (260m) au Nord et l'Atlas (1200m) au Sud. [13]

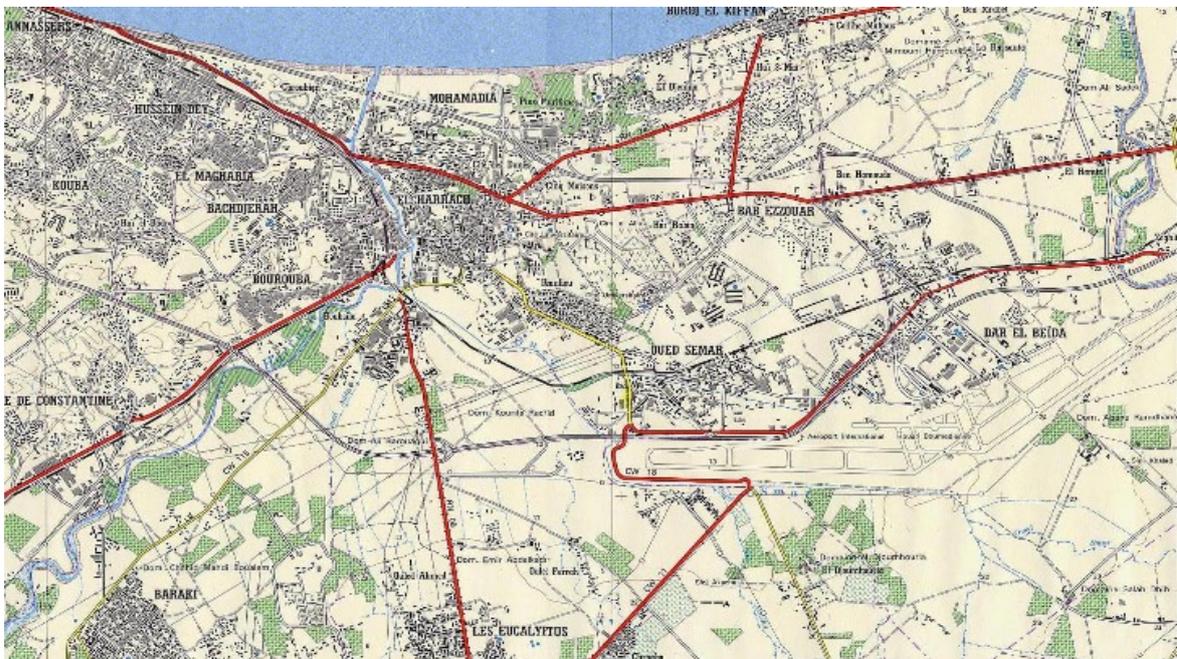


Fig. 15 carte de situation géographique de (Bassin d'El Harrach ANRH)

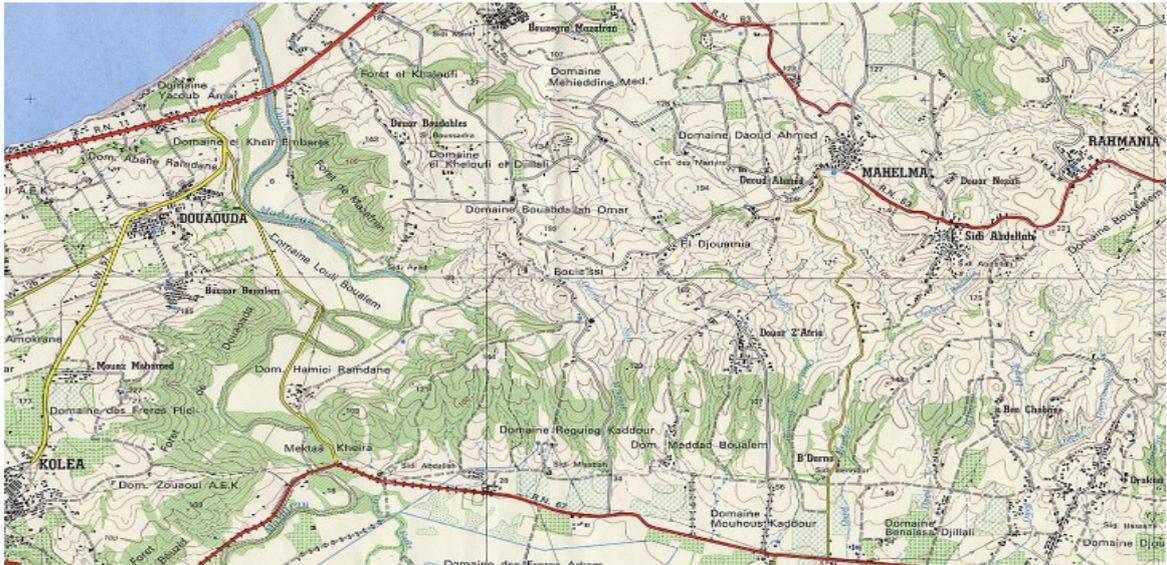


Fig. 16 carte de situation géographique de (Bassin de Mazafran ANRH)

2.2 Contexte Hydrographique :

La zone d'étude est localisée dans le bassin versant d'El Harrach qui présente une superficie totale de 846.8 km^2 et un périmètre total de 150.4 km , limité au Nord par le bassin versant de Côtiers Bouzaréah, à l'Est par le bassin côtiers cap Matifou, et à l'Ouest par le bassin versant de Mazafran. Ce bassin présente des principaux Oueds dont : Oued Karma, Oued Bou-trik, Oued Djemaa et Oued El Harrach. (fig. 22)

Par ailleurs, le Bassin versant de Mazafran présente une superficie totale de 427.5 km^2 et un périmètre total de 99.50 km , limité au Nord par le bassin versant de Côtiers Bouzaréah, à l'Est par le bassin d'El Harrach et à l'Ouest par le bassin versant de côtiers Sahel. Les principaux Oued situés dans ce bassin sont : Oued Er Remili et Oued Mazafran. (fig. 23) [14]

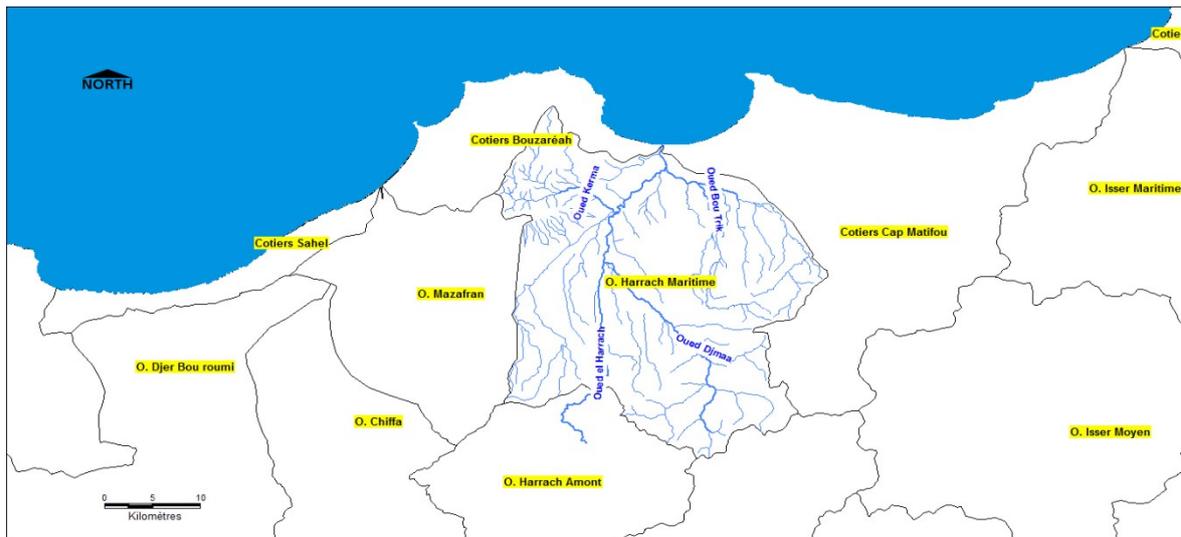


Fig. 17 carte de situation Hydrographique de bassin d'El Harrach

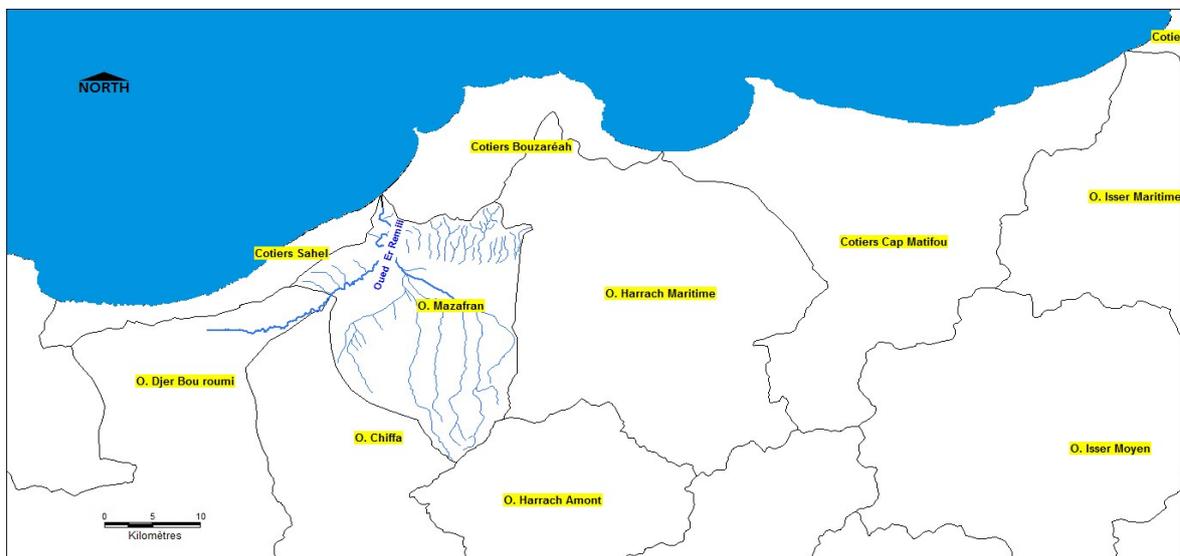


Fig. 18 carte de situation Hydrographique de bassin de Mazafran

2.3 Contexte Hydrogéologique :

La plaine de la Mitidja est constituée de deux aquifères : la formation quaternaire de la Mitidja qui représente la principale ressource en eau souterraine et la formation de l'Astien qui est l'aquifère le plus profond.

La formation de la Mitidja est hétérogène, constituée de graviers et sables avec des intercalations de niveaux argileux. Les alluvions affleurent sur la majeure partie du bassin avec une épaisseur qui peut atteindre plus de 200 m au centre de la plaine. Localement, les alluvions peuvent être recouvertes par les formations

limono-argileuses du Mazafran qui mettent en charge l'aquifère des alluvions de la Mitidja.

La formation de l'Astien est constituée principalement de sables et de grès plus ou moins calcaires qui reposent sur le substratum marneux du Plaisancien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 m.

L'alimentation de cet aquifère se fait essentiellement par les infiltrations des eaux de pluie sur le Sahel où il affleure. Il est également alimenté par la nappe alluviale sus-jacente par drainance à travers les marnes jaunes peu épaisses et dont la perméabilité varie de 10^{-7} à 10^{-8} m/s. [13]

Les caractéristiques hydrodynamiques de l'astien sont mal connues. Les estimations de la perméabilité donnent des valeurs qui varient dans de larges fourchettes avec une moyenne de l'ordre de 4,3 m/j et le coefficient d'emmagasinement entre 5×10^{-6} et 5×10^{-3} . (Hydrologue Mr BELAIDI ANRH Blida)

Les forages ou puits captent généralement la nappe phréatique, d'un point de vue du comportement hydraulique, la nappe des alluvions peut être divisée en deux parties :

- Le Bassin du Mazafran : la nappe est captive sur une grande partie (sous les limons du Mazafran),
- Le Bassin d'El Harrach : la nappe est entièrement libre favorisent une infiltration directe de pluie.

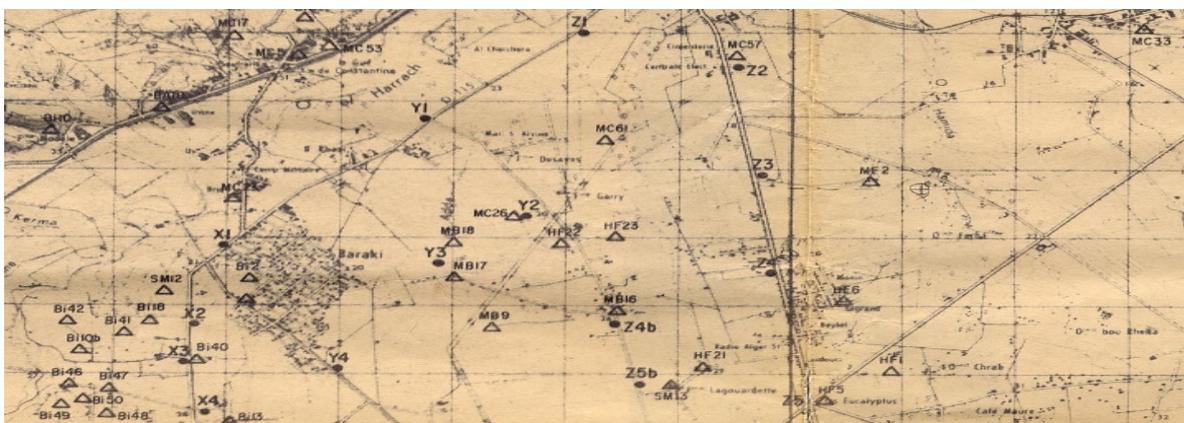


Fig. 19 carte positionnement des sondages électriques de Bassin d'El Harrach (ANRH)

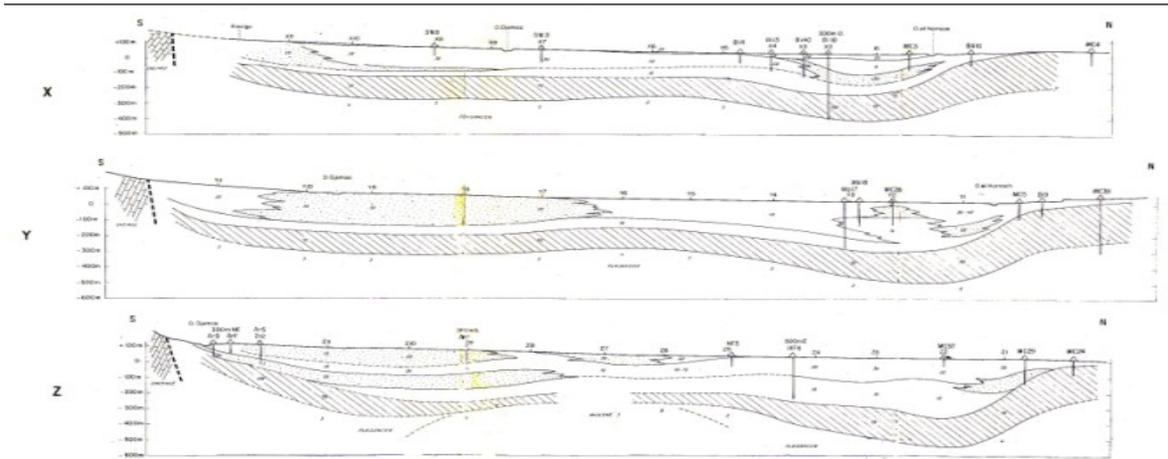


Fig. 20 coupe géo électrique de Bassin d'El Harrach (ANRH)



Fig. 21 carte positionnement des sondages électriques de Bassin Mazafran (ANRH)

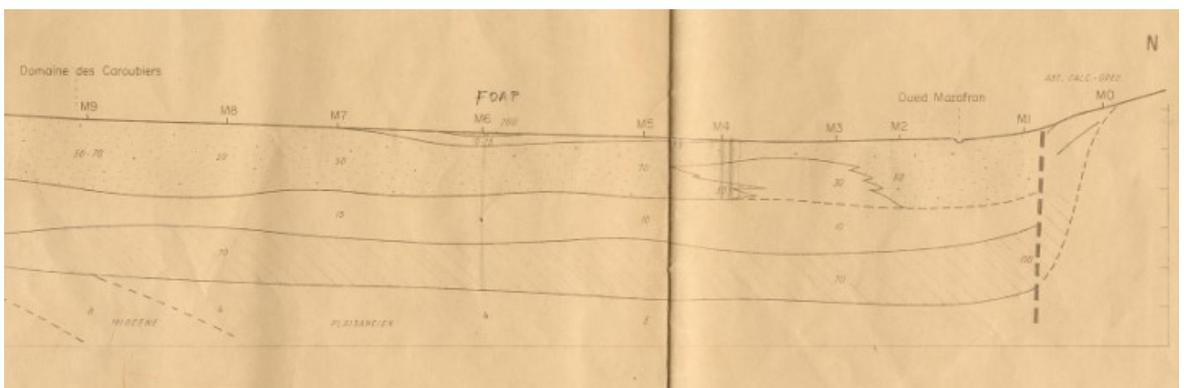


Fig. 22 coupe géo électrique de Bassin Mazafran (ANRH)

3. LES DIFFERENTES SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION :

La pollution de l'eau provient essentiellement des villes, de l'industrie et de l'agriculture. La pollution générée par les villes et l'industrie est localisée (pollution ponctuelle) tandis que l'agriculture provoque une pollution (diffuse), qui atteint les nappes souterraines et les rivières progressivement.

Les principales sources de pollution sont les suivantes :

- ✓ Les pollutions d'origine **domestique** et urbaine (rejets d'eaux usées domestiques et municipales et eaux pluviales des zones urbanisées ou des voiries) ;
- ✓ Les pollutions d'origine **agricole** causées principalement par l'utilisation massive des engrais chimiques et pesticides, voire des épandages organiques ;
- ✓ Les pollutions accidentelles liées au transport de produits chimiques ;
- ✓ Les pollutions d'origine **industrielle** provoquées par les rejets industriels thermiques et chimiques (fuites de cuves de stockage de produits chimiques, lessivage des sols de sites industriels pollués, décharges). [9]

3.1 Pollution d'Oued El Harrach :

Oued El Harrach, autrefois rivière claire et agréable, faisait la joie des citadins du XVIII^{ème} arrondissement d'Alger. Aujourd'hui devenu un égout à ciel ouvert, cet oued empoisonne la vie des riverains et est devenu un véritable problème pour l'ensemble de la commune d'El Harrach. L'état actuel de l'oued est calamiteux, et son influence sur la côte algéroise conséquente.

3.1.1 Topographie et hydrographie de la vallée d'Oued El Harrach :

Oued El-Harrach est situé dans le bassin d'El Harrach qui prend naissance dans l'Atlas Blidéen près de Hammam Mélouane. Il est long de 67 Km et se jette en Méditerranée en plein milieu de la baie d'Alger, traversant la plaine de la Mitidja depuis Bougara et irrigue les zones agricoles tout autour, grâce à ses affluents, les Oued Djemaa, Oued Karma. Son principal affluent est Oued Smar qui traverse le long de la zone industrielle de la banlieue d'Alger. [15]



Fig. 23 Fond de carte Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH)

Il est le réservoir souterrain de la ville qui renferme près de 80% des ressources en eau locales. Le territoire de nature alluvionnaire est en outre traversé par de nombreux oueds prenant naissance dans les montagnes et se déversant en mer tel Oued El Harrach (67 Km).



3.1.2 Des chiffres calamiteux :

Oued El Harrach est d'après les organismes chargés de son analyse, un véritable désastre sur le plan écologique. Lieu de déversement de tous les égouts de la capitale et abri des rejets des usines, il accuse une toxicité à toute épreuve dépassant de près de 400 fois les normes sanitaires établies par l'OMS. Rien qu'en termes de concentration de mercure, un métal lourd et hautement toxique, Oued El Harrach détient un record avec une concentration 30 fois supérieure à la normale. La pollution du fleuve menace désormais la baie d'Alger, puisqu'en 2005 une étude menée par le japonais Mitsuo Yoshida a découvert du plomb, du chlore, du zinc et du chrome en forte quantité rejetés dans la mer. 5'



Fig. 24 Pollution d'Oued El-Harrach

Plus de 300 unités industrielles rejettent directement leurs déchets dans l'Oued, et la majorité d'entre elles ne sont pas dotées d'installations permettant le traitement des eaux usées.

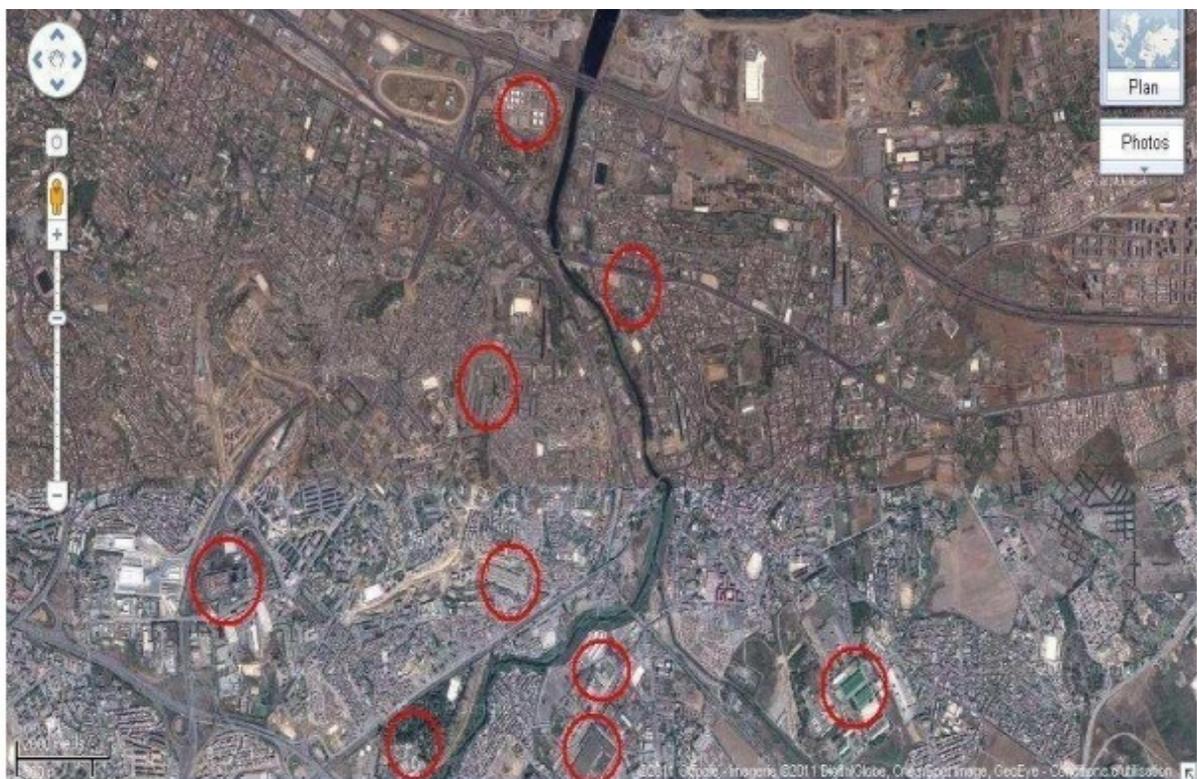


Fig. 25 Enjeux écologique et socioéconomique liées aux Oued El Harrach

4. ACTIVITE INDUSTRIELLE DANS LA MITIDJA :

L'activité industrielle dans la Mitidja est caractérisée par une très grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau dans les processus et l'activité de l'unité industrielle (Rapport ABRH, service pédologie 2010). Les effets des pollutions industrielles sont très diversifiés, en fonction du type de substances rejets.

Les rejets d'eau usées industrielles sont chargés de :

- Substances polluantes/ MES, Matières azotés
- Substances toxiques
- Substances radioactives.

Le Tableau suivant récapitule les activités industrielles implantées sur la zone d'étude par branche d'activité : [16]

Branche d'activité	wilaya				Total /Branche
	Alger	Blida	Boumerdès	Tipaza	
Papeteries	11	03	00	01	15
Textiles	12	03	06	01	22
agroalimentaires	33	34	03	09	79
Chimie Pharmacie	51	12	02	02	67
Matériaux de construction	27	13	01	07	48
Métallurgie	46	11	04	00	61
Bois	05	04	00	00	09
Cuir	09	03	01	00	13
Production Gaz	05	02	00	00	07
Mécanique	01	00	00	01	02
Electricité	05	01	00	00	06
Energie (centrale électrique)	00	01	00	00	01
Equipement	03	00	01	00	04
Divers	11	07	09	00	27
Totale unités Industrielles de la Mitidja	219	94	27	21	361

Tableau 04 : Activités Industrielles dans la Mitidja (ANRH, service pédologie 2010)

Afin de souligner les sources potentielles de pollution au niveau de la plaine de la Mitidja en générale et dans la zone retenue (zone de l’oued El Harrach) en particulier, nous avons proposé une carte d’emplacement des industries et celle des localisations des rejets à la carte réalisée (fig. 26).

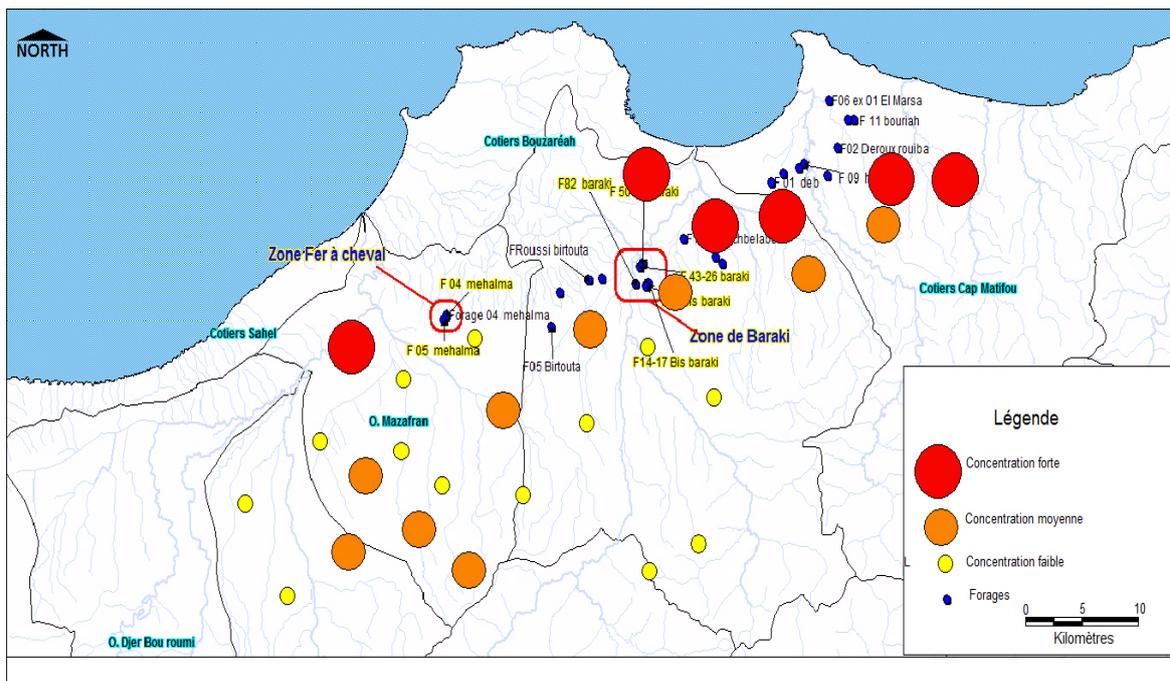


Fig. 26 carte des risques de pollution dérivant des industries de Mitidja centre

Le tableau (05) présente la concentration des rejets des unités industrielles qui ne possèdent pas de station de traitement, donc ils sont classés comme polluantes. [16]

Wilaya	Commune	Nombre total d'unités industrielles	Rejets (m ³ /an)
Alger	Hamma El Anassar	9	220000
	Oued Samar	40	799000
	El Harrach	25	333250
	Baraki	9	250
	Dar el Beida	13	16375
	Gue de Constantine	14	981500
	Hussein Day	17	56950
	Kouba, El Achour, Bordj Kiffan, Alger	9	9500
	Birtouta, Bir Khadem, Tassala El Mardja	7	2232813
	Blida	Boufarik, Larabaa, Maftah	13

Tableau 05 : Répartition des unités industrielles et leur principales caractéristiques (ANRH 2010)

➤ **INVENTAIRE DES UNITES INDUSTRIELLES CLASSEES
POLLUANTES DANS LE SITE RETENU (ABH 2012)**

wilaya	Dénomination	Activités	localisation	Branche d'activité	Volume d'eau usée rejeté (m ³ /j)	Lieu de rejet
Alger	SNC Errochd	Transformation de matière plastique	Ain Bènian	Chimie-plastique	0.05	/
Alger	SNC SAFEPLAST	Fabrication d'emballage plastique	Baba Ali	Chimie-plastique	1	Oued El Harrach
Alger	Confiserie cherif Mahmoud	Confiserie	Baba Ali	Agroalimentaire	0.15	Oued El Harrach
Alger	FROMALI ben Brahim	Fromagerie	Baba Ali	Agroalimentaire	0.1	Oued El Harrach
Alger	EPE Moubydal SPA	Formulation de pesticides	Baraki	Chimie	/	/
Alger	Sarl Tammy	Fromagerie	Chéraga	Agroalimentaire	40	Oued Beni Messous
Alger	MACSTYLE Cheraga	Fabrication de chaussure	Cheraga	Cuir-chaussures	19	Oued Beni Messous
Alger	Sarl METALOR	Profilage à froid	Dar el Beida	Sidérurgie	3	/
Alger	Sarl PLASTICLAIR	Transformation plastique	Dar el Beida	Chimie-plastique	3	Egout
Alger	GIPEC	Fabrication de papiers	El Harrach	Papiers-cartons	25 à 50/h	STEP de Baraki
Alger	ERIAD	Semoulerie, minoterie	El Harrach	Agroalimentaire	5	Oued El Harrach
Alger	ENMTP	Fabrication de matière mécanique	El Harrach	Construction mécanique	3	Oued El Harrach
Alger	ETS Kehri Dahmane	Mégisserie	Gue de Constantine	Cuir-chaussures	50	Oued El Harrach
Alger	SAIDAL	Production pharmaceutique	kouba	Pharmacie	38	Oued El Harrach
Alger	SPA Verigoud	Limonade rie	El Anassar	Agroalimentaire	20	Réseau d'égouts
Alger	ENL	Traitement de liège	El Anassar	Transformation BOIS et liège	200	Réseau d'égouts
Alger	SAEL	Transformation de caoutchouc	Oued smar	Chimie-plastique	5	Oued smar
Alger	Sarl Abl ETS	Transformation de liège	Dar el Beida	Transformation BOIS et liège	20	/
Alger	Sarl ICEBERG Glaces	Fabrication de crème glacée	Dar el Beida	Agroalimentaire	10	Fosse septique
Alger	Tannerie Ahmed	Tannerie	Dar el Beida	Textiles	30	Fosse septique
Alger	Sarl Emballage Lazki	Façonnage d'emballage	Zéralda	Papiers-cartons	0.6	Mer
Alger	GBA Filiale Brasserie	Limonade rie	El Harrach	Agroalimentaire	1200	Oued El Harrach

wilaya	Dénomination	Activités	localisation	Branche d'activité	Volume d'eau usée rejeté (m ³ /j)	Lieu de rejet
Alger	ENTPL	Matériel de bureau	Oued Smar	Sidérurgie	2	Oued Smar
Alger	Granitex produit	Production de matériaux de construction	Oued Smar	Matériaux de construction	1.5	Oued Smar
Alger	EPOMEBAL	Fabrication de mobilier	Oued Smar	Transformation bois et liège	0.5	Oued Smar
Alger	SPA Flash	Limonade rie	Oued Smar	Agroalimentaire	6	Oued Smar
Alger	SITEP TUBOLAST	Fabrication de matière plastique	Oued Smar	Chimie-plastique	10	Oued Smar
Alger	ENAP	Fabrication de peinture	Oued Smar	Chimie	7	Oued Smar
Alger	SIAD	Fabrication de détergents	Oued Smar	Chimie	4	Oued Smar
Alger	BELCOL	Production de colles	Oued Smar	Chimie	11	Oued Smar
Alger	Sarl MEIYA	Limonade rie	Oued Smar	Agroalimentaire	17	Oued Smar
Alger	ERIAD	levure rie	Oued Smar	Agroalimentaire	1900	Oued Smar
Alger	SAIDAL société de production des médicaments	Production pharmaceutique	Oued Smar	Pharmacie	7	Oued Smar
Alger	Unité Charpente et chaudronnerie UCC	Charpenterie	Oued Smar	Construction Métallique	15	Oued Smar
Alger	ENPEC unité Accumulateurs	Production de pile et accumulateurs	Oued Smar	Chimie	/	Oued Smar
Alger	GIPEC société de Sacheries et caisseries	Sacherie de papier	Oued Smar	Papiers-Cartons	80	Oued Smar
Alger	Peinture MIDY	Production de peinture et vernis	Zéralda	Chimie-plastique	3	Mer

5 BASE DE DONNEES :

Concernant les données sur les rejets des unités industrielles au niveau de la Mitidja sont très rares. Nous avons passé plus de un mois et demi à exploiter toutes les unités, malheureusement les données sont difficiles à obtenir.

Les seules données dont on a pu disposer sont ceux fournies par l'ANRH (Birmourad Reis) sur la région centre de la Mitidja, ce qui a contraint à les utiliser à l'ensemble des sites.

5.1 Qualité des eaux souterraines de la zone d'étude :

5.1.1 Paramètres physico-chimiques :

La qualité des eaux souterraines a été étudiée sur la base des résultats d'analyses obtenus durant ces deux dernières années (2010/2011) par SEAAL. Pendant cette période, environ 200 analyses ont été réalisées au droit de forages, répartis sur différents champs captant dans la zone de la plaine de la Mitidja.

Nous exploitons plus particulièrement les résultats d'analyses des eaux souterraines sur différents champs captant relatives au site choisi (le bassin versant d'EL Harrach et le bassin de Mazafran) (figure 27), afin de savoir la relation de ces polluants à partir des eaux de surface vers la nappe d'eau souterraine de quaternaire.

Le tableau ci- après synthétise les résultats obtenus pour les principaux paramètres physico-chimiques. [17]

Chams captant	Paramètre	Cl	Si	PO ₄	pH	Mo	Ca	Mg	K	No ₂	No ₃	Hco ₃	Na	cond	Tur
	Norme Algérienne Mg/L	500	/	0.5	6.5 à 8.5	3	200	150	20	0.5	50	/	200	2800	5
Bis Baraki F 14-17		105.06	11.7	0.09	7.55	0.08	110	35	2.08	0.02	29	260	109.2	1291	1.6
Bis Baraki F 15		107.84	18.05	0.09	7.5	0.08	110	35	2.09	0.02	30	270	109.8	1290	2
Baraki F 43-26		87.72	6.01	0.09	7.69	0.21	84	28	3.71	0.02	8.28	110	69.91	903	0.53
Baraki F 50-11		87.72	2.64	0.09	7.83	0.22	83	28	3.71	0.02	8.37	110	69.59	909	0.53
Eucalyptus F 01		230	3.58	0.09	7.04	0.26	110	80	1.98	0.02	11.8	330	109.5	1575	0.39
Haouch Belabes		158.5	8.04	0.09	8.4	0.32	140	31	1.74	0.02	19	340	140.4	1443	0.74
Derghana F 01		151.27	2.02	0.09	8.01	0.81	46.8	15	4.41	0.02	4	130	102.3	848	1.2
Bouriah F 11		141.6	5.24	0.09	7.75	0.48	40.1	13	4.4	0.02	4.1	120	109.3	822	0.86
Haouch flit F 14		665.55	7.78	0.09	7.43	0.51	296	30	/	0.02	7	330	100.9	2770	2.2
Eucalyptus F02		340	6.45	0.09	7.24	1.5	78	49	4.38	0.02	6.5	310	97.47	1565	0.27
Mehalma F 05		171.49	<0.05	0.09	7.14	0.54	140	34	/	0.02	23	37	73.99	1118	0.46
Fer à cheval (mazafran)		170.4	<0.05	/	7.2	/	106	29.1	2.4	0.02	22.4	329.9	102.7	1489	1.8
Garça Birtouta F03		128.02	0.96	0.09	8	0.34	60.8	18	4.66	0.02	5.8	170	96.67	813	0.61
Birtouta F 05		126.63	1.42	0.09	7.1	0.56	64	28	4.57	0.02	5.8	160	98.43	808	2.4
Roussi Birtouta		105.60	1.04	0.09	7.5	0.46	70.3	28	4.6	0.02	6.6	190	94.9	809	0.61

Tableau 07 les résultats obtenus pour les principaux paramètres physico-chimiques. (SEAAL Kouba 2012)

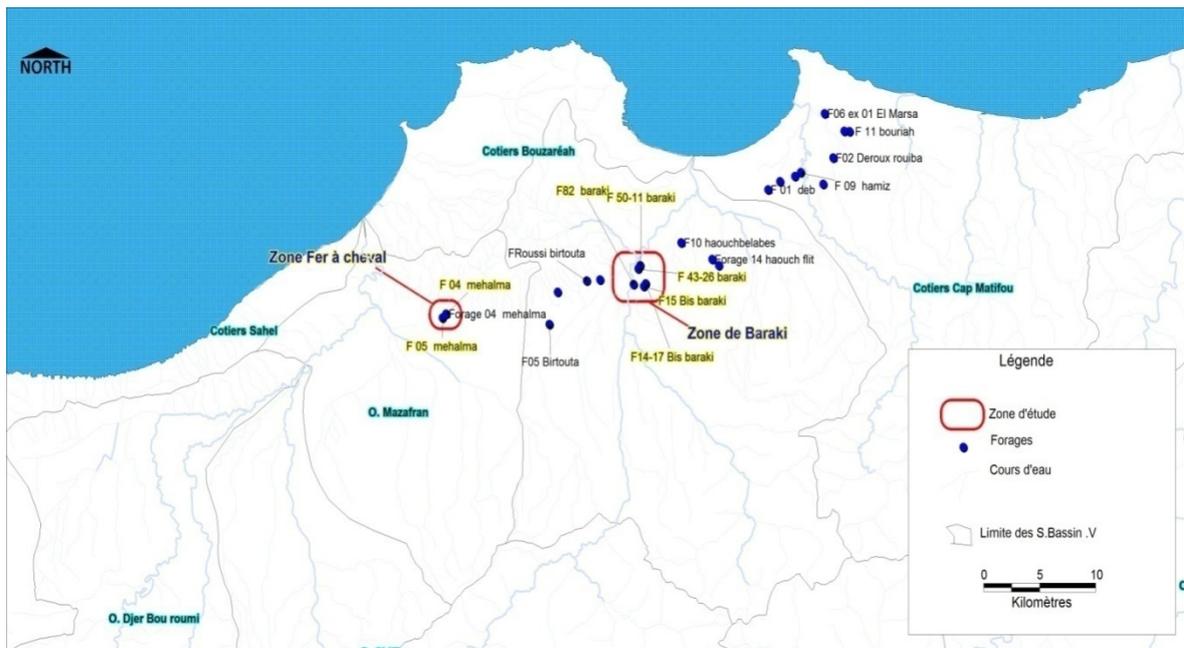


Fig. 27 champs de captage dans la zone d'étude

5.2 Qualité des eaux superficielles de la zone d'étude :

Le suivi de la qualité des eaux de surface est assuré par l'ANRH et ce par le biais du réseau national de surveillance qui englobe 16 stations de mesure dans le Bassin de l'Algérois.

Ces stations sont échantillonnées tous les ans avec une fréquence d'une campagne par mois. L'évaluation de la qualité a été mesurée pour les paramètres de pollution suivants : matières minérales, matières azotées et les matières phosphorées. [18]

Les résultats d'analyse sont affichés dans le tableau(08) ci-après :

Nom De Station	Paramètre Mg/l	Cl	Si	PO ₄	pH	Mo	Ca	Mg	K	No ₂	No ₃	Hco ₃	Na	Cond Us/cm	Tur NTU
	Date de prélèvement														
Fer à cheval	26/01/2011	167	21.2	50.18	7.5	16.4	114	54	16	4.17	2.7	390	122	1700	23.5
	23/02/2011	108	/	1.53	7.6	0.1	98	34	9	6.54	5.9	354	100	1100	16
	21/03/2011	120	12.8	9.67	7.6	14.6	108	48	14	1.74	8.6	427	116	1500	14.4
	27/04/2011	143	5.4	2.41	7.9	13	111	38	5	0.5	4.9	308	77	1200	
	30/05/2011	103	20.3	1.19	7.6	7.4	62	68	9	1.28	4.5	290	75	965	
	27/06/2011	132	15.6	6.97	7.7	29	77	64	12	0	0	473	124	1393	
	27/07/2011	203	23.1	7.2	7.9	30	96	50	22	0.26	0.70	610	201	1670	
	24/08/2011	170	22.3	7.05	7.8	28.4	100	37	22	0.16	3.6	598	156	1588	
	28/09/2011	0	/	2.44	7.5	10	0	66	0	0.01	0	320	0	1111	
	24/10/2011	171	/	6.28	7.7	37	54	94	21	0.08	0.1	549	139	1598	
26/12/2011	167	/	4.81	7.6	33	104	60	18	0.03	0.6	427	134	1700		
Baraki	26/01/2011	189	13.5	1.77	7.6	16.6	114	54	12	0.3	0.5	397	140	1522	14.5
	23/02/2011	37	/	0.36	7.8	/	71	36	2	0.1	1.4	320	27	800	30
	21/03/2011	120	10.7	0.91	7.7	7.6	88	50	4	0.31	4.9	308	90	1200	6.5
	27/04/2011	53	6.8	0.15	8	9.5	81	31	2	0.03	2.5	427	60	850	
	30/05/2011	45	10.1	0.42	7	2.4	55	69	2	0.233	2.8	305	60	866	
	27/06/2011	119	15	2.9	7.6	14.5	65	61	10	0	0	366	159	1344	
	27/07/2011	212	19.3	5.25	7.9	21.5	96	41	17	0.209	1.8	473	228	1733	
	24/08/2011	239	18.6	5.35	7.8	28.8	100	39	25	0.16	3.6	458	171	1782	
	28/09/2011	156	0.9	0	8	6.1	77	45	2	0.158	5.7	146	178	1457	
	24/10/2011	312	/	5.12	7.6	26.2	84	130	18	0.01	0.1	0	166	2100	
27/12/2011	173	/	3.66	7.6	26	139	76	14	0.189	0.4	442	166	1552		

Tableau 08 les principaux paramètres physico-chimiques des eaux de surface (ANRH Alger 2012)

6 METHODES D'ANALYSES :

Pour avoir une connaissance globale de la qualité des eaux dans les bassins précédents, il faut estimer les ressources utiles en eau, leur emplacement, leur répartition et surtout leur exposition au risque de pollution. Puis à partir de cela, déterminer le type de pollution qui s'effectue et quelles sont les possibilités de traitement. Nous allons traiter les données des paramètres physico-chimiques des eaux soit superficielles ou souterraines qui ont été analysés par les ingénieurs de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques).

Par ailleurs, et afin d'approfondir notre travail, nous allons demander cette dernière de bien vouloir, par quelles techniques ont été analysés les cations, les anions, les éléments chimiques, les traces ...etc.

6.1 Techniques d'analyses :

D'une façon générale, on peut entendre par « effet de matrice » en chimie analytique l'influence du milieu analysé sur l'élément dosé. En particulier dans les méthodes instrumentales, la mesure des propriétés physico-chimiques : ioniques, électriques, optiques, spectrales, nucléaires ..., des éléments à l'état de traces est souvent sensible aux propriétés physiques et chimiques du milieu analysé; cet effet de matrice est particulièrement important dans le dosage des traces et peut conduire à de très fortes erreurs par excès ou par défaut si l'on n'en tient pas compte.

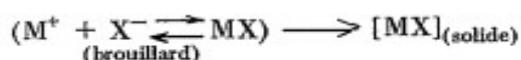
6.1.1 Absorption atomique :

L'analyse par absorption atomique n'échappe pas à la règle : la méthode dans sa pratique courante étant une méthode d'analyse sur solution, l'effet de matrice résulte des propriétés de la solution photométrie, et de ses constituants. Précisons que cet « effet de matrice » est en réalité la résultante de plusieurs effets qui ont leur origine dans les propriétés physiques et chimiques de la solution d'analyse et du comportement de ses constituants chimiques dans la source d'atomisation, généralement la flamme.

Nous nous proposons d'étudier chacun de ces effets, ainsi que leurs conséquences sur le dosage et les moyens d'y remédier. Il faut cependant distinguer, ainsi que nous le verrons plus loin, l'effet de matrice des interactions chimiques ou spectrales. Le processus physico-chimique en analyse par absorption atomique peut être décomposé comme suit en une succession de réactions à partir de la solution d'analyse :

1. Vaporisation de la solution : formation d'un brouillard ;

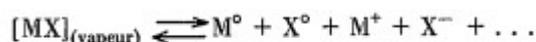
2. Evaporation du solvant (dans la flamme) ;



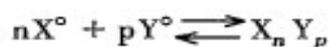
3. Fusion puis volatilisation ;



4. Atomisation et excitation ;



5. Réaction secondaire dans la flamme entre atomes, radicaux et molécules.



6. Mesure spectrale des atomes à déterminer.

Un effet de matrice peut accompagner certaines de ces réactions, nous les étudions successivement de manière à dégager chaque fois les possibilités de correction.

Tout dosage est en fait une mesure comparative de l'absorption des atomes neutres X^0 obtenus à partir du milieu analysé par rapport à des milieux synthétiques. Pour que l'analyse soit valable, il convient que l'effet de matrice de chaque opération soit semblable dans les échantillons et dans les solutions étalons. 6'

6.1.2 Chromatographie ionique :

La chromatographie ionique permet l'analyse soit des anions minéraux (fluorure, chlorure, nitrite, bromure, nitrate, phosphate, sulfate...) et organiques (acétate, formiate, ..), soit des cations minéraux (sodium, potassium, magnésium, calcium..) et organiques (amines à courtes chaînes).

Cette technique est donc très intéressante pour l'analyse des eaux naturelles, des eaux de rejet, des eaux pures, des eaux conditionnées dans des circuits de production de vapeur, etc...

La chromatographie ionique est une technique permettant de séparer et de quantifier des ions dérivée de la chromatographie en phase liquide à haute performance en ce sens que l'éluant est liquide, qu'il est alimenté dans la colonne chromatographique à l'aide d'une pompe haute pression. 7'

6.1.2.1 Mécanismes et éluant :

Le mécanisme d'interaction entre les solutés ionisés à séparer et le support ionisé de charge opposée contenu dans la colonne dépendent pour une part importante de la composition de l'éluant et de la nature du support. Il est basé sur l'échange d'ions.

L'éluant est constitué d'une solution aqueuse d'un sel, d'un acide ou d'une base, selon l'application, le but étant d'assurer une concentration déterminée en un ion donné (anion ou cation) qui est appelé ion développeur et La force d'élution est réglée par la nature et la concentration de cet ion développeur ainsi que Le pH de l'éluant est important car il impose la forme ionisée de certaines espèces ionisables.

1. INTRODUCTION :

La méthodologie adoptée dans l'interprétation du transfert des rejets et des polluants, depuis le sol, et ce en l'absence de prélèvement d'échantillons de sol à travers la zone non saturée (carottes) consiste à examiner et interpréter les données chimiques relatives aux eaux des rejets et les comparer aux eaux souterraines ce qui permet de déterminer la relation qualitative entre les eaux superficielles et souterraines.

2. DONNEES A L'ECHELLE DE LA MITIDJA :

La figure suivante (fig.28) illustre les activités industrielles implantées sur la plaine de la Mitidja par branche d'activité :

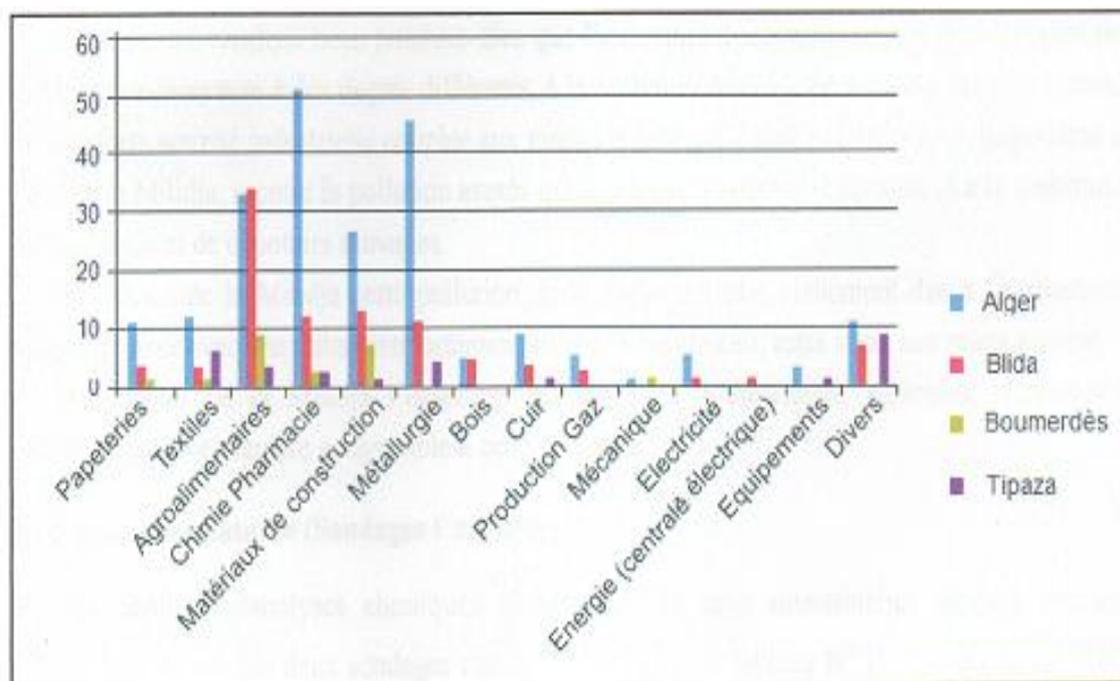


Fig. 28 Activités industrielles dans la Mitidja (ANRH 2010)

Il ressort de cette répartition que la région d'Alger est le siège d'une activité industrielle prédominante et que l'ensemble de ces industries sont classées polluantes, elles rejettent de très importantes quantités des éléments chimiques dans le milieu récepteur. Cependant les industries du papier, sont celles qui en rejettent le plus.

3. APERÇU SOCIO-ECONOMIQUE :

Pour l'établissement de la carte (fig.26) des risques de pollution dérivant des industries dans la Mitidja, nous avons utilisé les données de l'ANRH, en l'occurrence le listing, sous forme de tableau (inventaires des unités industrielles classées polluantes). Ainsi nous avons procédé à une sélection puis un classement de l'ensemble de ces données, donnant la répartition des unités industrielles et leur principale caractéristique notamment le type d'industrie, localisation et lieu de rejet.

Nous pouvons dire que l'ensemble des industries existantes à peu près une quinzaine, par type de rejet proche ou similaire ; ce qui a donné 04 grands groupes :

- Paca (papier/ carton), textiles, bois et cuirs ;
- Agronomie, chimie, hydroélectrique ;
- Matériaux de construction, métallurgie ;
- Equipement électrique.

Cependant, nous avons représenté sur la carte de la (fig.26) l'emplacement de toutes les industries polluantes principalement de Mitidja centre, et ne possédant pas de stations de traitement pour la plupart.

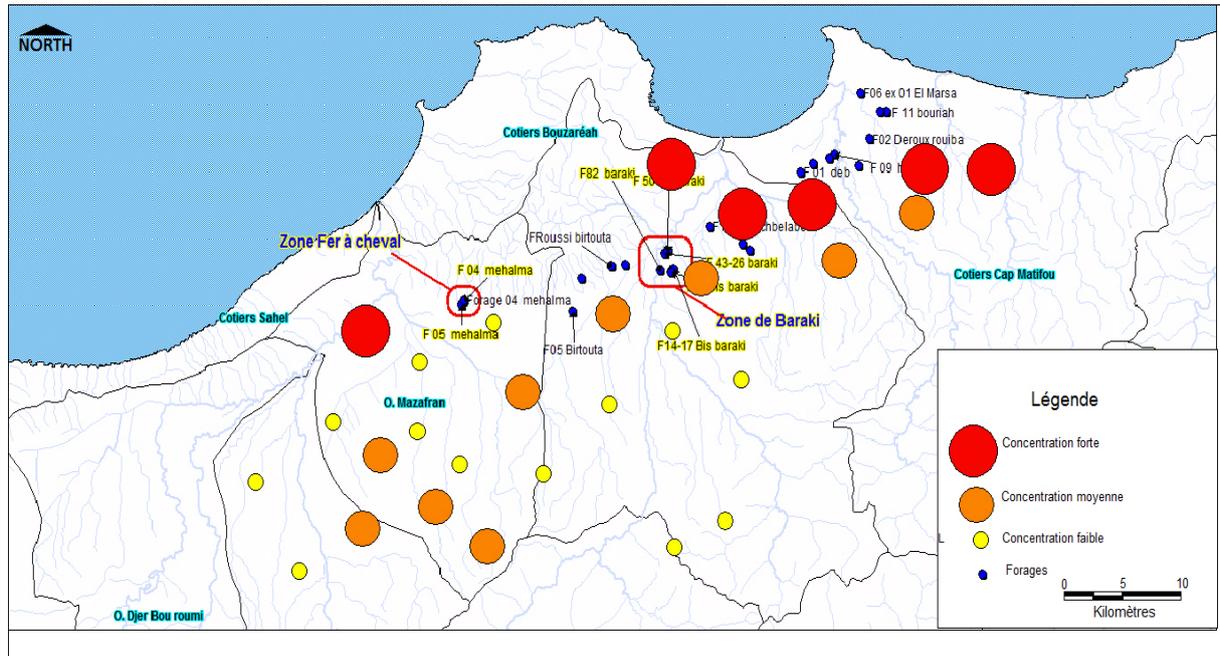


Fig.26carte des risques de pollution dérivant des industries de Mitidja centre

On constate que :

Pour le site El-Harrach (région de Baraki), la concentration des rejets industriels ainsi que le nombre de forage captant la nappe du quaternaire est plus dense que celle de Mazafran et de ce fait nos interprétations vont surtout être axées sur la première région.

4. DISCUSSION DES RESULTATS DES SITES RETENUS :

Nous exploitons plus particulièrement les résultats d'analyses des eaux souterraines sur différents champs captant relatives aux sites choisis (bassin versant d'EL Harrach), afin de connaître la relation de ces polluants entre eaux de surface et les eaux souterraines de la nappe quaternaire.

4.1 Les eaux souterraines :

L'examen des résultats d'analyse des eaux souterraines montrent que les paramètres physico chimiques de certaines zones sont caractérisées par des concentrations et valeurs relativement élevées, il s'agit de:

- La conductivité et les chlorures pour le forage de Haouch.flit (2770 us/cm et 665.55 mg/l)
- La turbidité et les nitrates pour l'ensemble de deux (02) champs captant considérant le forage de Bis Baraki et le forage de Mehalma (1.6 ; 30mg/l et 0.46 ; 23mg/l)
- La silice, le calcium, sont fortement élevés dans le forage de Bis Baraki et Haouch.flit respectivement (18 mg/l, 8,04mg/l et 110mg/l, 296 mg/l)
- Les bicarbonates pour le forage de Fer à cheval (Bassin de Mazafran) (329.9mg/l)

4.1.1 Facies chimiques :

Les deux zones étudiés sont caractérisées par les facies suivants: (tableau 07)

Bicarbonaté chloruré sodique pour les deux bassins (El Harrach et Mazafran).

Les principaux éléments chimiques présentent des valeurs relativement variables avec :

Les bicarbonates varient entre 120 et 340 mg/l, les chlorures et le sodium ont des teneurs max respectivement de 665 mg/l et 296 mg/l.

Les nitrates : Les teneurs en nitrates des échantillons prélevés durant l'année 2011, varient de 06 mg/l dans le sous bassin de Mazafran, à 23 mg/l (tableau 07). Les valeurs les plus élevées ont été trouvées uniquement au niveau des forages notamment Mhalema (F05) et Fer à cheval (Mazafran).Cependant, dans le bassin du Mazafran, les nitrates ne dépassent pas les 25 mg/l, ce qui peut être dû à la captivité de la nappe des alluvions qui est protégée par les limons de Rhabien. Pour le bassin d'El Harrach, les teneurs en nitrates varient de 04 mg/l à 30 mg/l.

Les valeurs les plus élevées ont été trouvées uniquement au niveau des forages de Bis Baraki (F14 et F17), Haouch Belabes et Eucalyptus (F01) (70 à 100 mg/l).

4.2 Les eaux superficielles :

Pour avoir une connaissance globale de la qualité des eaux de surface, il faut estimer les ressources utiles en eau, leur emplacement, leur répartition et surtout leur exposition au risque de pollution. Ce qui permet de rechercher et de déterminer la relation qualitative possible entre les eaux de surface et souterraines.

Site du Bassin d'El Harrach (région de Baraki) :

Les tableaux (09 et 10) présentent les normes et seuils admissibles pour les teneurs en éléments chimiques et indicateurs de pollution (Tableaux 09 et 10, ANRH 2005).

Paramètres	Unités	Qualité de l'eau			
		Bonne	Moyenne	Polluée	Excessivement polluée
		C1	C2	C3	C4
Qualité physique					
pH		6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	8.5 - 9	<6.5 et > 9.0
Conductivité à 25°C	µS/cm	-	-	> 2800	> 2800
Température	°C	25	25 - 30	30 - 35	> 35
MES	mg/l	0 - 30	30 - 75	75 - 100	> 100
Qualité organo- minérale					
Nitrite (NO ₂)	mg/l	0 – 0.01	0.01 – 0.1	0.1 – 3	>3
Nitrate (NO ₃)	mg/l	0 – 10	10 – 20	20 – 40	>40
NH ₄	mg/l	≤ 0.01	0.01 – 0.1	0.1 – 3.0	>3
NTK	mg/l	≤ 2	2 - 3	3 - 10	>10

Phosphate (PO ₄)	mg/l	0 – 0.01	0.01 – 0.1	0.1 – 3.0	>3
O ₂ dissous	%	90 – 100	50 – 90	30 – 50	<30
DBO ₅	mg/l	< 5	5 - 10	10 - 15	>15
DCO	mg/l	< 20	20 - 40	40 - 50	>50
MO	mg/l	< 5	5 - 10	10 - 15	>15
Salinité	%	<0.5	0.05 – 3.00	3 – 5	>5
Résidu sec	mg/l	300 – 1000	1000 – 1200	1200 – 1600	> 1600
Ca	mg/l	40 – 100	100 – 200	200 – 300	> 300
Mg	mg/l	< 30	30 – 100	100 – 150	> 150
Na	mg/l	10 – 100	100 – 200	200 – 500	> 500
Cl	mg/l	10 – 150	150 – 300	300 – 500	> 500
SO ₄	mg/l	50 – 200	200 - 300	300 - 400	> 400

Tableau 09 : Grille de la classification de la qualité des eaux superficielles (ANRH 2005)

Paramètres	Unités	Qualité de l'eau			
		Bonne	Moyenne	Polluée	Excessivement polluée
		C1	C2	C3	C4
Fe	mg/l	0 – 0.5	0.5 – 1	1 – 2	> 2
Mn	mg/l	0 – 0.1	0.1 – 0.3	0.3 – 1	> 1
Cr	mg/l	0	0 – 0.05	0.05 – 0.5	> 0.5
Cu	mg/l	0 – 0.02	0.02 – 0.05	0.05 – 1	> 1
Zn	mg/l	0	0 – 0.5	0.5 – 1	> 1
Cd	mg/l	0	0	0 – 0.01	> 0.01
Pb	mg/l	0	0	0 – 0.05	> 0.05
F-	mg/l	0	0 – 0.8	0.8 – 1.5	> 1.5
Cn-	mg/l	0	0	0 – 0.02	> 0.02
Phénols	mg/l	0 – 0.002	0.002 – 0.02	0.02 - 1	> 1
Det	mg/l	0 – 0.3	0.3 - 0.5	0.5 – 3	> 3

Tableau 10 : Grille des éléments toxiques et indésirables (ANRH 2005)

Les analyses chimiques et quelques paramètres indicateurs de pollutions relevées sur les eaux des rejets à la sortie de quelques usines (tableau 11), illustrent le degré de pollution des ces eaux.

Paramètres	Fabrication de matière mécanique En jan 2002	Limonaderie En janv. 2002	Mégisserie En juillet 2001
Lieu	Sortie usine	Sortie usine	Sortie usine
Besoin en eau m ³ /j	210	100	360
T (°C)	8	10	27
pH	7.16	7.95	8.42
Couleur	Jaunâtre	Claire	Grise
Odeur	Rouille	Inodore	Nauséabonde
O ₂ dissous mg/ l	1.35	0.9	0.66
D.C.O mg/ l	3600	800	3410
D.B.O ₅ mg/l	350	320	1140
M.E.S mg/ l	330	460	1978
Nitrates mg / l	0.50	0.45	12.4
Nitrites mg / l			2.3
Ammonium mg/l	—		
N. Kjeldahl mg / l			85
MO(acide) mg / l			290
Potassium mg/l	0.3		
Phosphates mg/l	75.3	0.30	
Phénol mg/l	0.1	0.30	
Chrome mg/l	2	0.50	
Cuivre mg/l	0.1	0.10	
Zinc mg/l	5	0.20	
Nickel mg/l	5.87	0.10	
Plomb mg/l	0.1		0.23

Tableau 11 : Echantillons d'analyse des effluents industriels

Le seul site situé en amont de l'Oued El Harrach et pour lequel, on dispose des données sur les eaux de surface (Tableaux 12) et eaux souterraines (Quelques forages) est celui de Baraki.

Parameters	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
T°C		5	7,4	13	21	24	26	24	22	21	17,5	9
PH		7,9	7,9	7,9	7,8	7,7	7,8	8,2	7,6	8,1	8,2	7,6
Conductivité		1580	1570	1670	1800	1820	1850	1880	1960	1950	1850	1520
Turbidité		19	12	9	29	18	3	26	25	170	10	56
O2dissous		8,5	9,6	8,4	7,2	9,2	7,2	7,2	8,8	8,1	6,9	8,4
MES105		19	16	14	42	42	6	34	46	202	22	114
Ca		106	94	124	95	100	107	115	112	115	92	117
Mg		43	56	65	71	50	41	65	31	57	27	44
Na		191	184	198	184	138	207	228	244	239	230	239
K		23	23	24	24	25	28	32	30	32	30	29
Cl		249	204	176	234	136	258	249	149	244	169	239
SO4		426	408	400	425	480	416	437	500	406	369	408
HCO3		262	289	505	337	312	165	415	354	313	289	409
SiO2		12	11	6,4	9,1	7,9	7,5	6,3	13,3	6,3	21,8	8,4
DCO		20	40	70	67	140	20	70	40	70	10	80
DBO5		3,7	9,2	14,2	16,5	28,6	4	17,2	8,2	18,5	2,4	17,8
NO3		7	5	7	9	9	7	4	3	1	7	4
NO2		0,3	0,2	0,45	0,75	1,3	2,4	1,6	0,5	0,3	0,15	0,6
NH4		3,75	3,6	8,5	7,85	3,6	2,24	2,26	0,87	2,7	5,35	6,2
PO4		0,77	5,17	6,98	8,9	2,73	2,53	4,3	2,87	1,97	3,84	3,25
Ptot		1,68	3,8	2,24	2,42	3,55	3,55	7,38	4,09	4,48	4,28	3,85

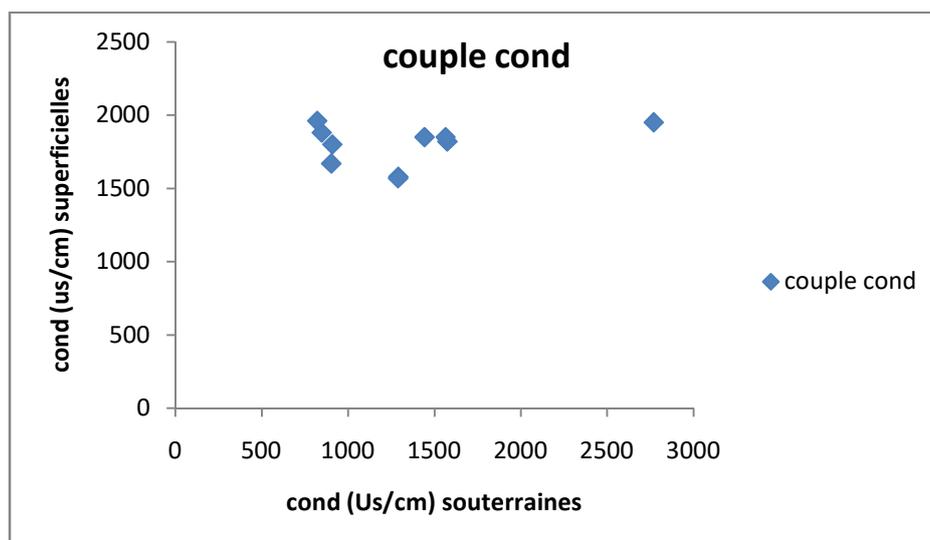
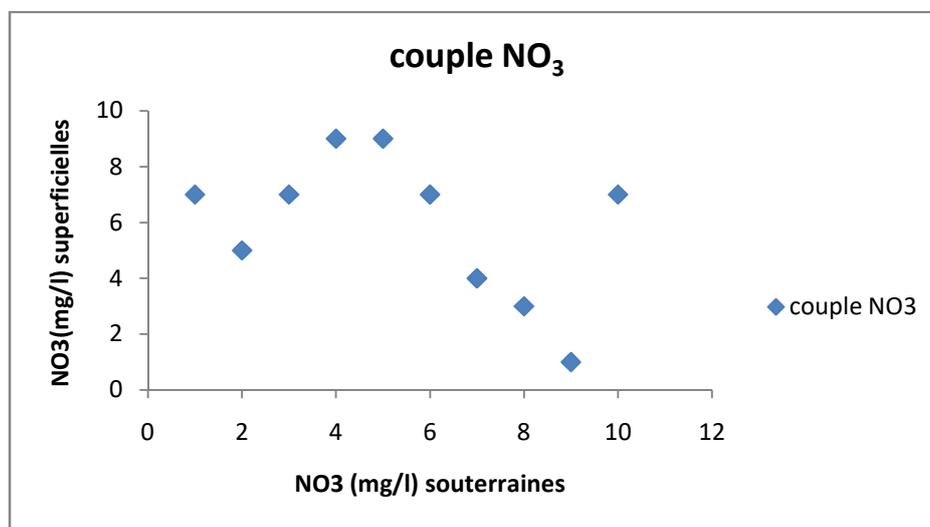
Tableau (12) Analyses mensuelles de l'eau de l'oued El Harrach (ANRH).

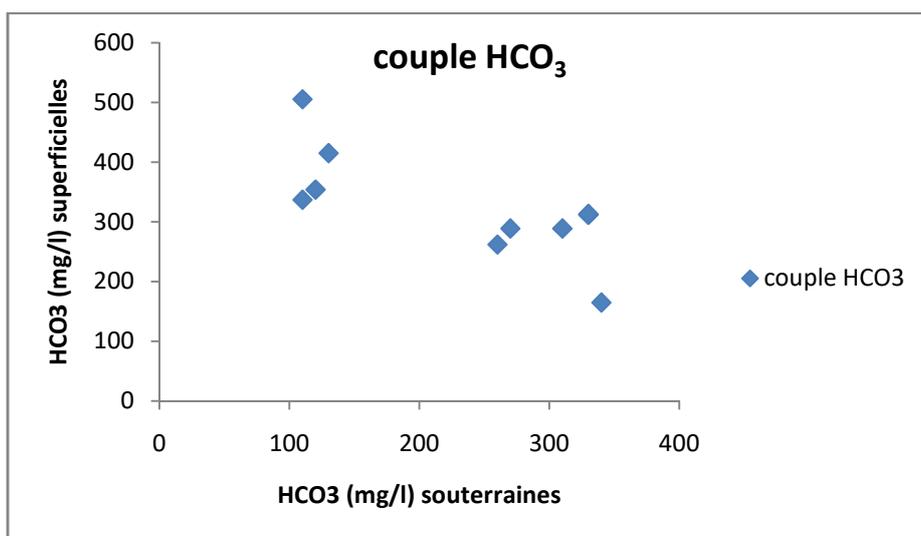
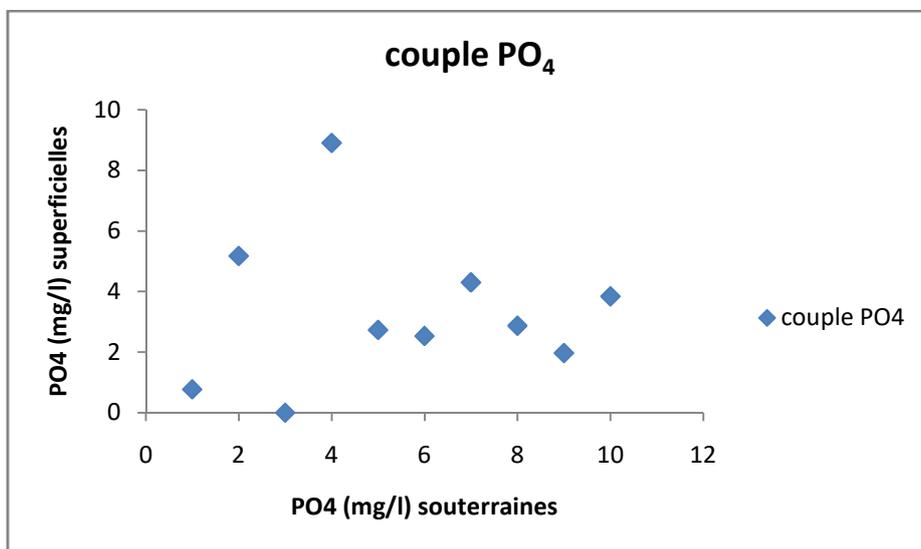
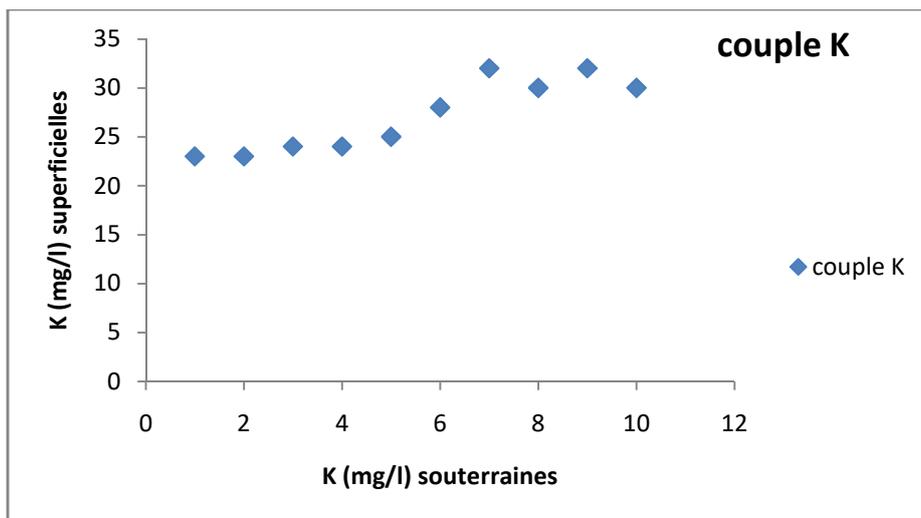
Nous tenterons à partir de l'ensemble de ces données chimiques de rechercher des relations entre les deux pôles (eaux de surface –eaux souterraines) par l'analyse des couples chimiques et des corrélations entre éléments à travers la zone non saturée de cette zone qui fait (44- 45 m), et suite à ces données qui nous permettent la relation qualitative entre les eaux superficielles et souterraines, on les traduit sous formes des graphes de couple entre quelques paramètres indicateurs de pollution ainsi de la corrélation entre ces éléments chimiques (Eaux de surface-Eaux souterraines).

5. CORRELATIONS :

La confrontation de l'examen des données chimiques et quelques indicateurs de pollution au niveau de la zone de Baraki ne permet pas de déterminer la contamination et donc, la migration des solutés de eaux de surface vers la nappe. En effet, des corrélations (fig. 34) entre différents éléments chimiques (eaux de surface- eaux souterraines), Pris par couple et par relations montrent que :

5.1 Couple des éléments chimiques :





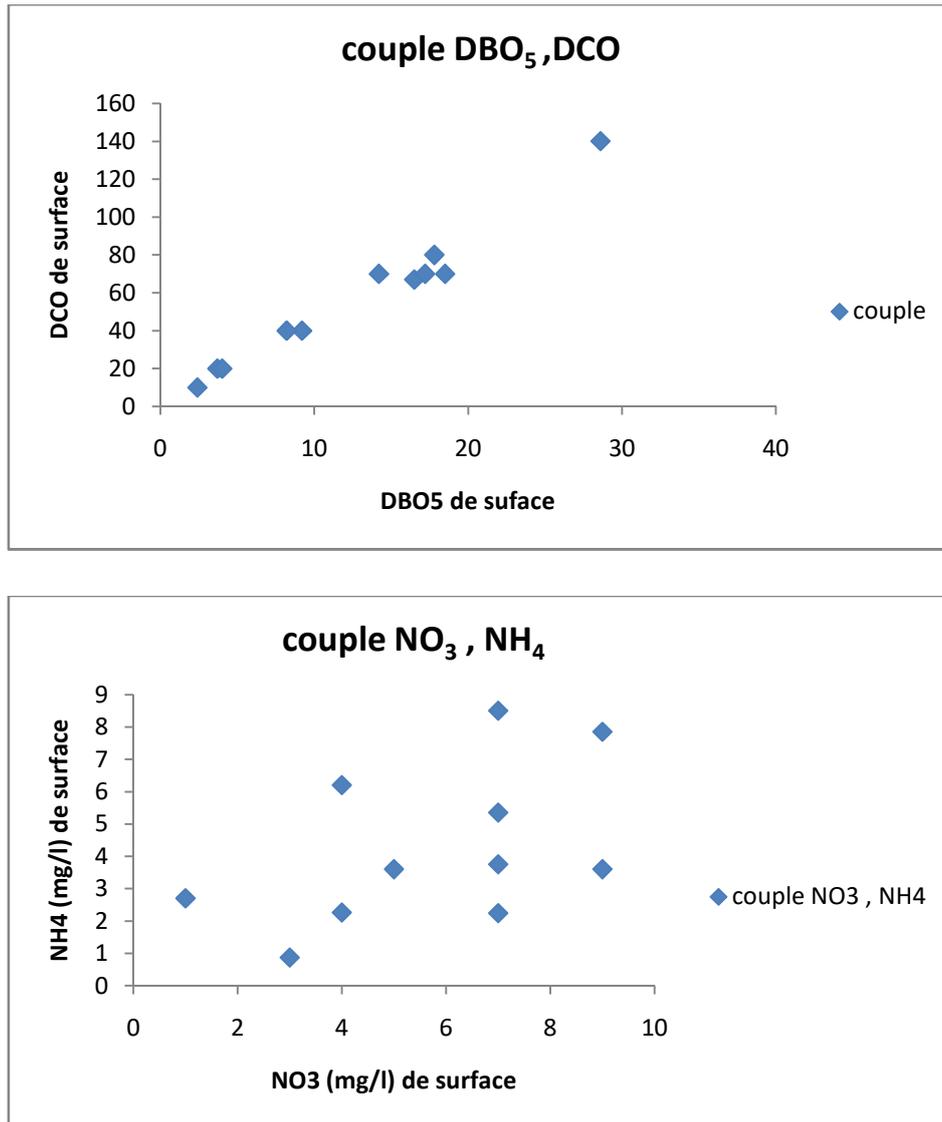
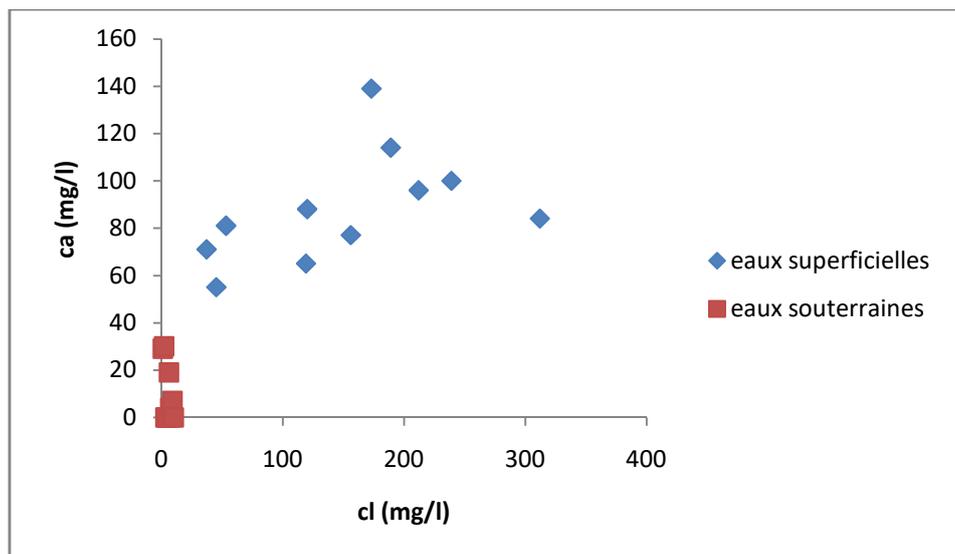
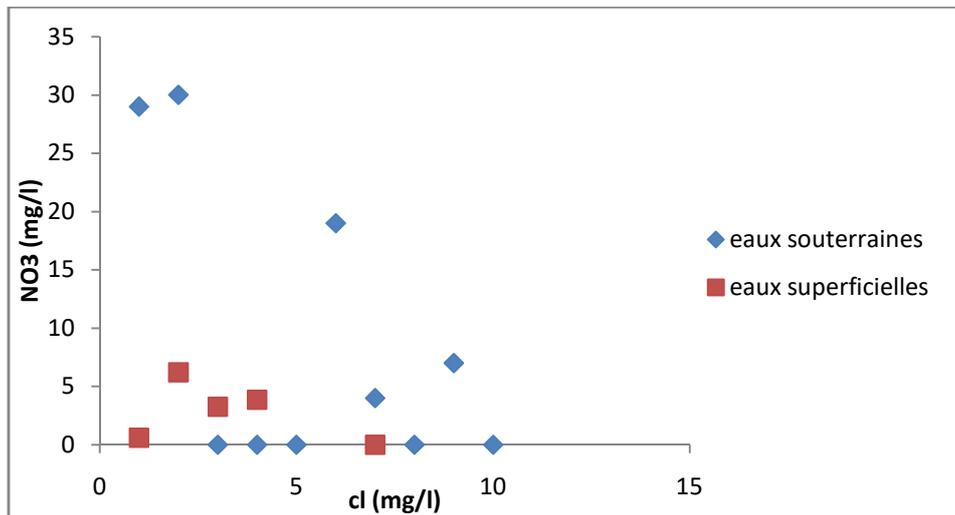
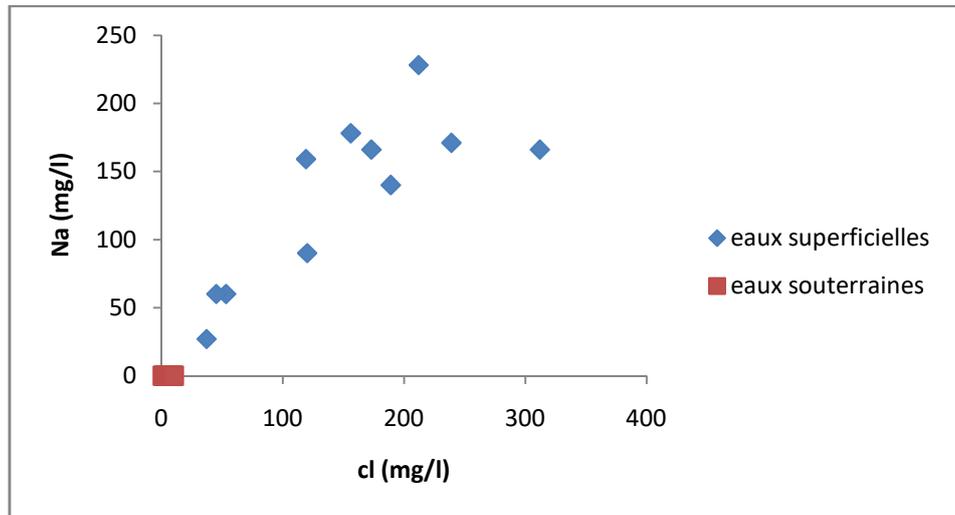


Fig. 29 l'ensemble de couples des éléments chimiques

Commentaire :

L'examen des couples chimiques et quelques indicateurs de pollution entre les eaux superficielles -souterraines de la région de Baraki où le niveau statique de la nappe de quaternaire située vers 45 m (épaisseur de la zone non saturée) ne montre pas de relations directes entre ces éléments ce qui peut signifier que la contamination et la migration des solutés et des polluants à travers ZNS est en cours au vu de l'épaisseur de la zone non saturée. La répartition des points montre dans la majorité des graphes (Fig. 34) une nette distinction entre le groupe des eaux de surfaces- souterraines avec une concentration très élevée des eaux de surface (eaux de rejets).

5.2 Corrélations entre éléments chimiques (Eaux de surface-Eaux souterraines) :



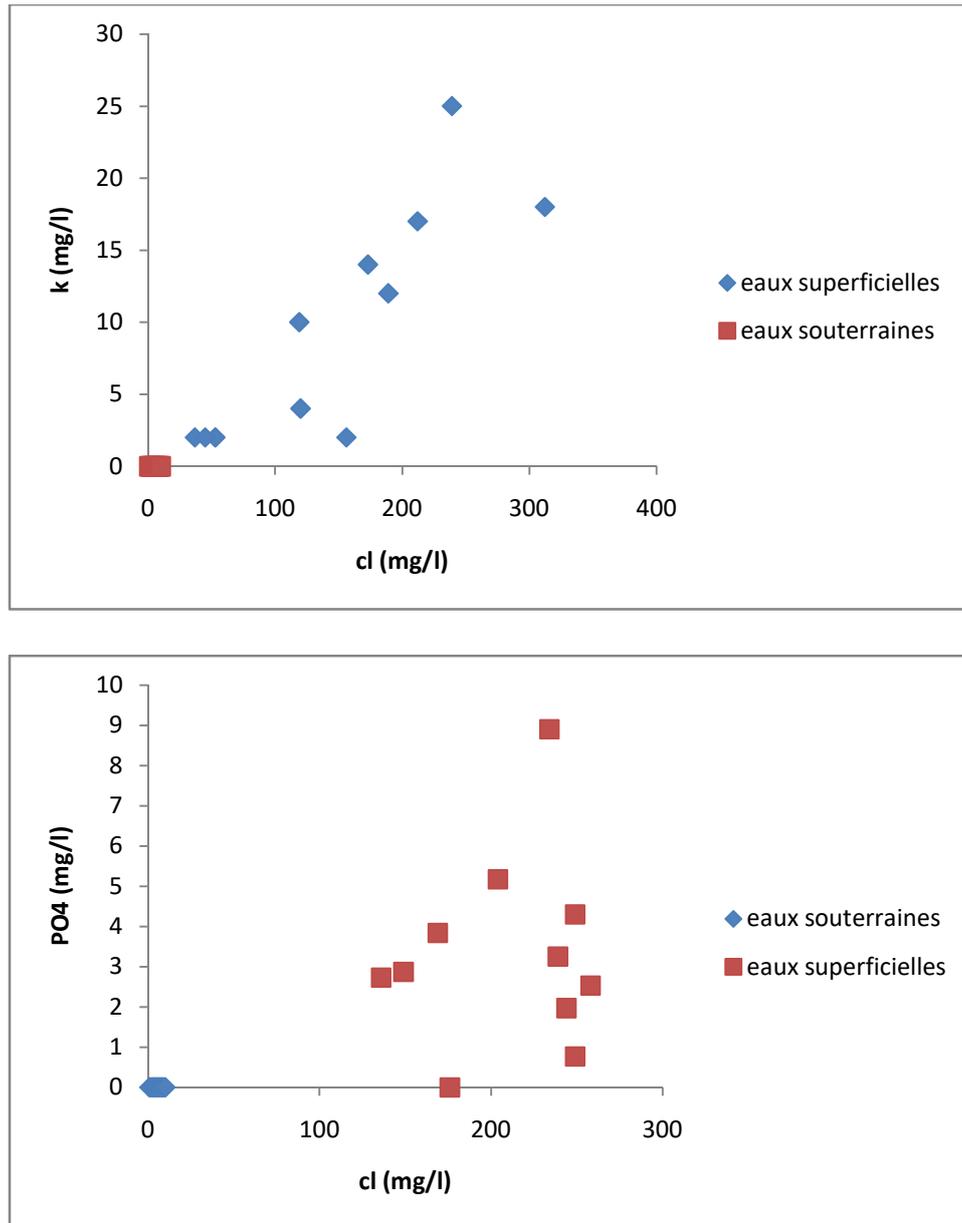


Fig. 30 l'ensemble des corrélations entre éléments chimiques

Commentaire :

L'examen des corrélations entre éléments chimiques NO₃, Ca, K, PO₄, en fonction des chlorures (Fig.35) montre que la répartition se fait selon deux (02) groupes (eaux souterraines- eaux superficielles) orientée selon une tendance relationnelle discontinue. Ce qui pourrait indiquer et conforter l'hypothèse de la migration de ces éléments à travers la ZNS émise dans les couples chimiques.

Conclusion :

Le transfert (Eaux de rejets de surface-Eaux souterraines) sur la zone d'El Harrach (région de Baraki), ne semble pas très important à l'heure actuelle, et cela à la base des données chimiques disponibles et cela pour les raisons suivantes :

- Epaisseur de la zone non saturée (44-45m)
- Echange latéraux entre l'Oued et la nappe Loin de la région de Baraki étudiée
- La migration est entrainée de ce faire à travers la zone non saturée

D'où nécessité de réaliser des carottages sur la zone non saturée afin de mesurer et contrôler le transfert dans les sols. Diverses techniques, plus ou moins directes et ou indirectes sont de façon générale assez délicates, ce qui explique un certain retard dans l'acquisition de résultats expérimentaux relatifs aux sols non saturés.

Là encore, il est très important de connaître les mécanismes de migration des produits nocifs entraînés par l'eau, d'apprécier les effets de la dispersion, des échanges avec le sol dans le but de prévoir, de contrôler, et d'intervenir pour la protection d'une nappe d'eau souterraine. Si les techniques de contrôle qui proviennent de la science du sol, sont bien maîtrisées et disponibles dans un nombre croissant de laboratoires, elles font encore l'objet de recherches afin de modéliser ce transfert.

Chams captant	Paramètre	Cl	Si	PO ₄	pH	Mo	Ca	Mg	K	No ₂	No ₃	Hco ₃	Na	cond	Tur
	Norme Algérienne Mg/L	500	/	0.5	6.5 à 8.5	3	200	150	20	0.5	50	/	200	2800	5
Bis Baraki F 14-17		105.06	11.7	0.09	7.55	0.08	110	35	2.08	0.02	29	260	109.2	1291	1.6
Bis Baraki F 15		107.84	18.05	0.09	7.5	0.08	110	35	2.09	0.02	30	270	109.8	1290	2
Baraki F 43-26		87.72	6.01	0.09	7.69	0.21	84	28	3.71	0.02	8.28	110	69.91	903	0.53
Baraki F 50-11		87.72	2.64	0.09	7.83	0.22	83	28	3.71	0.02	8.37	110	69.59	909	0.53
Eucalyptus F 01		230	3.58	0.09	7.04	0.26	110	80	1.98	0.02	11.8	330	109.5	1575	0.39
Haouch Belabes		158.5	8.04	0.09	8.4	0.32	140	31	1.74	0.02	19	340	140.4	1443	0.74
Derghana F 01		151.27	2.02	0.09	8.01	0.81	46.8	15	4.41	0.02	4	130	102.3	848	1.2
Bouriah F 11		141.6	5.24	0.09	7.75	0.48	40.1	13	4.4	0.02	4.1	120	109.3	822	0.86
Haouch flit F 14		665.55	7.78	0.09	7.43	0.51	296	30	/	0.02	7	330	100.9	2770	2.2
Eucalyptus F02		340	6.45	0.09	7.24	1.5	78	49	4.38	0.02	6.5	310	97.47	1565	0.27
Mehalma F 05		171.49	<0.05	0.09	7.14	0.54	140	34	/	0.02	23	37	73.99	1118	0.46
Fer à cheval (mazafran)		170.4	<0.05	/	7.2	/	106	29.1	2.4	0.02	22.4	329.9	102.7	1489	1.8
Garça Birtouta F03		128.02	0.96	0.09	8	0.34	60.8	18	4.66	0.02	5.8	170	96.67	813	0.61
Birtouta F 05		126.63	1.42	0.09	7.1	0.56	64	28	4.57	0.02	5.8	160	98.43	808	2.4
Roussi Birtouta		105.60	1.04	0.09	7.5	0.46	70.3	28	4.6	0.02	6.6	190	94.9	809	0.61

Tableau 07 les résultats obtenus pour les principaux paramètres physico-chimiques. (SEAAL Kouba 2012)

Nom De Station	Paramètre Mg/l	Cl	Si	PO ₄	pH	Mo	Ca	Mg	K	No ₂	No ₃	Hco ₃	Na	Cond Us/cm	Tur NTU
	Date de prélèvement														
Fer à cheval	26/01/2011	167	21.2	50.18	7.5	16.4	114	54	16	4.17	2.7	390	122	1700	23.5
	23/02/2011	108	/	1.53	7.6	0.1	98	34	9	6.54	5.9	354	100	1100	16
	21/03/2011	120	12.8	9.67	7.6	14.6	108	48	14	1.74	8.6	427	116	1500	14.4
	27/04/2011	143	5.4	2.41	7.9	13	111	38	5	0.5	4.9	308	77	1200	
	30/05/2011	103	20.3	1.19	7.6	7.4	62	68	9	1.28	4.5	290	75	965	
	27/06/2011	132	15.6	6.97	7.7	29	77	64	12	0	0	473	124	1393	
	27/07/2011	203	23.1	7.2	7.9	30	96	50	22	0.26	0.70	610	201	1670	
	24/08/2011	170	22.3	7.05	7.8	28.4	100	37	22	0.16	3.6	598	156	1588	
	28/09/2011	0	/	2.44	7.5	10	0	66	0	0.01	0	320	0	1111	
	24/10/2011	171	/	6.28	7.7	37	54	94	21	0.08	0.1	549	139	1598	
26/12/2011	167	/	4.81	7.6	33	104	60	18	0.03	0.6	427	134	1700		
Baraki	26/01/2011	189	13.5	1.77	7.6	16.6	114	54	12	0.3	0.5	397	140	1522	14.5
	23/02/2011	37	/	0.36	7.8	/	71	36	2	0.1	1.4	320	27	800	30
	21/03/2011	120	10.7	0.91	7.7	7.6	88	50	4	0.31	4.9	308	90	1200	6.5
	27/04/2011	53	6.8	0.15	8	9.5	81	31	2	0.03	2.5	427	60	850	
	30/05/2011	45	10.1	0.42	7	2.4	55	69	2	0.233	2.8	305	60	866	
	27/06/2011	119	15	2.9	7.6	14.5	65	61	10	0	0	366	159	1344	
	27/07/2011	212	19.3	5.25	7.9	21.5	96	41	17	0.209	1.8	473	228	1733	
	24/08/2011	239	18.6	5.35	7.8	28.8	100	39	25	0.16	3.6	458	171	1782	
	28/09/2011	156	0.9	0	8	6.1	77	45	2	0.158	5.7	146	178	1457	
	24/10/2011	312	/	5.12	7.6	26.2	84	130	18	0.01	0.1	0	166	2100	
27/12/2011	173	/	3.66	7.6	26	139	76	14	0.189	0.4	442	166	1552		

Tableau 08 les principaux paramètres physico-chimiques des eaux de surface (ANRHALger 2012)

ANNEXE

Résultats d'analyses des métaux lourds de la baie d'Alger (mais, 2010)

CODE	X	Y	Fer mg/l	Manganèse mg/l	Cuivre mg/l	Zinc mg/l	Plomb mg/l	Chrome Total mg/l	Cadmium mg/l
E008-4212	550550	380450	0.079	0.014	0.002	0.603	0.001	0.000	0
E008-4594	550350	381650	0.079	0.010	0.001	0.022	0.002	0.000	0
E007-9644	534770	361500	0.013	0.003	0.000	0.002	0.001	0.000	0
E007-9651	534900	367700	0.014	0.001	0.002	0.038	0.001	0.000	0
E007-8156	512050	360200	0.007	0.005	0.001	1.337	0.001	0.000	0
E007-8159	506000	364000	0.003	0.002	0.000	0.212	0.000	0.000	0
E007-8161	509750	368750	0.000	0.000	0.003	0.160	0.001	0.000	0
E007-8163	510050	361450	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0
E007-8164	505700	351300	0.011	0.008	0.001	0.044	0.000	0.000	0
E007-8165	504400	356500	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0
E007-9123	519500	369500	0.302	0.015	0.000	0.000	0.001	0.000	0

Réseau piézométrique de la baie d'Alger

N° BIRH	N° Catalogue	X Lambert (km)	Y Lambert (km)	Z (m)	mai-10
W021-4212 /PZ 1 HZ	E008-4211	550.550	380.450	25.705	40.25
W021-4211 /PZ 2 HZ	E008-4212	549.300	380.750	27.347	39.15
W021/PZ32 BA	E007-9141	543.550	382.250	27.010	24.00
W021/PZ36 BA	E007-9142	544.500	380.500	18.070	27.30
W021/PZ38BA	E007-9143	544.750	382.350	19.650	18.30
W021/PZ39 BA	E007-9144	544.900	381.850	17.670	28.64
W021/PZ41 BA	E007-9145	545.375	382.750	19.380	21.55
W021/PZ42 BA	E007-9146	545.900	382.000	23.670	22.85
W021/PZ45 BA	E007-9147	546.850	382.600	17.820	27.85
W021/PZ48 BA	E007-9148	546.900	383.350	14.200	25.22
W021/PZ50 BA	E007-9149	547.400	382.800	16.010	21.10
W021/PZ51 BA	E007-9150	547.800	382.250	17.380	27.50
W021/PZ54 BA	E008-4573	548.850	385.050	10.690	15.25

ANNEXE

W021/PZ58 BA	E008-4574	549.450	386.050	13.720	10.85
W021/PZ59 BA	E008-4575	548.300	384.650	13.730	19.15
W021/PZ60 BA	E008-4576	548.150	383.750	15.110	22.50
W021/PZ61 BA	E007-9151	547.650	383.750	14.280	19.78
W021/PZ62 BA	E007-9152	546.150	383.250	15.100	24.60
W021/PZ A BA	E007-9153	544.200	381.850	19.240	25.51
W021/PZ B BA	E008-4577	549.350	383.600	16.380	27.15
W021/PZ C BA	E008-4578	548.500	382.550	18.340	18.40
W021/PZ D BA	E007-9154	547.000	382.000	15.490	27.10
W021/PZ E BA	E008-4579	546.125	381.450	16.770	25.90
W021/PZ F BA	E008-4580	549.200	384.250	15.070	22.60
W021/PZ G BA	E008-4581	548.450	383.300	16.430	23.90

Réseau piézométrique de la plaine de la Mitidja

N° BIRH	N° Catalogue	X Lambert (km)	Y Lambert (km)	Z (m)	mai-10
W021-5	E008-4583	552.750	385.600	25.470	4.95
W021-193	E008-4587	555.700	382.600	17.653	10.80
W021-417	E008-4590	558.620	379.920	37.030	10.43
W021-891	E008-4594	550.350	381.650	18.030	24.40
W021-892	E007-9595	556.500	384.350	10.040	18.30
W021-893	E008-4595	547.900	382.900	14.040	23.90
W021-894	E008-4596	557.900	384.670	2.320	10.75
W041-1427	E007-9609	501.480	365.760	58.744	31.90
W041-1765	E007-9619	510.000	362.600	50.830	42.10
W041-1766	E007-9620	512.500	363.550	74.720	40.00
W041-1768	E007-9622	502.750	360.850	41.840	31.80
W041-Ben hamdani		514.400	365.170	NN	8.15
W041/PZ 18-MZ I	E007-8159	513.100	369.600	17.421	51.80
W041/PZ 23-MZ I	E007-8161	509.750	368.750	16.947	44.17
W041/PZ 25-MZ I	E007-8162	511.600	370.800	16.561	55.30
W041/PZ 18-MZ II	E007-8157	504.800	361.500	48.054	66.03

ANNEXE

W041/PZ 6-BL I	E007-8155	511.850	361.900	71.673	67.11
W041/PZ 7-BL I	E007-8163	510.050	361.450	66.891	60.03
W041/PZ 8-BL I	E007-8156	512.050	360.200	97.499	69.15
W041/PZ1 O,alleug	E007-9120	507.250	365.800	21.308	48.38
W041/PZ3 Ben khelil	E007-9121	512.350	366.250	15.988	5.95
W041/PZ5 Boufarik	E007-9122	519.200	365.950	36.849	40.55
W041/PZ6 Tessala,M	E007-9123	519.500	369.500	35.467	46.70
W041/PZ 49		530.575	360.502	89.976	68.70
W041/PZ 50		529.867	360.486	86.726	68.50
W041/PZ7 Tabainet		532.375	359.550	99.490	40.20
W041/PZ6 BABA ALI		531.461	369.043		47.44
W041/PZ 7 PC/MZ I		512.827	369.456		60.24
W041/PZ 8 MZ I		512.827	369.456		48.74
W041/PZ 9 PC / MZ II		505.280	363.470		65.02
W041/PZ 10 MZ II		502.919	362.883		64.67
W042-439	E007-9637	545.950	368.500	65.030	5.00
W042-450	E007-4598	550.650	370.750	78.480	5.80
W042-688	E007-4600	553.650	374.620	48.880	8.50
W042-997	E007-9641	539.200	373.150	30.700	43.95
W042-1000	E007-9644	534.770	361.500	106.530	42.65
W042-1003	E007-9647	541.270	363.070	103.460	17.20
W042-1010	E007-9651	534.900	367.700	45.910	44.70
W042-f4 Oed Adda		538.460	373.920	27.000	22.04
W042/PZ4 Eucalyptus	W04209681	540.600	369.850	51.199	52.03
W042/PZ9 Baraki	E00709126	533.800	371.750	79.247	44.56
W042/PZ10 S.M	E00709127	534.900	369.250	45.244	50.95
W042/PZ 51		531.635	361.399	87.701	53.93
W042/PZ2 HAMMADI		550.479	376.442		46.26
W042/P3 H.FELIT		540.674	374.471		41.71
W042/PZ4 RAIS		538.180	368.667		56.42
W042/PZ5 BARAKI		533.957	373.734		40.10
W062-251	E007-9659	488.600	352.230	133.380	0.50
W062-332	E007-9661	496.120	352.200	100.000	13.40

ANNEXE

W062-333	E007-9662	493.720	353.500	86.950	44.85
W062-334	E007-9663	493.250	359.700	59.420	34.60
W062-335	E007-9664	491.200	355.640	72.850	47.80
W062/PZ 2 El affroun	E007-9128	493.450	358.800	64.519	51.00
W063-245B	E007-9669	503.600	353.800	84.840	28.20
W063-470B	E007-9672	500.700	354.600	80.160	37.40
W063-593	E007-9675	504.500	349.450	126.480	21.00
W063-594	E007-9676	503.950	352.600	93.210	17.70
W063-595	E007-9677	503.750	358.120	56.190	46.20
W063-596	E007-9678	507.200	357.150	102.919	68.75
W063/PZ 1-BL II	E007-8154	504.150	355.700	78.031	24.00
W063/PZ 2-BL II	E007-8165	504.400	356.500	83.707	34.70
W063/PZ 3-BL II	E007-8153	503.500	356.950	65.490	33.35
W063/PZ CHIFFA	E007-8164	505.700	351.300	112.809	21.50
W063/PZ 7Zaouia	E007-9124	509.500	358.600	126.743	90.00
W063/PZ 8 Guérouaou	E007-9125	516.400	357.800	153.749	52.60

Carte du réseau piézométrique de la plaine de la Mitidja

