



UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA

Faculté des sciences de l'ingénieur

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 fertilisants agricole (Nitrates) à travers  
la zone non saturée dans la zone de Sahel Algérois**

**(Région de Bir Khadem)**

Présenté par :

**CHEIKH Meriem**

Devant le jury composé de :

<b>Mr ANSER.A</b>	<b>Maitre Assistant A Uni. de Blida</b>	<b>Président</b>
<b>Mr BOUDJADJA.A</b>	<b>Maitre Conférence A Uni. de Blida</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr MASSOUD NACER.N</b>	<b>Maitre Assistant Uni. de Blida</b>	<b>Examineur</b>
<b>M<sup>r</sup> GUENDOUZ .A</b>	<b>Maitre Conférence Uni. de Blida</b>	<b>Promoteur</b>

Promotion 2010/2011

### **Introduction générale :**

Dans beaucoup de région du monde et surtout en milieu rurale, l'eau souterraine est la ressource la plus utilisée pour l'eau potable car elle est généralement moins polluée que l'eau de surface, actuellement des pressions importantes mettant en causes des facteurs naturels et surtout anthropiques menacent la pérennité de cette ressource (surexploitation et dégradation de la qualité de la ressource, dégradation de la qualité des nappes).

La pollution des nappes phréatiques est fortement liée à l'occupation du sol (agriculture, élevage, zone d'habitation...). Les zones peu anthropisées présentent en général les concentrations de nitrate les plus faibles. Pour expliquer cette pollution, plusieurs études mettent en cause la pratique intensive de l'agriculture et de l'élevage qui favorise la pollution diffuse. D'autre part, de nombreux cas d'études montrent aussi que le défaut d'assainissement dans les zones urbanisées peut être une cause importante de pollution.

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).

Précédemment la ZNS était seulement considéré par les Hydrogéologue comme un domaine à travers lequel l'eau d'infiltration due à la pluviométrie percolait pour rejoindre et réalimenter l'aquifère, mais le parcours réelle de l'eau à travers la ZNS qui est le siège du transfert n'avait pas grande importance.

Les travaux concernant la plaine de la Mitidja sont très nombreux, tant sur le plan géologique et hydrogéologique que sur le plan de la recherche et de la gestion de la ressource.

La plaine a subi une urbanisation rapide et une fertilisation accrue de ses terres pour l'amélioration du rendement agricole, de sorte que ceci va se manifester tôt au tard par une dégradation de la qualité chimique de ses ressources en eau.

Cette pollution n'a pas été atténuée mais prouvée actuellement dans de nombreux points d'eau, en effet, l'avenir des eaux de l'aquifère alluvial (Quaternaire) est en danger.

Jusqu'à présent, il y'a nombreuses études qui ont été menées sur les sols de surface mais très peu en zone non saturée.

Les analyses régulièrement effectuées par les services de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques) et la SEEAL dans le cadre du suivi de la qualité chimiques sur leur réseau de mesure des eaux souterraines des nappes de la Mitidja (nappe de l'Astien et du Quaternaire) montrent en certains endroits des teneurs préoccupantes du nitrates, qui dépassent parfois largement les concentrations nationales admissibles par l'OMS (50 mg/l).

Parce que les mécanismes de transfert, et les vitesses de transport au sein de la zone non saturée et la zone saturée sont mal connus, l'évolution de la qualité de ces nappes à moyen terme n'est pas prévisible.

Cette étude a pour objectif de déterminer le mode et les mécanismes de transfert des nitrates depuis le sol en passant par la zone non saturée (ZNS) jusqu'à la zone saturée (ZS), et cela par l'examen et la comparaison des données concernant les origines de la pollution par les nitrates qui transmet vers la zone non saturée en raison de plusieurs phénomènes. Pour la ZNS les données de deux sondages carottés réalisés par une entreprise de géotechnique (SCTE) sur la zone de recharge (Bir khadem) ont été exploités et pour la zone saturée (la nappe), les données des analyses chimiques des campagnes que mènent l'ANRH et la SEEAL ont été exploités aussi bien sur la région de Bir Khadem que sur la zone de la Mitidja Centre et ouest.

Le présent travail est structuré selon 04 chapitres, le premier est consacré à une description de la zone d'étude, le second présente les aspects théoriques nécessaires à la compréhension des mécanismes de transfert de soluté en milieu poreux non saturé, le troisième chapitre expose le cycle de l'azote, ainsi que la méthodologie utilisée dans ce travail, et enfin le chapitre 4 qui résume les résultats concernant les trois pôles, il explique le parcours des nitrates vers le sol et indique le processus de ce transfert à travers la zone non saturée.

## 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 de Bir Khadem qui présente des teneurs excessives en nitrates atteignant jusqu'à 180 mg/l par endroits.

Le choix de ce thème a été guidé par le souci d'examiner la zone non saturée, dont la compréhension de transfert des solutés (dans notre cas les nitrates) est assez complexe, car gouvernée par des mécanismes hydrodynamique et chimiques intervenant à des échelles spatiales différentes.

Des analyses hydrochimiques, sur plusieurs années ont été effectuées aux laboratoires de la SEAAL et de l'ANRH, montrent une évolution de la concentration en nitrate relativement importante dans l'espace et dans le temps. En outre, deux sondages carottés ont été réalisés, montrent le transfert des nitrates à travers la zone non saturé, dont l'origine de cette pollution due aux plusieurs facteurs, essentiellement de l'activité agricole, de l'industrie et de l'activité urbaine.

**Mots clés :** Mitidja, Bir Khadem, pollution, tansfert, nitrates, zone non saturée, sondages carottés, activité agricole

## ملخص:

هذا العمل يتكون من الدراسة الجيولوجية والهيدروجيولوجية لسهل متيجة الذي يعيش أزمة حادة في البيئة من حيث تلوث الهواء وتلوث المياه السطحية والمياه الجوفية، ولا سيما في منطقة بئر خادم حيث تحتوي على نسب كبيرة من النترات تصل إلى 180 ملغم / لتر.

وقد استرشد في اختيار موضوع البحث من قبل هذه الرغبة في إعطاء أهمية المنطقة غير المشبعة، حيث أن فهم عملية نقل المذاب (في هذه الحالة نترات) في هذا المجال معقدة، لأن الآليات الهيدروديناميكية و الكيمائية التي تحدث على مستويات مكانية مختلفة هي التي تحكمها.

وقد أجريت تحاليل هيدروكيميائية على مدى عدة سنوات في المختبرات (سيال) و(و.و.م.م) تظهر أن تطور تركيز النترات مرتفعة نسبيا في المكان والزمان. بالإضافة إلى ذلك ، قدمت اثنين من الثقوب ، والتي تبين نقل نترات من خلال المنطقة غير المشبعة، ومنشأ التلوث الناجم عن عوامل عدة، في المقام الأول من الزراعة، الصناعة والنشاط في المناطق الحضرية.

**الكلمات المفتاحية :** متيجة، بئر خادم، التلوث، نقل، النترات، المنطقة غير المشبعة ، الحفر الأساسية، والزراعة

## Summary:

This work consists of a geological and hydrogeological study of the plain of Mitidja plain living a severe crisis of its environment in terms of air pollution and pollution of surface and groundwater, particularly in the area of Bir Khadem that contains excessive levels of nitrates reach 180 mg / l.

The choice of this research theme has been guided by the desire to give the importance of the unsaturated zone, whose understanding of transfer of solute (in this case nitrate) in this area is complex, as governed by hydrodynamic mechanisms chemicals occurring at different spatial scales.

Hydrochemical analyses over several years have been conducted in laboratories and SEAAL ANRH shows an evolution of the relatively high nitrate concentration in space and time. In addition, two diamond drill holes were made, showing the transfer of nitrate through the unsaturated zone, the origin of the pollution from several factors, primarily from farming, industry and activity urban.

**Keywords:** Mitidja, Bir Khadem, pollution, transfer, nitrates, unsaturated zone, core drilling, farming.

Remerciement	I
Dédicace	II
Résumé	III
Sommaire	IV
Liste des tableaux	VI
Liste des figures	VII

INTRODUCTION GENERALE .....	1
-----------------------------	---

### CHAPITRE I: situation géographique de la zone d'étude

1. Introduction .....	3
2. Généralité et situation géographique .....	3
2.1. Le sahel .....	4
4	4
2.2. Le Piément de l'ATI .....	4
4	5
2.3. L'ATLAS	6
Blidéen.....	4
7	7
3. Contexte Hydroclimatique .....	9
4. Géologie .....	10
4.1. Le quatern .....	11
7	12
4.2. Le plioc .....	12
9	9
5. Hydrogéologie.....	
5.1. Substratum .....	13
13	13
5.2. L'aquifère .....	13
astien.....	2
14	14
5.3. L'aquifère de la MITII .....	14
16	16

### CHAPITRE II: Approche bibliographique du transfert d'eau et de soluté en milieu poreux

1. Description du transfert dans un milieu poreux .....	18
1.1. Le sol ; un milieu poreux .....	19
1.1.1. Représentation physique d'un sol .....	20
1.2. Caractérisation hydrauliques des sols .....	20
1.2.1. Les formes d'eau dans le sol .....	20
1.2.2. Notion de potentiel de l'eau du sol .....	21
1.2.3. La courbe caractéristique de la conductivité hydraulique .....	1
1.3. Théorie de l'écoulement en zone non saturée .....	24

1.3.1. Ecoulement en zone saturée .....	
1.3.2. écoulement en zone non saturée .....	
2. Mécanisme des transferts des polluants dans la ZNS .....	20
2.1. le devenir des polluants dans le sol .....	
2.1.1. La convection .....	
2.1.2. La dispersion hydrodynamique .....	
2.1.3. Diffusion moléculaire .....	

### CHAPITRE III : Méthodologie

1. Introduction .....	26
2. Le sol .....	27
2.1. Les transformations et les transferts d'azote.....	27
2.1.1. La fixation de l'azote atmosphérique .....	28
2.1.2. Minéralisation de l'azote organique .....	28
2.1.3. Perte d'azote .....	29
2.2. Activité agricole dans la Mitidja.....	31
2.2.1. Les superficies agricoles .....	31
2.2.2. La fertilisation .....	31
2.2.3. Les apports en azote d'origine animale .....	33
2.3. Activité industrielle dans la Mitidja .....	34
2.4. Assainissement .....	35
2.5. Les décharges publique .....	36
3. La zone non saturée ( sondages carottées) .....	37
4. La nappe .....	38
4.1. Région de Bir Khadem .....	38
4.2. LA MITIDJA (Centre et Ouest) .....	40

### CHAPITRE IV : Résultats et interprétation

1. Introduction .....	42
2. Le sol .....	42
2.1. La .....	42
.....	42
2.2. Activité industrielle de la M .....	45
.....	44
2.3. Autre sources de poll .....	45
.....	45
2.4. Conclusion .....	47
.....	45
3. La zone non saturée .....	48
3.1. Sondage .....	48
.....	46
.....	51

---

3.2.	Sondage	SD2
	.....	47
3.3.	Conclusion	
	.....	47
4.	La nappe	48
4.1.	Région de Bir Khadem	
	.....	48
	CONCLUSION	51
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	52

## Listes des figures :

FIGURE I.1 : la plaine de la Mitidja et ses bassins versants .....	04
FIGURE I .2 : Pluviométrie moyenne interannuelle (période 1980-2009) .....	06
FIGURE I.3 : Carte géologique de la région d'ALGER échelle originale : 1/500000.....	07
FIGURE I.4 : Coupes géologique au niveau de la MITIDJA.....	08
FIGURE II.1 : Représentation physique d'un milieu poreux .....	14
FIGURE II .2 : les formes de l'eau dans le sol .....	15
FIGURE II .3 : Les principes causes de la dispersion mécanique dans un milieu poreux .....	21
FIGURE II .4 : Mécanismes de dispersion mécanique .....	22
FIGURE III .1 : Carte de situation des point de prélèvement sur la zone de BEN KHADEM centre et ouest .....	26
FIGURE III .2 : Formes et trajets de l'azote à l'intérieur du système de production agricole.....	27
FIGURE III .3 : Processus de minéralisation de l'azote .....	28
FIGURE IV. 1 : Evolution des consommations en azote .....	42
FIGURE IV. 2 : Quantité moyenne d'azote consommée par wilaya .....	43
FIGURE IV .3 : Evaluation des quantité d'azote épandues à l'hectare (2008) .....	43
FIGURE IV. 4 : Apport en azote d'origine agricole .....	44
FIGURE IV .5 : Activités industrielles dans la MITIDJA .....	44
FIGURE IV .6 : Dépotoirs sauvages .....	45
FIGURE IV. 7 : Profile des nitrates et teneur en eau du SD1 obtenus en 2009 .....	46
FIGURE IV .8 : Profils des nitrates et teneur en eau du SD2 obtenus en 2009 .....	47
FIGURE IV .9 : Evolution des nitrates en fonction de temps .....	48
FIGURE IV. 10 : Evolution de la conductivité en fonction de temps .....	49
FIGURE IV. 11 : Variation temporelle des teneurs en nitrates et en chlorures .....	50



Liste des tableaux :

TABLEAU III .1 : Consommation moyenne d'azote (Rapport ANRH, service pédologie 2010).....	32
TABLEAU III .2 : Fertilisation par wilaya (Rapport ANRH , service pédologie 2010) .....	32
TABLEAU III .3 : Apports en azote issu de l'élevage (Rapport ANRH ,service pédologie 2010).....	33
TABLEAU III .4 : Activités industrielles dans la MITIDJA (Rapport ANRH , service pédologie 2010).....	34
TABLEAU III .5 : Réparation des unités industrielles et leur principales caractéristiques .....	35
TABLEAU III .6 : Inventaire des dépotoirs sauvages (Rapport ANRH , service pédologie 2010).....	37
TABLEAU III .7 : Résultats des analyses chimiques réalisées sur les sondages carottés .....	38
TABLEAU III .8 : Résultats des analyses des teneurs nitrates de la région de Bir Khadem .....	39
TABLEAU III .9 : Résultats des analyses des teneurs en chlorures de la région de Bir Khadem .....	39
TABLEAU III .10 : Résultats des analyses de la conduction de la région de Bir Khadem.....	40
TABLEAU III .11 :Résultats des analyses des teneurs en nitrates de la région de la Mitidja .....	41

## Introduction

Les eaux souterraines de la nappe de la Mitidja alimentent en eau potable de nombreuses localités de la capitale et plusieurs villes des quatre wilayas situées dans la plaine (Alger, Blida, Boumerdes, et Tipaza). Elles assurent aussi l'irrigation des dizaines de milliers d'hectares de terres agricoles et l'alimentation de presque toutes les unités industrielles. C'est pourquoi, un intérêt particulier est accordé à cette nappe qui a fait l'objet de nombreuses études (ANRH-Blida, 2011).

Parallèlement à sa surexploitation en débit, la nappe de la Mitidja est exposée à des risques de pollution dont certains ont causé la détérioration de la qualité des eaux souterraines.

### 1. Généralité et situation géographique:

La plaine de la Mitidja est située juste au Sud d'Alger (Fig I.1). Elle s'étend sur les territoires ; Wilaya d'Alger, Boumerdes, Tipaza et Blida. D'une orientation WSW-ENE et d'une altitude moyenne de 100m, elle s'étend sur une superficie de 1300km<sup>2</sup> depuis l'Oued Boudouaou à l'Est jusqu'au bassin de Menacer à l'Ouest, sur une longueur de 100km avec une largeur qui varie de 8 à 18km, elle est séparée de la mer par le bombement du Sahel qui culmine à 280m, et ce sur une distance de 70km. Vers l'Est, dans la région de Réghaia, elle est directement en contact avec la mer (ANRH-Blida, 2011), elle est limitée :

- Au Sud par les piémonts de l'Atlas
- Au Nord par la ride du Sahel

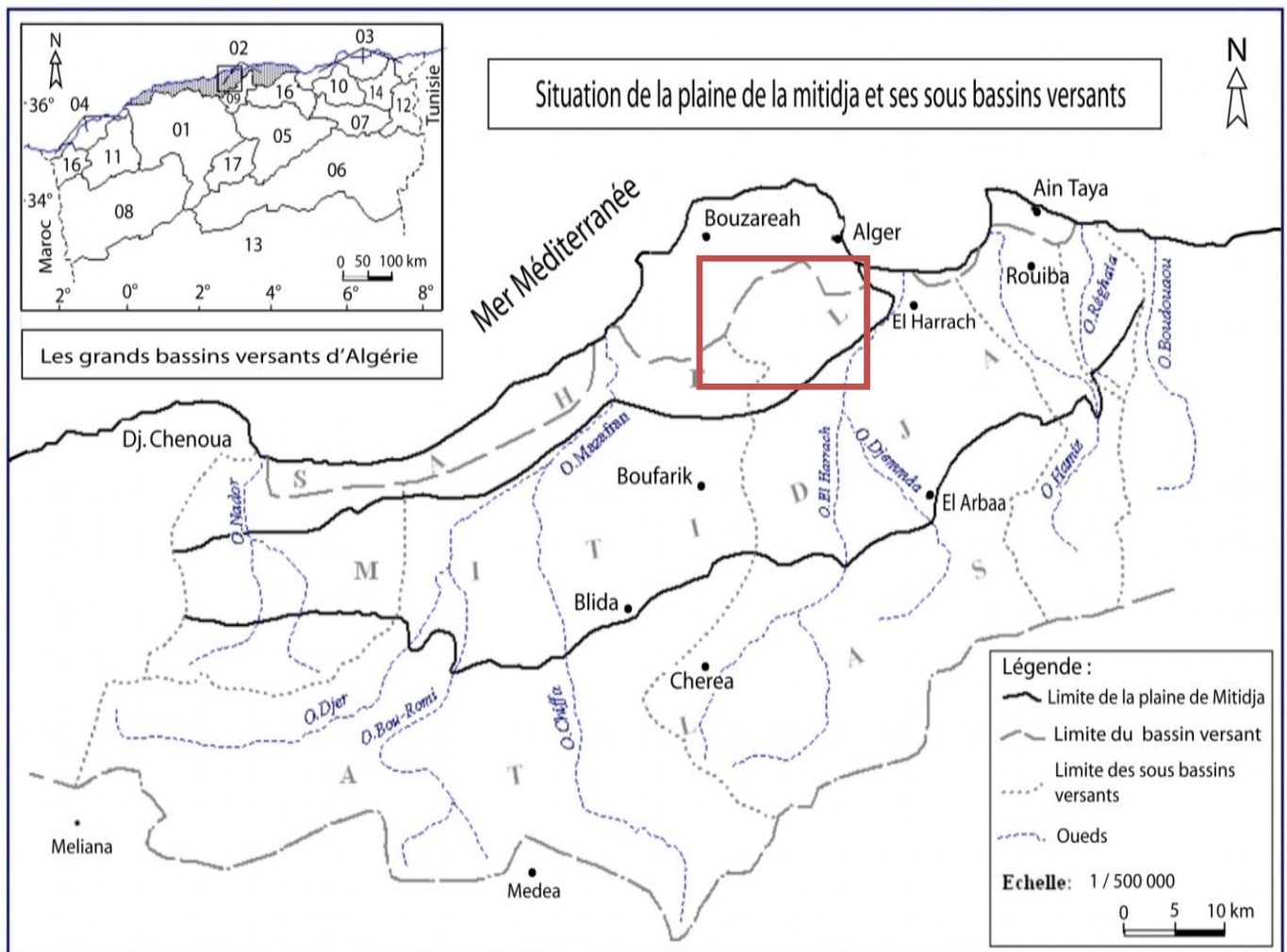
Elle est traversée sur toute sa superficie par différents Oueds s'écoulant globalement du Sud vers le Nord et prenant leur source dans le Massif de Blida. D'Est ou Ouest, ces Oueds sont : Réghaia, Hamiz, Djemaa, El Harrach ; Chiffa , Bouroumi et Djer(Omar MIMOUNI, 2010).

La plaine de la Mitidja est formé de la juxtaposition de sous bassins versants, se regroupant en quatre ensembles(ANRH) , drainés du Sud au Nord par le réseau hydrographique. Ces principaux bassins sont:

- Bassin occidental (O,Nador)
- Bassin du Mazafran
- Bassin d'ElHarrach
- Bassin oriental (O.Hamiz et O.Réghaia).

La plaine se situe à une altitude peu élevée, assez faible dénivelé fait que les lignes de partage des eaux entre les compartiments sont souvent confuses : depuis Boufarik, à une hauteur de 50m, à Blida à environ 270m et sur une distance 13km, on à une pente très faible inférieure à 2%(Omar MIMOUNI, 2010). Les limites géomorphologiques de la plaine sont :

- le Sahel
- le piémont de l'Atlas
- l'Atlas Blidéen



Source : ANRH

Figure I.1: la plaine de la Mitidja et ses bassins versants

### 1.1. le Sahel

C'est un bombement ou une ride de forme anticlinale à faible pente, orienté WSW-ENE d'altitude variant entre 200 et 250m constituant une limite continue entre la plaine et la mer. Il s'étend d'El Harrach à l'Est jusqu'à l'Oued Nador à l'Ouest. Au niveau de l'Oued Mazafran, cette ride est creusée par ce cours d'eau jusqu'au rivage marin (Omar MIMOUNI, 2010).

### 1.2. Le piémont de l'Atlas

C'est une unité structurale, d'altitude variant entre 100 et 150m, jouent le rôle de couverture en cachant le contact structural entre la plaine et l'Atlas. C'est une zone de déjection à écoulement encaissés qui résulte de l'érosion du massif blidéen (Omar MIMOUNI, 2010).

### 1.3. l'Atlas Blidéen

C'est un massif montagneux qui s'élève rapidement à partir de la bordure de la plaine de la Mitidja et qui peut atteindre des altitudes allant de 1200 à 1600 m, le point culminant étant Koudiet Sidi Abdelkader (1629m). Il a une orientation NW-SE. La morphologie de cette chaîne

de montagnes est caractérisée par des successions de crêtes rabotées par une érosion intense favorisée par une faible couverture végétale et de fortes pentes (Omar MIMOUNI, 2010).

## 2. Contexte hydroclimatique :

La plaine de la Mitidja se situe au Nord de l'Atlas Blidéen (1620m au pic de Chérea), qui la protège de l'influence saharienne, elle se trouve par sa position géographique soumise à l'influence du régime climatique méditerranéen (M.BAIAIDI, ANRH-Blida, 2011).

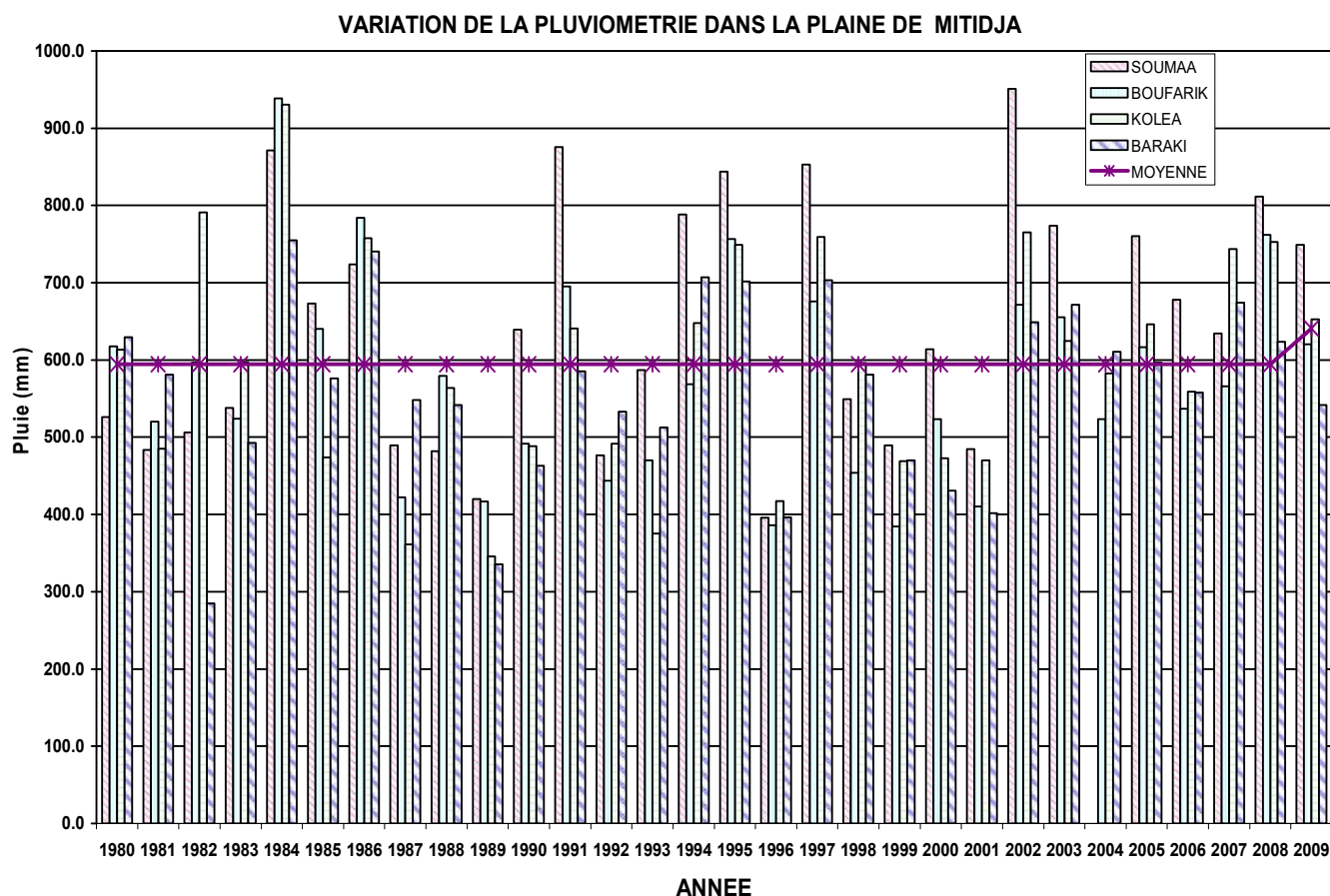
La comparaison des données climatiques de deux longues périodes, 1910-1938 et 1948-1962 montre que la Mitidja n'a pas subi de changements climatiques remarquables pour la période 1913-1962 (Ait OUALI AEK, 2007).

La température moyenne annuelle 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. L'humidité relative décroît très largement de la cote à l'intérieur, elle est plus élevée en hiver qu'en été (Ait OUALI AEK, 2007).

Les valeurs des précipitations de la région varient de 284mm à 951mm, concentrées sur une période pluvieuse d'Octobre à Février. Les précipitations moyennes interannuelles dans la plaine de la Mitidja sont irrégulièrement réparties. En quatre ans il n'y a neigé que 20 fois à Alger et il est rare de voir des flocons atteindre le sol. On cite comme exception l'année 1954 où la couche de neige atteint les 10 à 20cm et aussi l'année 2005 par contre cette nivosté quasiment nulle sur la plaine, devient appréciable sur l'Atlas Blidéen (M.BAIAIDI, ANRH-Blida, 2011).

Les gelées sont assez fréquentes dans la Mitidja où les écarts de la température sont plus. En effet la période de gel s'étend d'Octobre à début Mai en altitude et à Novembre en aval (Ait OUALI AEK, 2007) .

L'évolution interannuelle des pluies calculées sur 29 années d'observations, entre 1980 jusqu'à 2008, a mis en évidence une phase de stabilité des précipitations qui avoisine les 524.6mm avec une tendance à la hausse durant l'année 2009 avec une moyenne de l'ordre de 641.1mm (voir graphe ci-dessous) (M.BAIAIDI, ANRH-Blida, 2011).



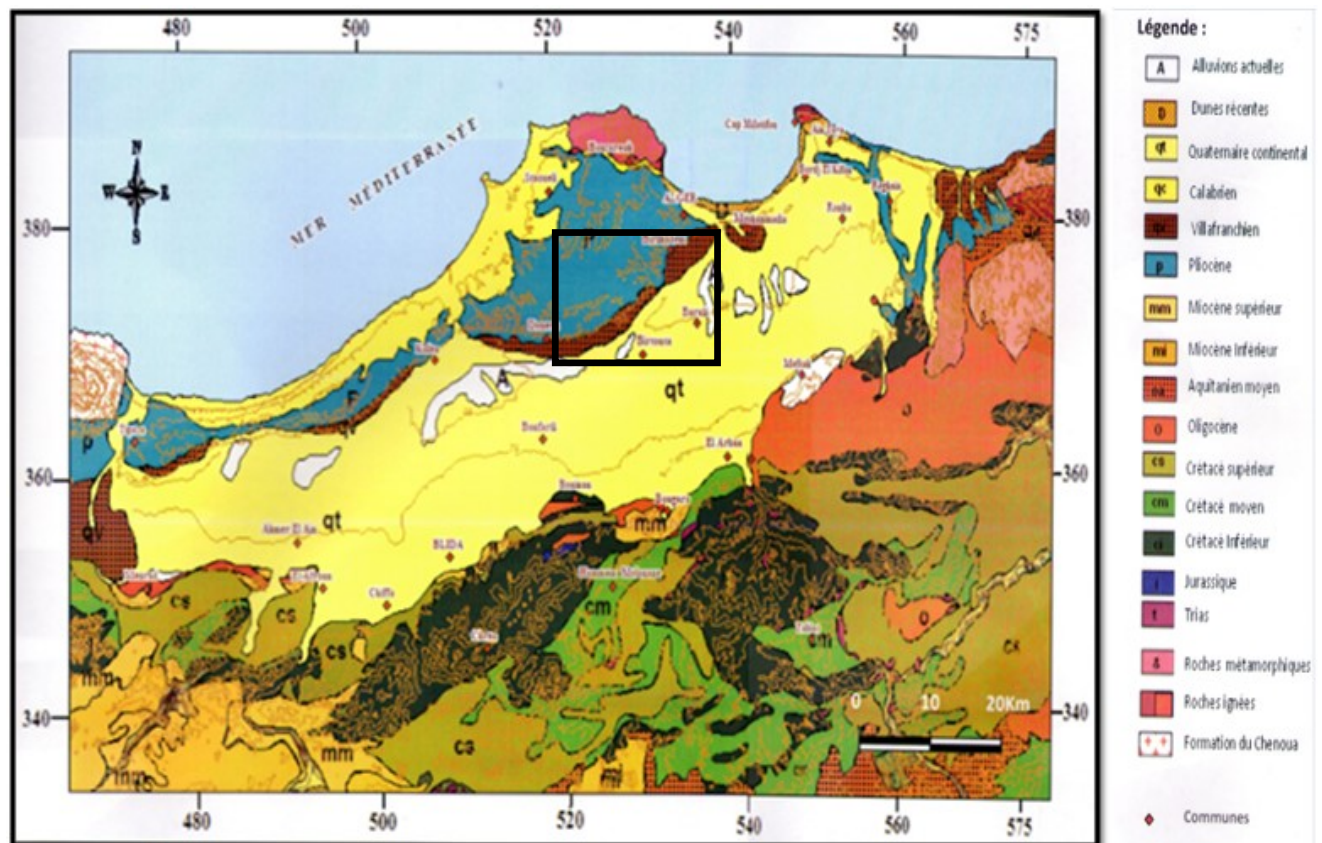
**Figure I.2 :** Pluviométrie moyenne interannuelle (Période 1980 - 2009)(in ANRH,2010).

### **3. GEOLOGIE :**

La géologie de la Mitidja a fait l'objet de plusieurs études fondées sur les travaux majeurs de Glangeaud et Aymé(1952), qui avaient établi que la Mitidja était un bassin intramontagneux formé par effondrement rempli de dépôts d'âge plio-quaternaire (Ait OUALI AEK, 2007).

D'après Glangeaud (1935) et Aymé (1952), la plaine de la Mitidja est une zone d'effondrement entre deux massifs de terrain secondaires avec émission de roches éruptives bordant le pourtour de la Mitidja. Ces dépôts seraient d'âge plio-quaternaire (Omar MIMOUNI, 2010).

La synthèse des différents travaux, appuyés par de nombreux sondages hydraulique montre deux grands ensembles stratigraphiques d'âge quaternaire et pliocène (Omar MIMOUNI, 2010).



**Figure I.3 :** carte géologique de la région d'Alger, Echelle originale : 1/500 000 (in Mimouni, 2010)

### 3.1. Le quaternaire

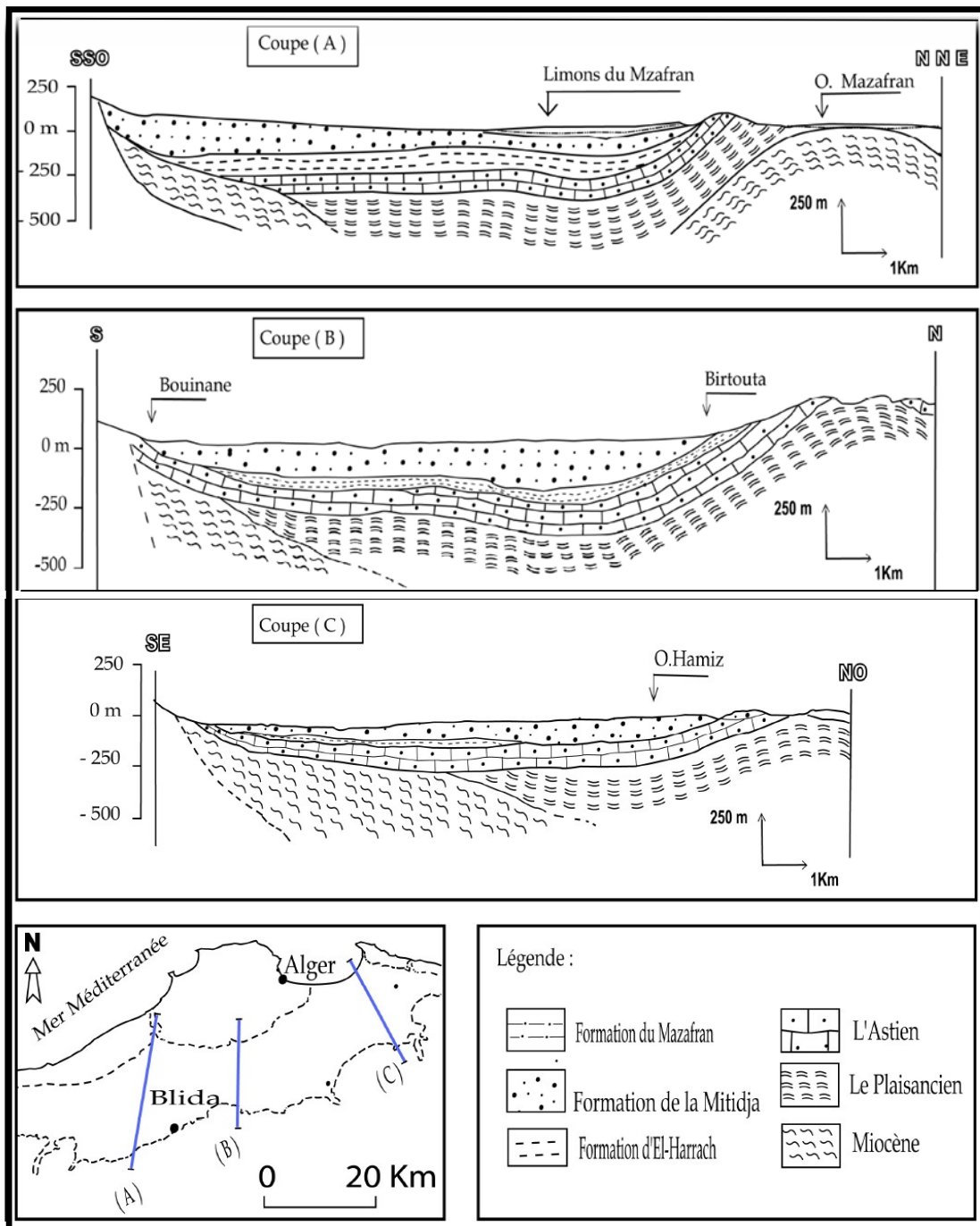
Il est constitué par formations suivants :

- a. la formation d'El-Harrach (Villafranchien)
- b. la formation de la Mitidja
- c. les formations Mazafran et Halloula (Rharbien)
- d. les dépôts récents

#### a. La formation d'El-Harrach

C'est une formation (dénommée par L.Glangeaud « argiles de maison carrée ») constituée par des argiles plastiques jaunâtres dont la base est grise.

Il existe de minces niveaux lenticulaires de graviers de sables et de lits tourbeux de deux à six mètres d'épaisseur. En raison de la présence du gravier, cette formation a été confondue avec les formations alluviales sus-jacentes qui sont essentiellement caillouteuses (Ait OUALI AEK, 2007). Elle affleure dans la région d'El-Harrach, le long du versant Sud du sahel et à l'Ouest de Hadjout. Sa présence au dessous de la formation de la Mitidja a été mise en évidence par L.Glangeaud (1932) et confirmée peu après par l'étude des forages (Omar Mimouni, 2010).



**Figure I.4 :** Coupes géologiques au niveau de la Mitidja (Ait OUALI AEK, 2007).

Les épaisseurs des passées graveleuses qui se trouvent dans cette formation sont de l'ordre de 4 à 8m. Les forages situés dans les régions de Rouïba et Réghaia ne montrent pas l'existence de cette formation, mais un passage direct de la formation de la Mitidja au pliocène supérieur (Figure 4/coupes C) (Omar Mimouni, 2010).

L'étude par sondages électrique réalisée par géohydraulique (1972) et Binnie & Partners (1981) montre que cette formation atteint son épaisseur maximale (200m) dans la partie Ouest du bassin. Son épaisseur moyenne au centre du bassin est d'environ 100m (Omar Mimouni, 2010).

### **b. La formation de la Mitidja**

La formation de la Mitidja se compose principalement de matériaux alluvionnaires : sables, argiles sableuses, argiles graveleuses, graviers, galets, graviers et galets gréseux souvent argileux ou limoneux. 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

L'analyse granulométrique que de la majorité des forages existes dans la plaine montre que les dépôts de la formation de la Mitidja tendent à devenir de plus en plus grossiers au fur et à mesure que la profondeur augmente (Omar Mimouni, 2010).

Cette formation présente sur toute l'étendue de la plaine à l'exception de la partie occidentale (figure.4) où ces alluvions sont recouvertes par les marnes et argiles de la basse plaine du Mazafran et de Halloula. L'épaisseur de la formation de la Mitidja est variable d'un endroit à l'autre. Il est plus faible aux bordures Nord et Sud, qu'au centre de la plaine ce qui est tout à fait normal pour un bassin de comblement (Ait OUALI AEK, 2007).

### **c. Les dépôts récents :**

Ils comprennent des dépôts de lits d'Oued, de sables dunaires et de l'Atlas

- Les dépôts de lits d'Oued sont des alluvions déposées principalement au cours des crues des Oued qui sillonnent la Mitidja. Elles sont constituées de cailloutis, de graviers, de sables graveleux et limoneux. L'épaisseur de ces peu importante, inférieure à 10 m.
- Les dépôts de sables dunaires, épais de 20 à 40 mètres sont composés d sables fins à moyens et des couches fossilifères consolidées.ils occupent une partie de la baie d'Alger et la région de Réghaïa.
- Les dépôts de piémonts de l'Atlas constituent le premier contact avec la plaine. Ils sont constitués d'éléments grossiers hétérométriques liée par une matrice limono-argileuse. Leurs épaisseurs varient de quelques mètres à quelques dizaines de mètres (Omar Mimouni, 2010).

## **3.2. le pliocène :**

Il est formé par des dépôts astiens et plaisanciens bien distincts. Il est bien développé à l'Est de Koléa, à la limite du « sahel Mitidja » et apparait 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). 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. 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 aux calcaires sableux
- les grès
- les argiles calcaires jaunes
- les calcaires à faciès récifal.

L'astien dont l'épaisseur moyenne varie entre 100 à 130m 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 la Rouïba il se trouve à de faibles profondeurs car l'érosion a été très importante. Les affleurements de l'astien se rencontrent sur le côté Sud du sahel et dans les faubourgs Sud d'Alger (Ait Ouali AEK, 2007).

#### **b. Le plaisancien :**

Les affleurements du plaisancien ne sont visibles que sur le sahel en dessous de l'astien et dans la région de Khemis-El-Khechna où ils viennent reposer en discordance sur les formations miocènes.

Glangeaud (1952) rapporte dans sa description qu'il s'agit d'une formation constituée de niveaux fossilifères glauconieux et de marnes jaunes et grises parfois sableuses largement recouvertes par les formations astiennes et quaternaires.

Parmi les forages profonds réalisés dans la plaine de la Mitidja, un seul a pu traverser la totalité de l'épaisseur (184m) de cette formation. Il s'agit du forage situé à proximité de Sidi-Rached dans le secteur Ouest du bassin (X=485.850, Y=361.575).

Dans la cluse du Mazafran, l'épaisseur de la formation plaisancienne est beaucoup plus importante. Cette formation marneuse peut atteindre des épaisseurs considérables jusqu'à 200m en moyenne dans le bassin de la Mitidja et dans la coupe du Mazafran (Omar Mimouni, 2010)

#### **4. Hydrogéologie :**

La plaine de MITIDJA est un bassin alluvial comprenant deux principaux aquifères :

- L'aquifère astien :
- L'aquifère de la vape alluviale (ou 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 sables et de graviers. Cet ensemble correspond à la formation dite : « formation d'EL

HARRACH » ;

- ✓ Un ensemble gravelo-sableux dit : « alluvions de la MITIDJA ».

On distingue deux aquifères principaux contenus dans les calcaires et grès de l'Astien et dans les sable et graviers des alluvions de la MITIDJA.

#### **4.1. Substratum :**

Il est constitué par les bleues du plais ancien qu'on peut observer à l'affleurement sur les collines sahel notamment à EL ACHOUR, DELY BRAHIM, BABA HACEN, dans la plaine, les marnes bleues sont recouvertes par l'astien et les alluvions du quaternaire.

#### **4.2. L'aquifère Astien :**

Il affleure sur les collines et le long du flanc sud de l'anticlinal du sahel et s'enfouit dans la plaine sous les « alluvions des la Mitidja » pour réapparaître en de nombreux endroits le long du piémont de l'Atlas.

Il s'étend sous la majeure partie du bassin alluvial ainsi que dans d'autres endroits peu nombreux le long de la base des monts de l'Atlas, à l'est dans la région de MEFTAHA.

Le toit de cet aquifère se situe généralement entre 250 et 300 m au dessous de la majeure partie de la plaine dans sa partie médiane il est délimité par deux formations bien distinctes :

- ✓ Les m'arnes bleues du plais anciens,
- ✓ Les argiles jaunes du villafranchien (formation d'EL HARRACH)

À l'extrémité orientale de la plaine, dans la région de Rouïba, cet aquifère est en contact direct avec les alluvions de la Mitidja, par suite de la disparition des argiles villafranchiennes (Omar MIMOUNI, 2010).

##### **a) L'alimentation de l'aquifère :**

L'alimentation de ce dernier se fait principalement par l'infiltration des pluies sur le sahel et le piémont de l'Atlas où il affleure.

Il est également alimenté par les nappes alluviales sus-jacentes par drainance à travers la formation d'EL HARRACH (présence de passés de sable et de graviers) (Ait Ouali AEK, 2007).

##### **b) Les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère :**

L'aquifère se trouve en charge sous les argiles jaunes semi-perméables d'EL HARRACH, sauf dans la partie Est où il est en contact direct avec l'aquifère de la Mitidja.

Les caractéristiques hydrodynamique de l'Astien sont mal connues ; cela est du au manque de données.

D'après les études précédentes, les estimations de la transmissivité variaient de  $1.10^{-3}$  à  $2,2 .10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  (Ait Ouali AEk, 2007).

Le coefficient d'emmagasinement estimé à partir des essais de pompage, de courtes durées est de l'ordre de  $5.10^{-6}$  à  $5.10^{-3}$  (Omar MIMOUNI, 2010).

#### 4.3. L'aquifère de la Mitidja :

Deux petites unités géologiques ont été regroupées avec la formation de la Mitidja. Il s'agit des sables dunaires longent la baie d'Alger et des alluvions récentes des lits d'oueds. Ces deux unités sont composées de matériaux ayant en apparence une continuité avec la formation de la Mitidja(Omar MIMOUNI, 2010).

L'aquifère est très hétérogènes, et est constitué essentiellement de graviers et de galets alternant avec des limons et des argiles en quantités variables et comportant parfois des lentilles argileuses.

L'aquifère à pour limite supérieure la surface du sol et inférieure la formation d'EL HARRACH. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 à 130m.

Dans la partie orientale de la plaine, Hamiz et Rouiba , l'aquifère se trouve en contact direct avec l'Astien. L'absence du substratum dans cette partie de la plaine est due à l'activité érosive qui a eu lieu du pléistocène.

Dans la partie occidentale : Bas-Mazafran et Lac Halloula, l'aquifère se continue au dessous de la formation argilo-limoneuse. Cette formation, de très faible perméabilité, rend l'aquifère captif dans cette partie de la plaine(Omar MIMOUNI, 2010).

##### a) Alimentation de l'aquifère :

L'aquifère alluvial est alimenté essentiellement par :

- ✓ L'infiltration des précipitations.
- ✓ L'infiltration à travers des cours d'eau.
- ✓ Les écoulements souterrains de l'Astien vers la nappe alluviale à travers la formation d'EL HARRACH le long du sahel.

##### b) Les exutoires de l'aquifère :

Ces derniers sont plus importants comparativement à l'aquifère astien ils sont assurés par :

- ✓ Le drainage des oueds dans leur cours aval.
- ✓ Les fuites souterraines vers la mer (partie Est de la plaine).

La quasi-totalité des prélèvements en eau souterraine provient de l'aquifère de la Mitidja où plus de 4000 puits et forages assurent l'alimentation en eau potable, industrielle et l'irrigation de toute la région (Ait Ouali AEk, 2007).

## 1. Description du transfert dans un milieu poreux :

Ce chapitre est basé sur une recherche bibliographique sur la description de la zone non saturée et les lois de l'hydrodynamique qui décrivent le transfert hydrique d'abord et des solutés après.

### 1.1. Le sol, un milieu poreux :

#### 1.1.1. Représentation physique d'un sol :

Le sol est la partie de la terre se trouvant entre sa surface et sa base, il se situe dans la biosphère à l'interface de la lithosphère et de l'atmosphère (Yves Coniean, 1995).

Les sol peuvent être définis de manière générale comme le produit, remanié et organisé de l'altération de la couche superficielle de la croûte terrestre, essentiellement sous l'action d'agents climatiques et biologiques, ils apparaissent comme un milieu complexe, biologiquement actif et siège de nombreux phénomènes transitoires (Andre MUSY, Marc SOUTTER, 1991).

Le sol est un milieu poreux, cohésif ou non 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 proportions variables. Les mouvements des fluides dans les interstices laissés vides appelés pores.
- **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 forme de bulles occluses piégées dans la matrice poreuse.
- **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 variables. 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 solides par des forces d'adsorption moléculaire, et piégée dans des pores isolés de l'écoulement. (Raoul CALVER, 2003 ; Stéphanie SZENKNECT, 2003).

Le sol est en effet, soumis à des mouvements d'eau entre sa surface et le niveau de la nappe phréatique. On distingue en général :

- **La zone saturée :** lorsque la totalité de l'espace poreux est occupé par l'eau et peut être une autre phase liquide.
- **La zone non saturée :** ou partiellement saturée, là où seulement une partie de l'espace poreux est occupé par l'eau, le reste étant occupé par une phase gazeuse et peut être une

autre phase liquide. Dans la zone partiellement saturée, la teneur en eau joue un rôle très important non seulement pour les écoulements ultérieurs d'eau mais surtout pour le transport d'éventuels contaminants, la transformation ou le stockage provisoire de substances dissoutes. La zone non saturée est parfois divisée en trois sous-zone : (1) le sol ou zone enracinée près de la surface ;(2) la zone vadose ou intermédiaire ; (3) la frange capillaire (Alain DASSARGUES, 1997).

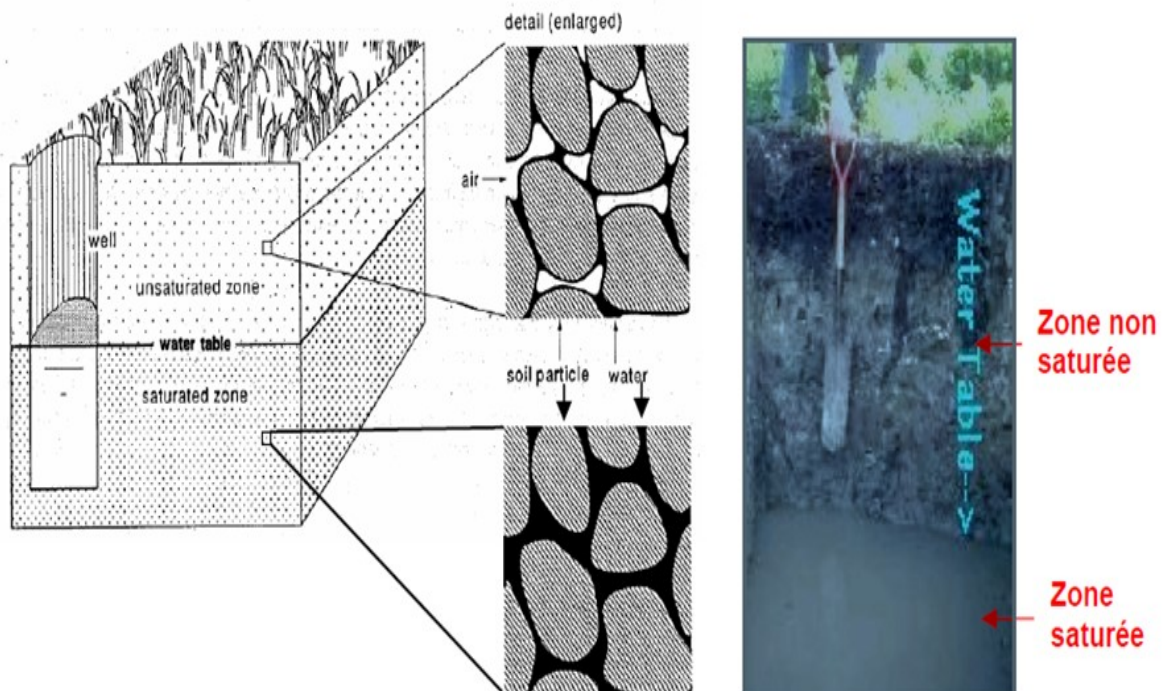


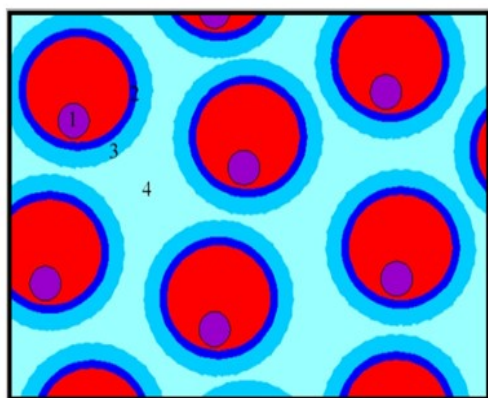
Figure II.1 : Représentation physique d'un milieu poreux

## 1.2. Les caractéristiques hydrauliques des sols :

### 1.2.1. Les formes d'eau dans le sol

Dans la majorité des sols, l'eau est contenue essentiellement dans la porosité en fonction de sa taille, on distingue quatre grands types d'eau :

- ✓ L'eau libre,
- ✓ l'eau capillaire,
- ✓ l'eau hygroscopique
- ✓ l'eau d'hydratation



1. L'eau d'hydratation (eau de constitution)
2. L'eau hygroscopique (fortement adsorbée)
3. Réserve hydrique (eau de rétention capillaire)
4. Réserve hydrologique (eau gravitaire)

**Figure II.2** : les formes de l'eau dans le sol

**a) l'eau libre (eau gravitaire) :**

Il s'agit de l'eau du sol, sur laquelle l'action de la gravité est prépondérante et qui est mobilisable par gravité dans la macroporosité du sol, et des fissures larges de quelque centimètres ou plus petites. Cette eau va donc s'infiltrer et percoler jusqu'à ce qu'elle rencontre un niveau de roches plus imperméables. Là, l'eau va s'accumuler en saturant le niveau de la roche sus-jacente en constituant un aquifère. Cette fraction de l'eau est appelée réserve hydrologique du sol [1].

**b) l'eau capillaire :**

Cette eau constitue des films continus autour des particules de sol et dans les interstices entre les particules au-dessus de la ligne phréatique. Cette eau peut être évaporée. Mais les forces exercées par la pesanteur sont très faibles pour la percoler. Pour que cette eau soit mobilisable par évaporation ou par les plantes, il faut que la continuité des films capillaires soit conservée. Cette fraction capillaire, on l'appelle aussi réserve hydrique du sol.

L'eau capillaire monte d'autant plus haut que les forces sont petites. La vitesse d'ascension est lente : environ 50 jours pour 12cm dans les sables. A la base d'une zone non saturée, on distingue deux zones :

- zone inférieure saturée en eau capillaire, sauf quelques gros pores, surtout vers le haut (zone de saturation capillaire)
- zone supérieure où seuls les pores fins contiennent de l'eau capillaire (soit la zone de l'eau capillaire discontinue) [2].

**c) 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)

**d) l'eau d'hydratation :**

L'eau d'hydratation est celle qui est retenue par des tensions superficielles, elle est incluse à l'intérieur des minéraux. Cette fraction est totalement indisponible, au moins jusqu'à ce que la roche soit altérée.

Cette eau ne peut pas être déplacée par des processus physiques (gravité, pression atmosphérique, évaporation à l'air libre, pression osmotique.....). Elles n'interviennent pas du tout dans les bilans et les transferts d'eau que l'on envisage. (Pierre Pech)

**1.2.2. Notion de potentiel de l'eau du sol :**

**a) L'état énergétique du sol :**

Il est indispensable de connaître la distribution d'énergie de l'eau du sol pour prédire son comportement.

L'énergie potentielle de l'eau contenue dans le sol est définie par le travail nécessaire pour porter un volume infinitésimal d'eau d'un état de référence à son état dans la matrice poreuse.

La densité volumique d'énergie potentielle de l'eau du sol est appelée potentiel de l'eau du sol  $\Psi$  (en  $J.m^{-3}$ ). Ce dernier se décompose en trois potentiels distincts (Stéphanie SZENKNECT, 2003) :

- ✓  $\Psi_g$ , le potentiel gravitaire ou potentiel de position, 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

$$\Psi_g = -\rho g(z - z_0) \tag{I.1}$$

- ✓  $\Psi_c$ , Le potentiel matriciel ou potentiel de pression (potentiel capillaire exprimant) 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 pression capillaire pour extraire du sol 1g d'eau et le porter à l'état d'un gramme d'eau pure (M.HALLAIRE)

Le potentiel de pression est exprimé par  $h$ , qui représente la charge hydraulique relative de l'eau du sol :

$$h = \frac{P_e - P_{atm}}{\rho_e \cdot g} \tag{I.2}$$

où  $g$  est l'accélération de la pesanteur,  $p_e$  la pression de l'eau du sol,  $p_{atm}$  la pression atmosphérique.

La valeur de  $h$  dépend de la teneur en eau. (V.GUJISAITE, 2008)

- ✓  $\Psi_o$ , Le potentiel osmotique est lié 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 général, sauf dans les sols salés.

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 potentiel 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.

Corrélativement chaque variation de potentiel entre deux points entraîne un écoulement de la zone de fort potentiel vers celle de potentiel plus faible. Par référence l'eau pure (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 connaître le sens de l'écoulement de l'eau dans le sol. (Ndjaga SOW, 2005)

Un sol mis en présence d'eau pure exerce sur elle une attraction nommée succion. Pour lutter contre cette absorption 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)

### 1.2.3. La courbe caractéristique de la conductivité hydraulique

$K(\theta)$  est la courbe caractéristique de conductivité hydraulique en fonction de la teneur en eau volumique. Un certain nombre de modèles basés sur une représentation physique de la structure du réseau des pores permettent de décrire la courbe caractéristique et d'extrapoler les valeurs de conductivité hydraulique obtenues à partir de quelques mesures directes. Le réseau poral est généralement assimilé à un ensemble de tubes capillaires interconnectés ou non. La distribution des rayons des tubes est reliée à la courbe caractéristique de rétention d'eau. (Stéphanie SZENKNECT, 2003)

La conductivité hydraulique est une fonction des propriétés du fluide et du milieu, et de la teneur volumique en eau :

$$k(\theta) = \left( \frac{k_{\phi_{sw}}}{\mu} \right) k_r(\theta) \quad (1.3)$$

où  $k$  est la perméabilité intrinsèque du milieu [L<sup>2</sup>], elle est fonction de la structure et de la géométrie du réseau poral ;  $\mu$  est la viscosité dynamique de l'eau [MT-1L-1] et  $k_r(\theta)$  est la perméabilité relative, sans dimension, qui varie entre 0 et 1. Cette expression représente la conductivité hydraulique à saturation pour des conditions isotropes. La perméabilité relative,  $k_r(\theta)$ , prend en compte la dépendance de la conductivité hydraulique sur la teneur volumique en eau ou sur la pression d'eau.



### 1.3. L'écoulement de l'eau dans le milieu poreux non saturé :

#### 1.3.1. Ecoulement dans la zone saturée

L'équation de base dans la description des écoulements en zone saturée dans les modèles distribués est la loi de Darcy. Cette loi suppose 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.

L'équation de Darcy peut être écrite dans le cas d'un milieu isotrope :

$$\vec{U} = -K_{sat}(\theta) \vec{\nabla} H \quad (\text{II.4})$$

Avec  $\vec{U}$  la vitesse de Darcy (volume d'eau par unité de section d'écoulement par unité de temps [ $L.T^{-1}$ ]),  $H$  la charge hydraulique totale [ $L$ ] et  $K_{sat}$  la conductivité hydraulique du milieu [ $L.T^{-1}$ ]. On définit la charge hydraulique  $H$  d'un fluide incompressible et soumis à la gravité par :

$$H = \frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \quad (\text{II.5})$$

Où  $u$  est la vitesse réelle du fluide au point considéré [ $L.T^{-1}$ ],  $g$  l'accélération de la pesanteur [ $L.T^{-2}$ ],  $p$  la pression [ $M.L^{-1}.T^{-2}$ ],  $\rho$  la masse volumique de l'eau [ $M.L^{-3}$ ] et  $z$  la cote du point [ $L$ ]. En milieu poreux, les vitesses réelles sont toujours très faibles et on peut négliger le terme de charge dynamique  $\frac{u^2}{2g}$ . La charge hydraulique se réduit alors à la charge statique et peut s'écrire :

$$H = h + z \quad (\text{II.6})$$

Avec  $h = p/\rho g$  (la pression exprimée en mètres).

Cette équation a été établie vers 1850 par Henry Darcy. Suite aux progrès réalisés en mécanique des fluides, certains auteurs ont montré que cette loi pouvait être retrouvée à partir des équations de Navier-Stokes en supposant que le régime d'écoulement reste laminaire et que les pores ont une géométrie particulière. Cette loi est une bonne approximation des écoulements dans les matrices poreuses à peu près homogènes. Elle n'est pas valide dans le cas de systèmes hétérogènes ou présentant une macroporosité. Depuis quelques années, l'emploi de cette loi dans des modèles distribués avec de grosses tailles de maille est remis en question. Il semble que dans ce cas la loi de Darcy soit trop grossière et que les valeurs de conductivité hydraulique dans ces modèles soient très différentes des valeurs estimées à partir des mesures de terrain.

La deuxième équation de base est l'équation de conservation de la masse :

$$\frac{\partial(\rho\theta)}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot (\rho\vec{v}) + q \quad (\text{II.6})$$

Où  $t$  est le temps [T],  $\rho$  la masse volumique de l'eau [M.L<sup>-3</sup>],  $\theta$  la teneur en eau volumique,  $\vec{v}$  est le vecteur vitesse [L.T<sup>-1</sup>] et  $q$  le terme source [T<sup>-1</sup>].

L'équation globale décrivant les écoulements dans la zone saturée résulte de la combinaison de la loi de Darcy avec l'équation de conservation de la masse. En introduisant l'EqII.4 dans l'équation de conservation EqII.6, on obtient :

$$\frac{\partial(\rho\theta)}{\partial t} = \vec{\nabla} \cdot (\rho k_{sat} \vec{\nabla}(h)) + q \quad (\text{II.7})$$

En supposant le fluide incompressible, on peut simplifier cette équation et la mettre sous la forme :

$$S \frac{\partial H}{\partial t} - \vec{\nabla} \cdot (k_{sat} \vec{\nabla} \cdot (h + z)) = q \quad (\text{II.8})$$

Où  $S$  est le coefficient d'emmagasinement du milieu [L<sup>-1</sup>] et  $q$  représente les termes sources/puits.

### 1.3.2. Écoulement en zone non saturée :

Richards a généralisé l'équation de Darcy au début des années 1930 pour décrire le comportement des milieux non saturés. Les expériences à petite échelle ayant montré que le comportement des sols était très non-linéaire en fonction de l'humidité, Richards supposa que cette même relation pouvait s'appliquer mais avec une conductivité hydraulique non-linéaire dépendant de l'humidité ou de la pression capillaire.

L'équation de Richards, aussi appelée équation de Darcy généralisée, s'écrit donc pour un milieu isotrope :

$$\vec{q} = -k(h)\vec{\nabla}(h) \quad (\text{II.9})$$

Où  $\vec{q}$  est la vitesse d'écoulement dans le milieu [L.T<sup>-1</sup>],  $K(h)$  la conductivité hydraulique du milieu dépendant de la pression d'eau  $h$  dans le sol. On définit cette pression à partir de la pression capillaire  $p_c$  [L] dans le milieu. Par définition, on a :

$$p_e = p_{nw} - p_w \quad (\text{II.10})$$

avec  $p_{nw}$  la pression du fluide dit non mouillant [L] (dans notre cas l'air) et  $p_w$  la pression du fluide dit mouillant [L] (dans notre cas l'eau). La pression d'eau  $h$  dans le milieu est définie par :

$$h = -p_e \quad (\text{II.11})$$

On suppose dans la suite du manuscrit que l'écoulement d'air est infiniment rapide et on choisit la pression atmosphérique comme pression de référence. Par conséquent, la pression d'eau  $h$  est positive dans la zone saturée et négative dans la zone non saturé

Dans le cas des écoulements en milieu non saturé, l'équation de mouvement résulte de la combinaison de l'équation de Richards (EII.9) et de l'équation de la conservation de la masse (EqII.6). On obtient alors en supposant le milieu et le fluide incompressibles :

$$C(h) \frac{\partial H}{\partial t} - \vec{\nabla} \cdot (k(h) \vec{\nabla} \cdot (h + z)) = q \quad (\text{II.12})$$

Où  $C(h) = \frac{\partial \theta}{\partial h}$  [ $L^{-1}$ ] est la capacité capillaire caractérisant la variation de teneur en eau  $\theta$  avec la pression capillaire  $h$  et  $q$  le terme source/puits.

## 2. Mécanismes du transport des polluants dans la zone non saturée

### 2.1. Le devenir des polluants dans le sol

Le transport des solutés dans le sol concerne des substances dissoutes organiques et inorganiques ionisées et non ionisées. Il s'agit d'un phénomène très général et se déroulant partout dans le sol et à tous moments et qui est impliqués dans plusieurs processus

- La pédogenèse puisque la formation et l'évolution des sols est le résultat d'apports ou de pertes de solutés
- La dégradation des sols pour les même raisons
- Le devenir des substances fertilisantes et leur absorption par les plantes et les autres organismes vivants
- Le devenir des substances à caractère polluant, leur persistance et leur transfert dans les eaux souterraines et superficielles (Raoul Calvet, 2003).

Le transfert des polluants dans les sols se fait en interaction avec le milieu ambiant. Cette interaction entraîne généralement un retard dans la migration ou un appauvrissement en substances polluantes (atténuation naturelle). L'atténuation naturelle est ainsi le résultat de la combinaison de plusieurs phénomènes physiques, chimiques et biologiques dans un sol, qui peuvent modifier le comportement du ou des contaminant (s) 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).

#### 2.1.1. La convection :

La convection est un des mécanismes prépondérants à l'origine des flux de matières dans les milieux poreux [3]. Elle représente l'entraînement des éléments en solution dans le mouvement du fluide qui se déplace (Thais Paris ANGUELA, 2004). Le soluté est transporté par le mouvement général de l'eau, à la vitesse définie par la loi de Darcy.

$$U = \frac{q}{\eta_e} \quad \text{ou } q = -k * i \text{ (flux de Darcy)}$$

et  $\eta_e$  = porosité efficace du milieu ; Et avec  $k$  : perméabilité de l'aquifère, et  $i$  : gradient hydraulique de la nappe.

Le principe de conservation de la masse permet d'écrire :

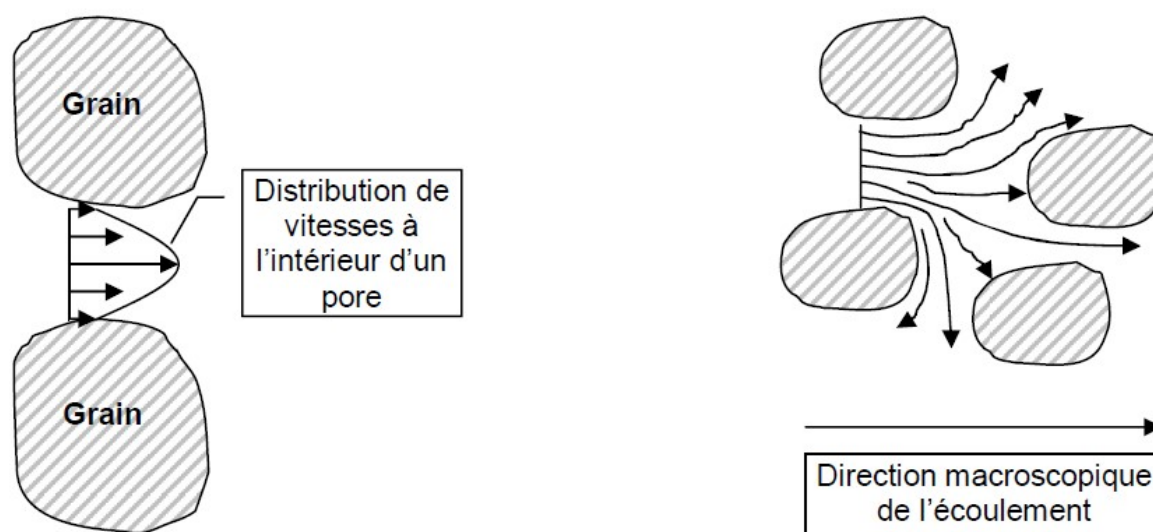
$$-\vec{\nabla} \cdot (C_i \vec{U}) = \frac{\partial C_i}{\partial t} \quad (\text{II.13})$$

Où  $C$  : est la concentration en soluté  $i$  présente dans le fluide qui circule  $[ML^{-3}]$ ,  $U$  la vitesse de Darcy  $[LT^{-1}]$ ,  $\theta$  : la teneur en eau volumique du sol  $[L^3L^{-3}]$ . (ABDELHAK GHOULI, 2009).

### 2.1.2. La dispersion hydrodynamique :

Le phénomène de dispersion hydrodynamique résulte de 2 mécanismes, d'une part la diffusion moléculaire au sein du milieu poreux et d'autre part la dispersion mécanique.

La dispersion mécanique provient des variations de longueur des lignes de courant qui traversent le milieu poreux (dispersion cinématique) et des variations de vitesse d'écoulement d'une ligne de courant à une autre (dispersion dynamique) (Figure II.3).



**Figure II.3 :** Les principales causes de la dispersion mécanique dans un milieu poreux

Entre 1950 et 1970, de nombreux auteurs se sont efforcés de décrire le phénomène de dispersion hydrodynamique qui apparaît à l'échelle macroscopique. Le flux massique de soluté transporté uniquement par dispersion est calculé à partir de la relation suivante faisant intervenir un coefficient de dispersion noté  $D$  ( $m^2 \cdot s^{-1}$ )

$$J_D = -D\theta \frac{\partial C_{aq}}{\partial z} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (\text{II.14})$$

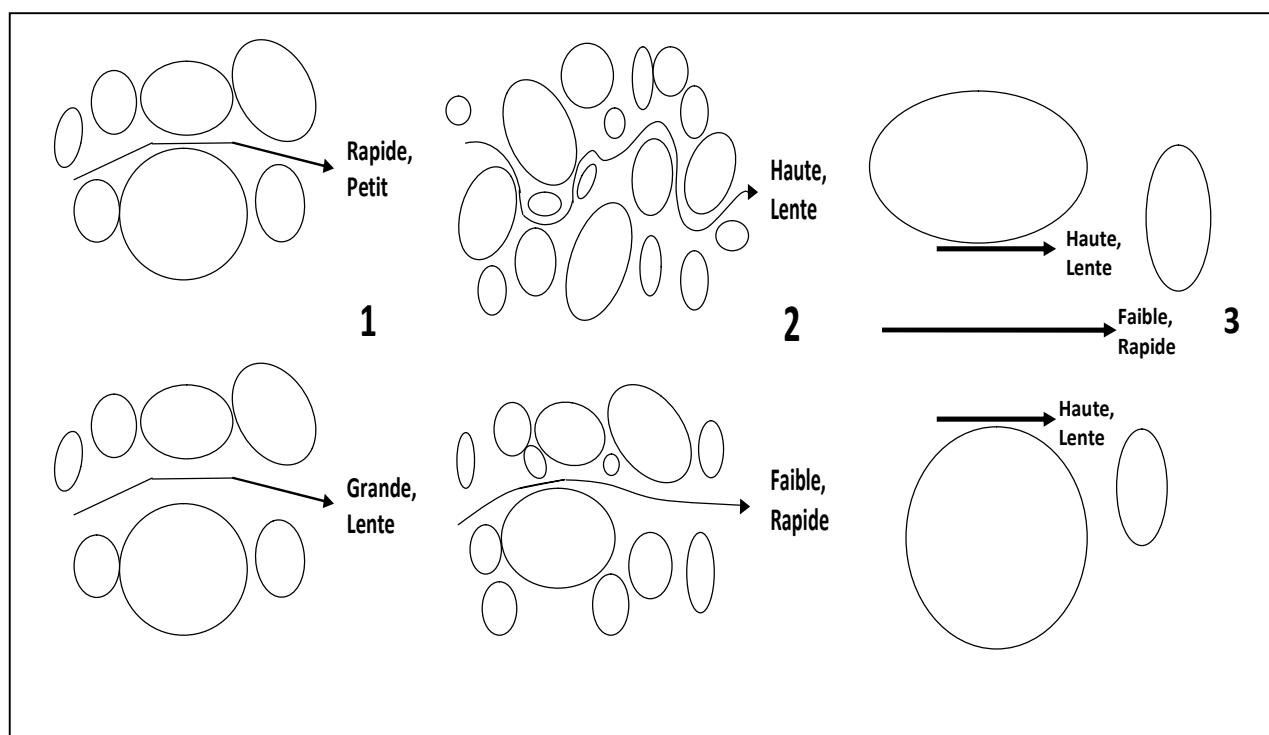
Le coefficient de dispersion hydrodynamique,  $D$  est défini comme la somme du coefficient de dispersion mécanique  $D_m$ , et du coefficient de diffusion de pore  $D_p$ . (Stéphanie SZENKUECT, 2003)

$$D = D_p + D_m \quad (\text{II.15})$$

#### a) La dispersion microscopique :

La dispersion microscopique s'effectue à l'échelle d'un pore du terrain saturé en eau. A cette échelle, la combinaison des facteurs mécaniques et hydrodynamiques affecte grandement le

potentiel de dispersion. A l'intérieur d'un pore et en régime d'écoulement laminaire, les vitesses des particules d'eau ne sont en effet pas uniformément réparties (Figure II.4).



**Figure II.4 : Mécanismes de dispersion mécanique**

La dispersion mécanique est principalement induite par les caractéristiques du milieu poreux. La dispersion mécanique implique le mélange d'un soluté par le mouvement des particules d'eau à travers les interconnexions plus ou moins complexes entre les pores, et aussi en fonction de la forme et la taille de ces derniers (Thierry Blondel, 2001) .

Les caractéristiques intrinsèques du milieu poreux, et donc de ses pores, vont directement influencer le potentiel de transfert d'un soluté (Figure II.4) (Thierry Blondel, 2001).

- Le premier de ces paramètres est la taille des pores et relève des principes même de la mécanique des fluides : la vitesse d'écoulement des particules d'eau au travers un milieu poreux aquifère est inversement proportionnelle à la taille des pores interconnectés. Autrement dit, lorsque la taille des pores interconnectés augmente, la vitesse des particules d'eau, et donc du soluté, diminue (Schéma N°1, Figure II.4).
- Le second de ces paramètres concerne la trajectoire des particules d'eau au travers des pores : plus la granulométrie est hétérogène, plus la trajectoire des particules d'eau au travers du milieu poreux ainsi constitué est longue (Schéma N°2, Figure II.4). Dans le cas de substance polluante dissoute transférée par l'écoulement des particules d'eau, ce phénomène va induire un étalement plus important du front de pollution.
- Le troisième paramètre concerne le potentiel de friction des particules d'eau lors de leur écoulement au travers des pores (Schéma N°3, Figure II.4).

Les particules d'eau s'écoulant le long de l'axe d'interconnexion des pores se propagent plus rapidement que celles s'écoulant le long des parois de la matrice solide, ceci à cause des phénomènes de friction au niveau des parois.

Globalement, et par rapport à l'écoulement moyen des particules d'eau en milieu poreux saturé (convection), la dispersion mécanique entraîne une propagation plus rapide des substances polluantes dissoutes transportées dans l'axe des pores.

### a) La dispersion macroscopique :

Au niveau macroscopique, la dispersion induit, outre un mélange lors du transport par écoulement entre le soluté et les autres particules d'eau saturant le milieu poreux (phénomène de dilution en régime transitoire), un étalement progressif des éléments transporté par rapport au mouvement global moyen de convection (écoulement) des particules d'eau au travers des milieux poreux (Thierry Blondel, 2001).

Il en résulte un mouvement divergent du front d'un panache de polluants dissous en fonction de la distance parcourue dans le milieu poreux saturé.

Les hétérogénéités existantes au niveau des ouvertures ou des largeurs de pores, et au niveau des longueurs de trajet à parcourir pour une même particule d'eau dans un milieu poreux saturé soumis à un mouvement convectif (écoulement), engendre une différence au niveau des vitesses moyennes d'écoulement (Figure II.4).

Les fluides passant par l'ensemble des chemins possibles se mélangent et engendrent une dilution des concentrations. Ce processus entraîne également un étalement du front d'un panache de substances polluantes dissoutes par rapport à la direction principale d'écoulement.

Les phénomènes de tortuosité et de différences de vitesses des particules d'eau, s'écoulant à l'intérieur des pores de terrains aquifères à aquitards, ont pour conséquences de créer un champ de vitesse complexe dans les trois dimensions du milieu considéré. Ces phénomènes sont traduits mathématiquement par les coefficients de dispersivité longitudinale, transversale et verticale (Thierry Blondel, 2001).

Dans un espace à trois dimensions et pour un milieu poreux considéré, comme homogène et isotrope, les différents coefficients de dispersivité ( $\alpha$ ) peuvent être estimés de la manière suivante (Thierry Blondel, 2001) :

- $\alpha_{\text{longitudinal}} \approx 1/10^{\text{ème}}$  de la distance parcourue par le polluant, ou de la longueur du panache polluant de la nappe ;
- $\alpha_{\text{latéral}}$  (sur les cotés et vers le bas)  $\approx 1/100^{\text{ème}}$  de cette distance ;
- $\alpha_{\text{vertical}}$  (vers le haut) : très faible, de l'ordre de la diffusion moléculaire.

Une relation empirique, basée sur de nombreuses observations de terrains en contexte de nappe alluviale et pour des distances inférieures à 3500 m selon le flux ou l'axe d'écoulement, permet d'estimer le coefficient de dispersivité longitudinale (Thierry Blondel, 2001) :

$$\alpha_{\text{longitudinal}} = (0.0175 * L)^{1.46} \quad (\text{II.16})$$

Avec : L= longueur maximale du flux considéré ou du panache polluant.

### 2.1.3. Diffusion moléculaire :

L'agitation thermique est à l'origine de déplacements aléatoires de n'importe quelle espèce chimique, atome, molécule ionisée ou non ionisée. La vitesse de ces déplacements dépend des champs de force qui s'exercent sur les espèces chimiques et elle est beaucoup plus grande en phase gazeuse qu'en toute nature, les mouvements aléatoires ne conduisent pas à des transports de masse. Dans le sol, cette situation est cependant rarement réalisée et diverses forces conduisent à l'existence de transports de masse plus au moins importants. Parmi ces forces, les gradients de concentrations qui peuvent exister dans l'espace poreux sont dans le sol, les plus importants. Comme pour l'eau, les lois générales du transport s'appliquent à la diffusion moléculaire. Ainsi est elle décrite en milieu isothermes par deux équations.

- L'une qui est l'expression de la loi de conservation de la quantité de mouvement, c'est la loi de Fick
- L'autre, qui est la combinaison de la précédente avec la loi de conservation de la masse et qui est connue sous l'appellation de deuxième loi de Fick ou équation de diffusion.

#### a) Equations de la diffusion moléculaire

- **Loi de Fick**

Considérons un milieu homogène, sauf pour l'un de ses constituants,  $A_i$  par exemple, dont nous supposons que la concentration diminue dans la direction  $O_x$ . L'existence d'un gradient est à l'origine d'un transport de la substance  $A_i$  dans la même direction. Ce transport est dû à la diffusion moléculaire et il est caractérisé par un coefficient de diffusion moléculaire. La densité de flux dans la direction à cette abscisse, le coefficient de proportionnalité étant le coefficient de diffusion moléculaire :

$$J_{\text{diffx}} = -D_x \left( \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (\text{II.17})$$

Le signe (-) permet d'avoir une densité de flux positive dans la direction  $O_x$  puisque le gradient de concentration est négatif. Observons d'ailleurs que le transport a lieu dans le sens d'un gradient décroissant ce qui correspond à une diminution de l'énergie libre du système.

La relation (II.17) est l'expression de la loi de Fick. Elle exprime aussi la loi de conservation de la quantité de mouvement. Il serait plus rigoureux de l'écrire en explicitant le gradient de potentiel chimique car c'est lui le moteur du transport. On peut cependant montrer qu'il est suffisant de prendre le gradient de concentration dans les milieux peu concentrés, comme c'est souvent le cas de la solution du sol, la relation (II.17) correspond à un transport monodimensionnel, elle s'écrit :

---


$$(\text{II.18})$$

$$\vec{j} = \bar{D} \cdot \overrightarrow{\text{grad}C}$$

D est alors un tenseur dans les milieux anisotropes. Seul le transport monodimensionnel dans un milieu isotrope est traité ici. Cela est suffisant pour l'introduction des principales connaissances relatives à la diffusion moléculaire dans les sols.

La relation (II.17) permet d'établir les dimensions du coefficient de diffusion moléculaire.

Densité de flux = - D x gradient de concentration ( $D = L^2T^{-1}$ ).

### A) Equation de deuxième loi du diffusion :

L'application de la loi de conservation de la masse à un transport monodimensionnel, dans la direction  $O_x$  et en conditions isothermes conduit à la relation suivante qui s'établit de la même façon que pour le transport de l'eau

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} (J_{\text{diff}}) \quad (\text{II.19})$$

Combinée à la loi de Fick, elle donne l'équation de diffusion :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D(x) \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (\text{II.20})$$

Les solutions de cette équation donnent les variations spatiales et temporelles de la concentration de la substance qui diffuse. Comme l'équation du transport de l'eau (équation de Richards).

Quand on peut faire l'hypothèse que le coefficient de diffusion est indépendant de la distance x ou en dépend peu, l'équation de diffusion s'écrit simplement :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (\text{II.21})$$

Dans le cas contraire, soit du fait des variations du milieu, soit des variations de concentration, il faut connaître la fonction D(x).

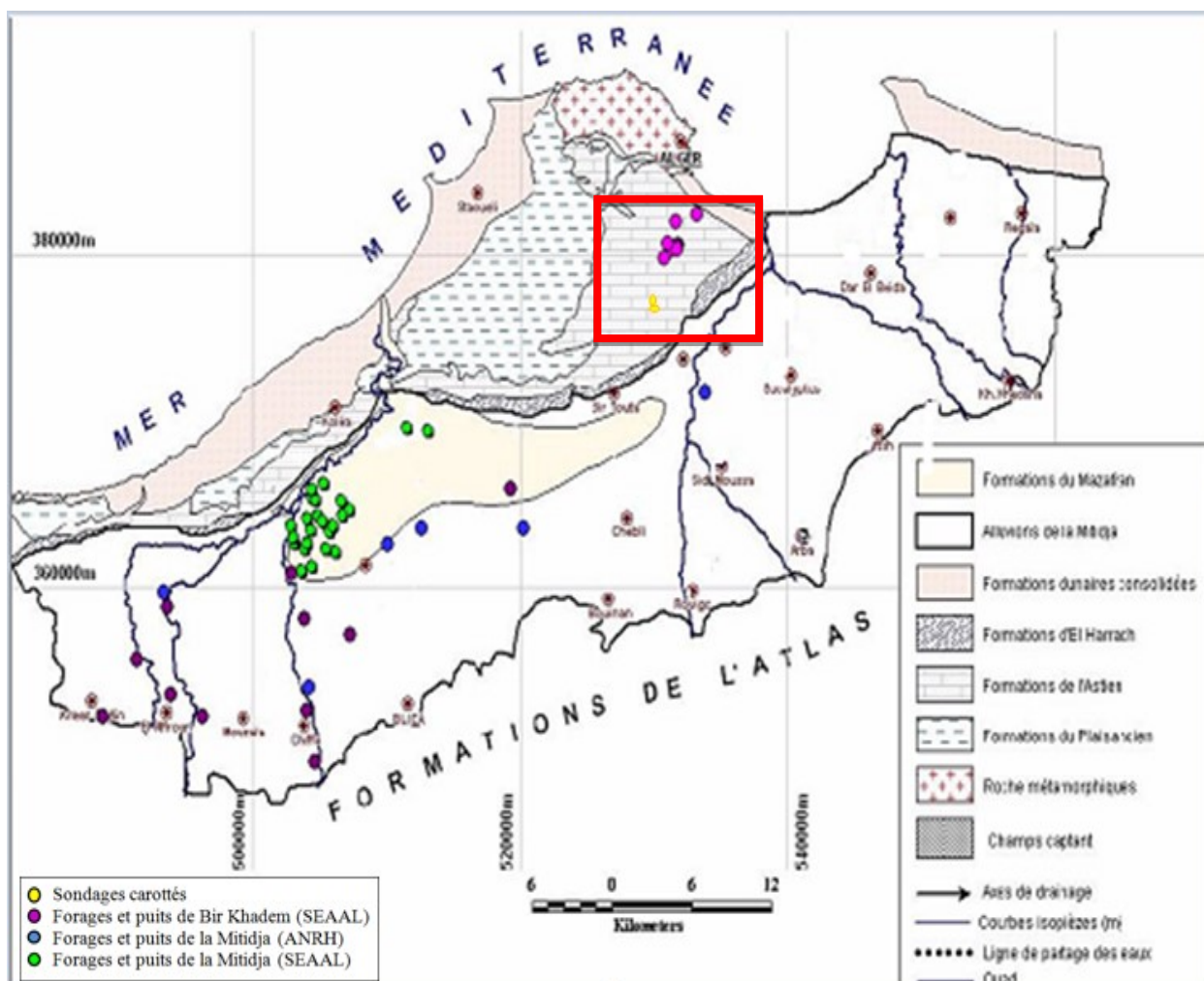


## 1. Introduction :

La méthodologie adoptée dans le cadre de cette étude consiste à prélever des échantillons d'eau et de sol dans la zone non saturée et saturée et déterminer ou bien essayer de quantifier les taux des engrais azotés utilisés sur les sols. Nous disposons ainsi de trois pôles qui permettront de suivre, décrire et comprendre le phénomène de transfert des nitrates depuis le sol jusqu'à la nappe.

Pour les échantillons d'eau des nappes (Zone saturée), des analyses chimiques ont été effectuées au laboratoire de la SEAAL et l'ANRH. Ces deux organismes effectuent des prélèvements réguliers sur le réseau piézométrique de surveillance de la nappe du quaternaire à l'échelle de toute la Mitidja. Les analyses chimiques sont réalisées au niveau des deux laboratoires de l'ANRH à la direction centrale de Birmourad Reis et de la SEAAL à leur siège à Kouba.

Les échantillons de sol (Zone non saturée) ont été traités au laboratoire de l'Entreprise de Géotechnique (SCTE), les eaux interstitielles ont été extraites sous vide par distillation ; sur ces eaux ont été effectués des analyses chimiques et notamment les nitrates.



**Figure III.1 :** Carte de situation des points de prélèvement sur la zone de Bir khadem et Mitidja centre et ouest

## 2. Le sol

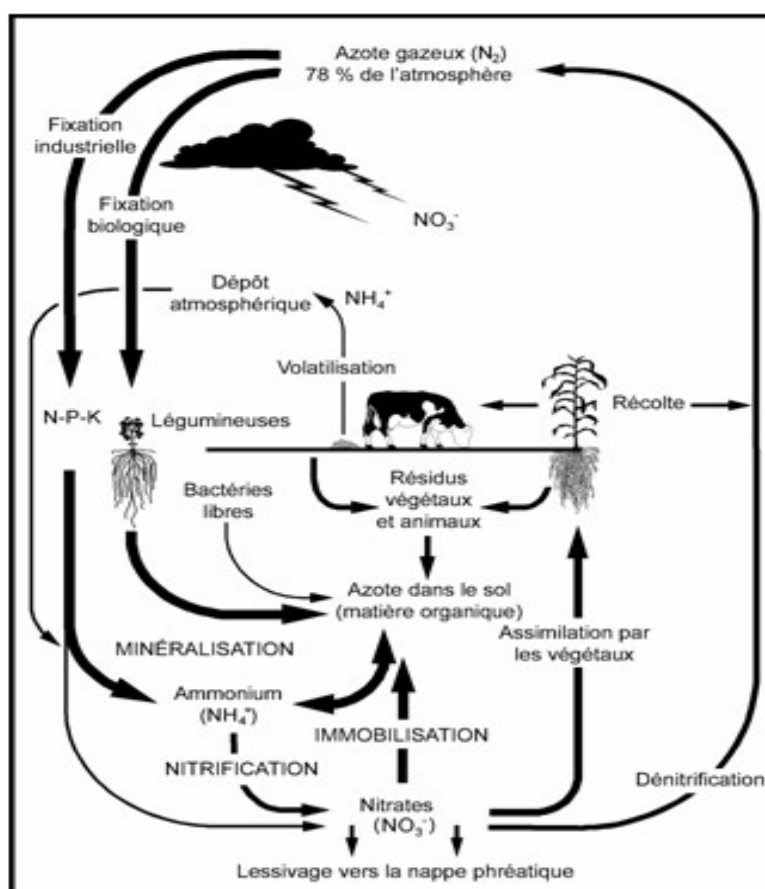
Avant voir les taux et les méthodes d'évaluations des quantités d'azote consommées dans la Mitidja à partir d'engrais chimiques agricoles, nous allons exposer les aspects théoriques des transformations et transfert d'azote.

### 2.1. Les transformations et les transferts d'azote :

L'atmosphère terrestre est composée à près de 80% de  $N_2$ . L'azote est un élément important dans la constitution de nombreuses molécules organiques. Que l'on pense, par exemple, aux acides aminés des protéines (chaque acide aminé contient un groupement  $NH_2$ ).

Par contre, les plantes ne peuvent pas utiliser l'azote atmosphérique. L'azote est assimilé par les racines sous forme de nitrates ( $NO_3^-$ ) ou, parfois, d'ions ammonium ( $NH_4^+$ ). Ces ions proviennent de la **décomposition de la matière organique azotée** dans le sol.

L'azote se déplace sans cesse entre sa forme minérale et sa forme organique. Les molécules organiques contenant de l'azote se décomposent dans le sol sous l'action des décomposeurs (des bactéries du sol). Cette décomposition produit de l'azote sous forme minérale (des nitrates). Les plantes utilisent les nitrates puisés par leurs racines pour fabriquer de la matière organique azotée. Et le cycle recommence.

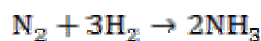


**Figure III.2 :** Formes et trajets de l'azote à l'intérieur du système de production agricole.

### 2.2.1. La fixation de l'azote atmosphérique :

La fixation biologique de l'azote assure la transformation de l'azote gazeux atmosphérique en ammoniac. Elle est effectuée par des microorganismes soit autonomes soit en symbiose avec des plantes supérieures (Fatma LAZREK BEN FRIHA, 2008).

Ces microorganismes diazotrophes sont capables d'assures, et de réduire l'azote suivant la réaction globale :



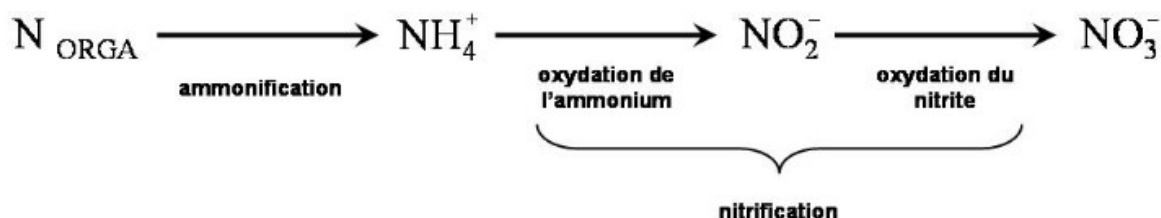
La fixation biologique de l'azote se déroule à 25°C.

Certaines plantes se sont adaptées pour obtenir leur azote directement de l'azote atmosphérique (N<sub>2</sub>). En fait-il s'agit d'une symbiose avec des microorganismes capables de fixer l'azote. Ces microorganismes peuvent coloniser les racines et former des structures, appelées nodules, à l'intérieur des quelles ils sont capable de fixer l'azote atmosphérique sous forme de composés aminés dont une partie est cédée à la plantes en échange de substrats carbonés issus de la photosynthèse (MARIE- HELENE PERRON, 2010).

### 2.2.2. Minéralisation de l'azote organique:

La minéralisation est la réaction biologique conduisant à la formation de l'azote minérale (Nitrique et Ammoniacal) à partir de l'azote organique.

Cette renaissance de l'azote minéral se produit en trois étapes : l'ammonification, l'oxydation de l'ammonium et l'oxydation du nitrite ; les deux dernières étapes sont combinées dans ce qu'on appelle la nitrification.



**Figure III.3 :** Processus de minéralisation de l'azote

Elle correspond à la dégradation de la matière organique du sol (MOS). Les étapes successives de cette dégradation conduisent à une simplification moléculaire dont le stade ultime est pour ce qui conserve l'azote, la production de l'ion nitrate (No<sub>3</sub><sup>-</sup>). Cette minéralisation est réalisée en deux étapes : l'ammonification et la nitrification (Christian-Schvartz, Jean-Charles Muller, Jacques Decroux, 2005).

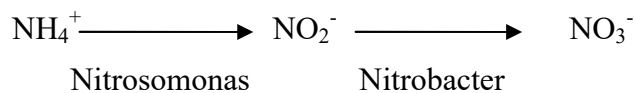
#### a) Ammonification :

Le processus de l'ammonification résulte de la transformation de l'azote organique en ammoniac par une série de microorganismes. Une partie de l'ammoniac peut être volatilisé et retourne dans l'atmosphère, mais la grande partie est recyclé en nitrate par des bactéries du sol (william. G.Hopkins, Charles-Marie Evrard).

Le stade final de l'ammonification, est l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). La vitesse de minéralisation est constante quelle que soit la concentration en  $\text{O}_2$  de l'eau superficielle de 0 à 30 mg/l (Bernard Montuelle, 2003).

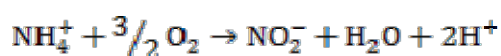
### b) Nitrification :

La nitrification est la conversion biologique de l'azote minéral réduit ( $\text{NH}_4^+$ ) en azote minéral oxydé sous forme de  $\text{NO}_3^-$  en passant par le  $\text{NO}_2^-$

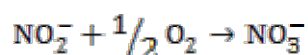


Ce processus se fait en deux étapes successives : la nitrification puis la nitratisation

- **La Nitrification (ou Nitrosation) :** c'est l'oxydation de l'ammonium en nitrite qui se réalise grâce aux bactéries dites nitreuses (les Nitrosomonas) qui, oxydent l'ammonium en nitrite selon la réaction :



- **La Nitratisation :** c'est l'oxydation du nitrite en nitrate réalisée par des bactéries nitriques (les nitrobacters) (Jared MATABA MPON GATE ,2010)



Dans le sol, il existe deux genres des bactéries qui assurent la nitrification : les Nitrosomonas et les Nitrobacters. Ils sont des bactéries autotrophes spécifiques qui réalisent ces deux transformations au cours des quelles elles récupèrent de l'énergie. L'activité microbienne responsable de la nitrification est considéré comme effective sur les 40 premiers centimètres de sol seulement.

Ces bactéries apparaissent dans les sols à des PH entre 4,5-10, mais elles préfèrent des conditions de PH neutre dont le processus est rapide, au contraire, il est très ralenti dans les sols acides. En conditions défavorables (assacie, acidité), c'est la nitrification qui est l'étape limitaire : C'est donc l'azote ammoniacal qui s'accumule et non l'azote nitreux ( $\text{NO}_2^-$ ).

L'anion nitrate n'est pas retenue par les particules du sol de même charge. Très soluble, il peut ainsi être entraîné par lessivage ou ruissellement et être à l'origine de pollutions de nappes phréatiques ou d'eaux de surface. Il peut aussi être partiellement réduit en partie en oxyde d'azote et azote gazeux par les micro-organismes, c'est le phénomène de dénitrification (guide pratique, 2002).

### 2.2.3. Perte d'azote :

#### a) Volatilisation d'azote ammoniacal :

La volatilisation d'une espèce chimique est par définition et sensu stricto, le passage d'un état liquide à un état gazeux. Au sens large, il convient d'englober sous le terme de la volatilisation, la dispersion de la molécule gazeuse dans son environnement atmosphérique immédiat.

La volatilisation de l'ammoniac conduit potentiellement à un déséquilibre des proportions et des réactions chimiques dans l'atmosphère (Jean-François Moal, 1994).

L'azote ammoniacal ( $\text{NH}_3^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) des sols est issu de la minéralisation de la matière organique, des apports par les déjections animales et les engrais minéraux, de l'hydrolyse de

l'urée, et des dépôts atmosphériques. Une partie de cet azote peut être perdue directement par volatilisation d'ammoniac.

En conséquence, les pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac sont étroitement liées aux conditions de sol (PH, capacité d'échange, porosité), à son humidité (concentration de la solution du sol) et aux conditions climatiques (pluviométrie, température). Ces pertes peuvent représenter quelque % à plus de 90% de l'azote ammoniacal apporté sur la parcelle dans le cas des épandages de lisiers. Elles sont moins fortes mais peuvent atteindre 50% pour les apports d'engrais minéraux (Gilles Lemaire, Bernard Nicolardot, 1996).

#### **b) Lixiviation :**

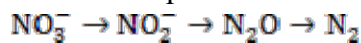
L'azote nitrique est l'élément qui pose le plus de problèmes en agriculture. Les nitrates très solubles et mobiles dans la solution du sol sont facilement lixiviés vers les eaux souterraines et constituent ainsi une source potentielle de pollution de la nappe phréatique par les nitrates [5].

Le processus de lixiviation désigne l'entraînement en profondeur de l'azote soluble (forme nitrate) par l'eau drainante [6].

La lixiviation provoque la désaturation du complexe adsorbant et aboutit à l'acidification du profil.

#### **c) Dénitrification :**

La dénitrification est la transformation de l'azote nitrique en azote gazeux, elle s'effectue selon les étapes suivantes :



Le processus de dénitrification requiert un ensemble différent de conditions environnementales. Ce processus catabolique, dans lequel le nitrate est utilisé comme oxydant dans la respiration anaérobie. Implique habituellement des hétérotrophes comme pseudomonas denitrificans. Les produits principaux de la dénitrification sont l'azote gazeux ( $\text{N}_2$ ) et l'oxyde nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$ ), bien que le nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) puisse également s'accumuler. Le nitrite constitue un problème environnemental, car il peut participer à la formation de nitrosamines cancérigènes.

Enfin le nitrate est transformé en ammoniac par réduction catabolique par une variété de bactéries. (LAN Sing M, Prescott, John P. Harley, Donald A. Kbein, ).

#### **d) Immobilisation de l'azote :**

Dès l'apport d'engrais azoté dans le sol, une compétition s'engage entre les micro-organismes du sol et la culture pour la consommation de cet azote. La réorganisation correspond au processus par lequel les micro-organismes du sol assimilent l'azote pour leurs propres besoins de renouvellement et de croissance.

La réorganisation est d'autant plus importante que le sol a une forte activité biologique. Elle ne doit pas être considérée comme une perte pour le système sol plante, mais elle représente une immobilisation de l'engrais dans le compartiment organique du sol (PATRICIA MERIGOUT, 2006).

#### **e) Absorption de l'azote par les plantes :**

L'azote minéral du sol est la source principale d'azote des végétaux. L'absorption de l'azote par les plantes se fait essentiellement sous forme de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) qui sont ensuite réduits en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) puis transformés en ammoniac et inclus dans les molécules organiques.

La forme d'absorption est variable en fonction :

- de l'âge de la plante (les plantes jeunes absorbent de préférence sous forme ammoniacale);
- de l'espèce (les graminées absorbent essentiellement sous forme nitrique) ;
- du pH ;
- des autres ions présents dans la plante et dans le sol.

Les engrais minéraux apportés aux terres sont destinés à être dissous dans l'eau du sol car les poils absorbants les absorbent sous forme de solutions salines nutritives [7].

## **2.2. Activité agricoles dans la Mitidja:**

### **2.2.1. Les superficies agricoles :**

La surface agricole totale « SAT » de la plaine de la Mitidja représente l'ensemble des superficies agricoles utiles et des terres improductives (parcours, bâtiments, forêts; elle est de l'ordre de 164000 hectares.

La surface agricole utile « SAU » représente la superficie apte à être cultivée et sur laquelle est pratiqué un assolement (succession de cultures) ; Elle est de l'ordre de 100 000 hectares. (Rapport ANRH, Service pédologie 2010)

La superficie agricole est cultivée soit:

- ✓ En irrigué : il s'agit d'un système de culture intensive nécessitant de très grands apports d'eau et d'engrais agricoles (culture maraîchère) ; il concerne 60 000 hectares de superficie.
- ✓ Ou en sec : système de culture sans apport d'eau, l'irrigation étant exclusivement tributaire de la pluviométrie.

### **2.2.2. La fertilisation :**

#### **a) Consommation Nationale d'engrais chimiques**

Les Engrais agricoles les plus utilisés en Algérie sont par ordre décroissant des quantités consommées : (Rapport ANRH, Service pédologie 2010)

- 1.N-P-K (12-18-1)
- 2.Urée (46%)
- 3.T-S-P Super phosphate
- 4.P-K (0-20-25)
- 5.Ammonitrate (33,5%)
- 6.Sulfate d'Ammonium (21%)
- 7.Sulfate de Potassium (50%)
- 8.Oligoéléments

### b) Consommation d'engrais chimiques dans la Mitidja

Les quantités d'engrais chimiques consommées dans la Mitidja, ont été converties en quantités d'azote de la manière suivante :

- L'Urée 46% : engrais contenant 46% d'azote.
- Le N.P.K (12-18-1) : engrais contenant 12% d'azote, 18% de phosphore et 1% de potassium ;
- L'Ammonitrate 33,5% : engrais contenant 33,5 % d'azote ;
- Le sulfate d'ammonium 21% : engrais contenant 21% d'azote.

A partir de ces formules il nous a été possible de convertir les quantités d'engrais consommées, en quantités d'azote consommées par les wilayas de la Mitidja.

Les quantités d'azote consommées dans la Mitidja à partir d'engrais chimiques agricoles, sont rapportées dans le tableau suivant :

Wilaya	AZOTE (QX)			Moyenne d'azote consommé par année (Qx/an)
	2005	2006	2007	
Tipaza	63553,4	63735,5	63735,5	63674,8
Blida	7067,72	4742,42	3624,38	5145,50
Boumerdès	2007,9	1035,46	1316,88	1453,41
Alger	300	1244,53	2679,05	1407,86
Total	72929,2	70757,91	71355,81	71681,57
<i>Unité : quintal</i>				

**Tableau III.1** : Consommation moyenne d'azote (Rapport ANRH, Service pédologie 2010)

Pour évaluer les quantités d'azote épandues à l'hectare ou «nombre d'unités fertilisantes» dans la région de la Mitidja, un calcul a été fait à partir des quantités d'engrais azotés livrées, par rapport à la surface irriguée de chacune des quatre wilayas, on a ainsi déduit le ratio : Kg N/hectare/an. (Rapport interne ANRH, 2010)

Wilaya	Surface agricole irriguée(Hectares)	Quantités d'azote épandu Kg N/Ha /an
Tipaza	16588	383,86
Blida	27711	18,56
Boumerdès	9249	15,71
Alger	18169	7,74

**Tableau III.2** : Fertilisation par Wilaya (Rapport ANRH, Service pédologie 2010)

### 2.2.3. Les apports en azote d'origine animale

Parallèlement à la fertilisation par les engrais minéraux ou organiques, il existe un apport direct par les animaux élevés en plein air (bovins, ovins, caprins, volailles), dont l'urine constitue l'exutoire naturel des excès d'azote de l'alimentation.

Dans l'urine, l'azote, se trouve sous différentes formes dont la plus importante est l'urée, qui est rapidement hydrolysée en ammonium, très vite transformé en nitrate (1 à 7 jours). L'azote des fèces (bouses), essentiellement sous forme organique, suit une évolution plus lente.

Comme les quantités d'azote éliminées par les bovins (vache, bœuf...) sont beaucoup plus importantes que celles des ovins (brebis...) et des caprins (chèvres...), on a rapporté la quantité d'azote émise par chaque espèce à une unité commune qui est l'UGB (unité gros bétail).

L'UGB- Azote (UGB-N) est l'unité de gros bétail azote, utilisée en matière de pollution des eaux par les nitrates. Elle correspond à une pollution produite de 73 Kg d'azote par an et contenue dans les effluents d'élevage.

Des moyennes UGB par espèce animale à partir des normes internationales ont été fait en coopération avec l'Institut Technique des Elevages « ITELVE » de Baba Ali :

1 Bovin = 0,9 UGB soit 65,7 Kg N /an

1 Ovin = 0,1 UGB soit 7,3 Kg N /an

1 Caprin = 0,07 UGB soit 5,11 Kg N/an

Le tableau IV.3 illustre les apports en azote calculé dans les différentes régions de la Mitidja à partir de chaque espèce : Bovins, ovins, caprins. (Rapport ANRH, Service pédologie 2010)

Wilaya	Total UGB-N*	Equivalent Azote (Qx N/an)
Blida	45147	32957
Tipaza	10295	7515
Boumerdès	8447	6166
Alger	6837	4991
Total UGB	70726	51629
Qx : Quintaux	*Total UGB-N= UGB-N Bovin + UGB-N Ovin + UGB-N caprin	

**Tableau III.3 :** Apports en azote issu de l'élevage (Rapport ANRH, Service pédologie 2010)



### 2.3. Activité 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 ANRH, Service pédologie 2010)..

Les effets des pollutions industrielles sont très diversifiés, en fonction du type de substances rejetées.

Les rejets d'eaux usées industrielles sont chargés de :

- substances polluantes/MES, Matières azotées.
- substances toxiques.
- substances radioactives.

Le tableau suivant récapitule les activités industrielles implantées sur la zone d'étude par branche d'activité :

Branche d'Activité	Wilaya				
	Alger	Blida	Boumerdès	Tipaza	Total/Branche
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
Equipements	03	00	01	00	04
Divers	11	07	09	00	27
<b>Total unités Industrielles de la Mitidja</b>	<b>219</b>	<b>94</b>	<b>27</b>	<b>21</b>	<b>361</b>

**Tableau III.4 :** Activités industrielles dans la Mitidja (Rapport ANRH, Service pédologie 2010)

Le tableau (III.5) présente la concentration des rejets des unités industrielles qui ne possèdent pas de station de traitement, donc ils sont classés comme polluantes (Omar Mimouni, 2010).

Wilaya	Commune	Nombre total d'unités industrielles	Rejet (m <sup>3</sup> /an)
Alger	Hamma El Annassar	9	220000
	Oued Samar	40	799000
	El Harrach	25	333250
	Barraki	9	250
	Dar El Baida	13	16375
	Gue de Constantine	14	981500
	Hussein Day	17	56950
	Kouba, El Achour, Bordj Kiffan, Alger	9	9500
	Birtouta, Bir Khadem, Tssala El Mardja	7	<b>2232813</b>
Blida	Boufarik	9	/
	Larabaa, Maftah	4	/
Boumerdes	Khemis El Khechna	6	6250
	Hamadi	8	/

**Tableau III.5 :** Répartition des unités industrielles et leur principales caractéristiques (Rapport ANRH, Service pédologie 2010)

#### 2.4. Assainissement :

Le taux de raccordement des logements au réseau d'assainissement est de 75,5% pour l'ensemble des quatre wilayas. L'accès à l'assainissement en tenant compte des systèmes individuels (fosses septiques) serait de 89,3% (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

Les eaux usées domestiques provenant des habitations, collectées par le réseau d'assainissement arrivent jusqu'à la station d'épuration (lorsqu'elle existe) où elles subissent un traitement primaire, dont l'objectif est l'élimination de 90% des matières en suspension (matières décantables). La **pollution azotée** (dissoute) n'est pas traitée (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

Chaque habitant rejette quotidiennement entre 12 à 15g d'azote total (Azote Kjeldahl) soit une moyenne de 13,5g d'azote par jour soit 4,927Kg d'azote/an soit 21,82 kg de nitrates/an (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

L'azote ammoniacal constitue l'apport essentiel de l'azote dans les effluents de stations d'épuration. Ceci est dû au fait, que l'azote organique se transforme très facilement en azote ammoniacal au cours de sa circulation dans les réseaux d'assainissement, avant son arrivée à la station d'épuration (STEP) où il est rapidement oxydé en nitrates (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

##### ➤ Apports en azote d'origine urbaine:

Le système d'épuration existant dans la région centre : la Station d'épuration de Baraki d'une capacité de 700.000 Equivalents habitants, devant épurer l'essentiel des eaux usées urbaines de toute la wilaya d'Alger, n'est pas opérationnelle. Les rejets urbains des habitants

de 50 communes de la capitale sont donc déversés tels quels dans l'oued El-Harrach, soit les rejets de 2.273.387 habitants, en sachant qu'un habitant déverse 21,82 kg de nitrates par année (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

Ainsi, au cours de l'année 1998, 49605,30 tonnes de nitrates ont été déversées dans l'oued El-Harrach.

Le reste de la population de la wilaya d'Alger soit 289041 habitants (7 communes) déversent leurs rejets azotés qui sont de l'ordre de **6 306,874 tonnes de nitrates par an**, dans l'oued Reghaia qui aboutit au lac de Reghaia (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

De la même façon, la population des 18 communes de la wilaya de Blida, situées dans la Mitidja, comptant 587563 habitants déversent leurs rejets azotés qui sont de l'ordre de **12 820,62 tonnes** de nitrates par an directement dans l'oued Chiffa et oued Bouroumi qui sont des affluents du Mazafran (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

Les quatre communes situées dans la plaine et appartenant à la wilaya de la Boumerdès, en l'occurrence : Khemis El Khechna, Hammadi, Ouled moussa et Ouled Hadadj, totalisant une population de 114217 habitants, déversent leurs rejets azotés soit **2 492,21 tonnes de nitrates par an** dans l'oued El Hamiz (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

Quand aux 9 communes appartenant à la wilaya de Tipaza, situées dans la Mitidja, elles totalisent une population de 149206 habitants déverse **3 255,67 tonnes de nitrates par an** dans l'oued Djer et Bouroumi qui sont des affluents de l'oued Mazafran (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

Si on fait le bilan des quantités de nitrates d'origine urbaine déversées dans les oueds traversant la Mitidja il serait de l'ordre de **74480,67 tonnes de nitrates par an** (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

## 2.5. Les décharges publiques

Les décharges publiques concourent à leur tour, à la pollution de la nappe de la Mitidja par les nitrates, et ce soit par infiltration des lixiviats à travers le sol pour rejoindre la nappe d'eau, soit par le biais des cours d'eau (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

### ➤ Les Dépotoirs sauvages :

La plupart des dépotoirs recensés représentent des points de dépôts de déchets mal pris en charge soit par absence de dispositif de collecte, ou de l'indisponibilité de bennes ou de bacs à ordures. Chaque point de collecte génère ainsi un dépotoir (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

Le nombre de dépotoirs recensés dans les communes de la Mitidja situées dans la

wilaya d'Alger, est rapporté dans le tableau suivant :

<b>Commune</b>	<b>Nombre de dépotoirs sauvages</b>
Reghaia	19
Bab Ezzouar	18
Birkhadem	15
Bordj El Kiffan	14
Birtouta	10
Heuraoua	8
Eucalyptus	7
Tessala El Merdja	7
Dar El Beida	6
Gué de Constantine	5
Sidi moussa	5
Baraki	5
Saoula	4
Ouled Chebel	3
Total	126

**Tableau III.6** : Inventaire des dépotoirs sauvages (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

➤ **Les Décharges sauvages :**

La décharge sauvage de Oued Smar est exploitée depuis 1978, d'une superficie de 40 hectares, elle constitue la principale décharge de la Mitidja.

La majorité des décharges publiques sauvages sont à proximité ou carrément dans les lits d'oueds. Certaines implantées sur des terrains perméables, qui drainent les lixiviats liquides vers la nappe (Rapport ANRH, Service pédologie 2010).

**3. La zone non saturée (sondages carottés) :**

Deux sondages carottés ont été réalisés le 15 juin 2009 sur 24 m de profondeur dans la région de Bir Khadem, par la Société de géotechnique (SCTE), dont les coordonnées sont :

- ✓ 03° 02' 31.66 " E et 36° 42' 37.86" N
- ✓ 03° 02' 30.40" E et 36° 42' 35.75" N

Les niveaux statiques sont respectivement : 25 et 27m.

Les résultats de ces deux sondages sont mentionnés dans le tableau III.7 (SCTE, 2010).

Profondeur (cm)	Sondage SD1		Sondage SD2	
	NO- 3(mg/l)	Teneur en eau(%)	NO- 3(mg/l)	Teneur en eau(%)
50	30	10	35	18
80	32	25	39	20,5
100	35	38	41,5	28,5
150	45	45	44,7	30,2
200	48	40,5	50,5	35,7
300	50	38	49,5	40
400	55	25	58	25
600	58	15,1	57,2	20,8
800	62	18,2	61,5	17,3
1000	65	17,5	65,4	17,3
1200	70	23,3	75,2	25,2
1400	79	32,2	80,5	34,5
1500	85	37,5	87,3	37,2
2000	70	48,2	69,5	45,3
2100	65	50	70,2	49
2200	58,5	55,1	61,3	50,2
2300	55	52,3	52,5	49,5
2400	48	48	39,3	45

**Tableau III.7** : Résultats des analyses chimiques réalisées sur les sondages carottés

#### 4. Nappe :

Au niveau de la nappe on distingue deux zones de recharge : la région de Bir Khadem (aquifère de l'Astien) et la région de la Mitidja Centre et Ouest (aquifère de Quatenaire).

##### 4.1. Région de Bir khadem

Nous disposons dans la région de Bir Khadem de 14 points d'eau (forage et puits) qui ont subi un suivi d'analyse chimique de 1992 à 2008 (SEAAL, 2010). Les teneurs en nitrates varient de 30 jusqu'à 180 mg/l, mais les teneurs en chlorures et la conductivité sont généralement dans les normes (la conductivité est de 2800  $\mu$ S/cm et les chlorures 500 mg/l).

Les analyses de ces paramètres sont représentées dans les tableaux ci-dessous :

NO3-	F Ravin	F Grignard	F Zanka	F Centre Féminin	F Tabet Ben Khora	F 15 Les Vergers	F 13 Les Vergers	F 10 Les Vergers	F 9 Les Vergers	F 3 Pitavy	F 16
02/1998	51,6		103,6	114,2				83,02	103,6	46,47	73,26
09/1998											45,81
1999	99		106,3		170,15						75
02/2000		60			180	88,6	95	96,35	118,28		58,21
05/2000	44,83	60,7		71,7			93,03				72,65
2001		44,07		83,8	81,51		84,17	153,7	49		68
2002				91,21	86,07	108,14	94,36			43,39	
2003											
2004		65	94,91			82,14	81,08				55,48
2005		64,75		71,04	69,62	97,88	80,34			79,53	
02/2006		82,6		95,7	85,28	118,14		96,08			
11/2006		76,83		47,88	65,2						
2007		104		97,09	93,03	96,1		106,45			
2008		81,26		93,51		103,04		99,63		67,88	

**Tableau III.8** : Résultats des analyses des teneurs en nitrates de la région de Bir Khadem

CL <sup>-</sup> (mg/l)	F Ravin	F Grignard	F Zanka	F Centre Féminin	F Tabet Ben Khora	F 15 Les Vergers	F 13 Les Vergers	F 10 Les Vergers	F 9 Les Vergers	F 3 Pitavy	F 16
02/1998	81,5		136	73		97	92,8	73	75,7	79,9	65
09/1998								84,9	77	80	78,3
1999	83,7	84,98	162,3	85,62	97,76						72,3
02/2000		84,87		84,41	100,14	88,49	97,1	84,09	88,86		72,27
05/2000		77,43					88,7				
2001	92,59	85,2		91,63	101,4		100,15	106,71	97,31		75,12
2002	125,24			89,46	84,09	100,15	100,15			97,56	
2003											
2004		89,46	151,2								94,08
2005		94,97		101,84	104,97	116,92	104,51			99,97	
02/2006		92,25		96,05	96,68	11,21	98,57				
11/2006		96,4		117,53	98,21						
2007		106,8		109,5	99,4	11,5	106,1				
2008		111,71		116,7						103,08	

**Tableau III.9** : Résultats des analyses des teneurs en chlorures de la région de Bir Khadem

Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	F Ravin	F Grignard	F Zanka	F Centre Féminin	F Tabet Ben Khora	F 15 Les Vergers	F 13 Les Vergers	F 10 Les Vergers	F 9 Les Vergers	F 3 Pitavy	F 16
02/1998	1124		1585	999	1137	958	925	971	839	913	882
09/1998								967	1009	950	778
1999	1006	1006	1582	976	1054				823		924
02/2000		912		1036	1004	1077	986	904	993		757
05/2000		992					1068				
2001	1069	1014		1048	1149		1094	1076			858
2002	1266			1141	1142	1157	1093			846	
2003											
2004		981	1659								668
2005		1104		1147	1171	1218	1116			1033	
02/2006		1120		1134	1167	1230	1142				
2006		1201		1262	1164						
2007		1122		1134	1116	1155	1132				
2008		1144				1184	1175			1130	

**Tableau III.10** : Résultats des analyses de la conductivité de la région de Bir Khadem

#### 4.2. La Mitidja (Centre et Ouest)

Dans cette zone, les données sont insuffisantes (il existe cependant quelques campagnes de prélèvement des points d'eaux mais le suivi n'est pas continu). Les analyses qui ont été effectuée dans laboratoire de la SEAL et L'ANRH montrent que les teneurs de nitrates dans les eaux souterraines sont élevées, elles varient entre 5 et 108 mg/l.

Points d'eau	X	Y	NO3-
E008-4590	558620	379920	50,00
E008-4596	557900	384670	95,00
E008-4587	556440	382630	45,70
E007-4600	553650	374620	66,0
Eau de fge pz Ruiba	551407	382266	5,6
E007-4598	550650	370750	33,0
Eau de fge pz Hammadi	550479	376442	17
E008-4593	549200	383070	60,00
E007-9595	547900	382900	25,0
E007-9637	545950	368500	61,00
E007-9647	541270	363070	54,00
E007-9641	539200	373150	23,00
E007-9651	534900	367700	27,00
E007-9644	534770	361500	30,60
E007-9643	533750	361100	5,20
Tabet ben Khora	531790	380443	37,70
Centre Feminin	531244	380349	81,80
Fge El Hamiz N°11	520693	464299	10
Fge 1 DEB	518298	463297	55,76
E007-9620	512500	363550	18,3
E007-8156	512050	360200	17,4
E007-8163	510050	361450	18,6
E007-9619	510000	362600	26,4
E007-9678	507200	357150	33,70
E007-8157	504800	361500	19,5
E007-9675	504500	349450	34,10
E007-9676	503950	352600	19,10
E007-9622	502750	360850	18,70
E007-9672	500470	354670	23,60
E007-9661	496120	352200	8,30
E007-9662	493720	353500	24,90
E007-9663	493250	359700	60,80
E007-9664	491200	355640	80,30
E007-9659	488600	352230	108,70
Fge N° 14 maz1	486453	4052661	25
Fo R19 maz2	477736	444494	23
m 12 maz2	477353	445907	13
Fo 65 maz	476139	446977	22

**Tableau III.11** : Résultats des analyses des teneurs en nitrates de la région de la Mitidja



## 1. Introduction :

La méthodologie adoptée dans l'interprétation du transfert des nitrates, depuis le sol, consiste à étudier et comparer les trois pôles : le sol (Utilisation des engrais à travers les parcelles cultivées), la percolation à travers la ZNS et enfin la nappe (Zone saturée).

## 2. Le sol

### 2.1. La fertilisation :

Les quantités d'azote consommées dans la Mitidja à partir d'engrais chimiques agricoles, sont rapportées dans la figure suivante :

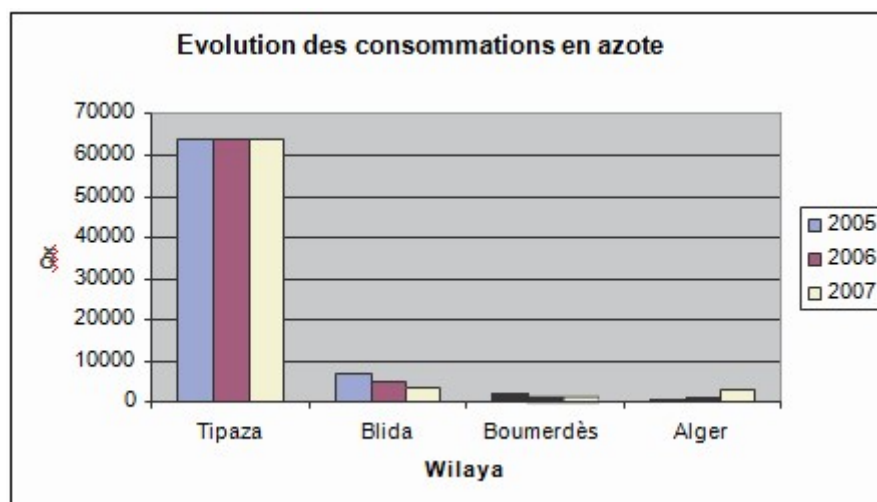


Figure IV.1 : Evolution des consommations en azote

On ne constate pas d'évolution significative des quantités d'azote consommées d'une année à l'autre.

Néanmoins, on note une diminution de la consommation en engrais pour Blida et Boumerdès et au contraire, une augmentation de la consommation pour Alger.

Les quantités d'engrais utilisées par commune de la Mitidja n'étant pas établies, on ne pourra donc comparer que les consommations en engrais par wilaya.

La wilaya de Tipaza consomme 10 à 50 fois plus d'engrais que Blida, Boumerdès et Alger (Figure 2).

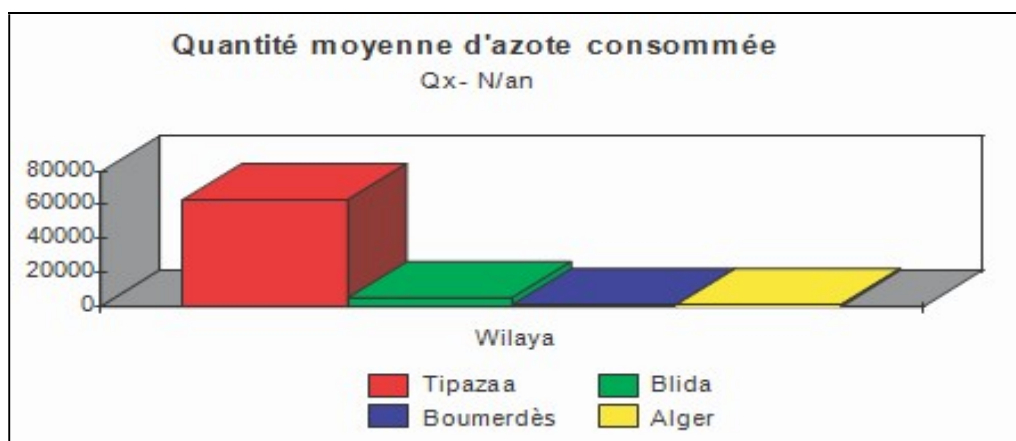


Figure IV.2 : Quantité moyenne d'azote consommée par wilaya

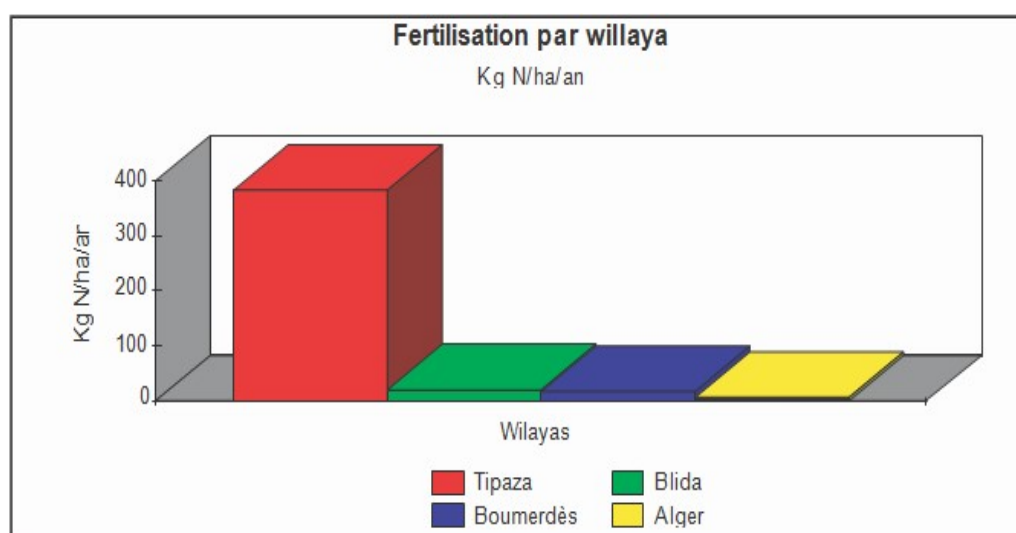


Figure IV.3 : Évaluation des quantités d'azote épandues à l'hectare(2008)

Nous remarquons que la wilaya de Tipaza pour une superficie irriguée moins importante, fertilise 20 à 50 fois plus que Blida, Boumerdès et Alger.

Cela s'explique par le fait que la région de Tipaza est le siège d'une agriculture intensive: la maraîchère (pomme de terre, tomate...) qui nécessite de grandes quantités d'amendements (engrais, eau). Blida est une région plutôt arboricole, elle consomme moins d'engrais agricoles.

Les apports en azote d'origine agricole dans la Mitidja sont de l'ordre de 12331 tonnes /an.

Les apports d'azote à partir de l'élevage sont comparables à ceux apportés par les engrais chimiques (2/5 pour 3/5) :

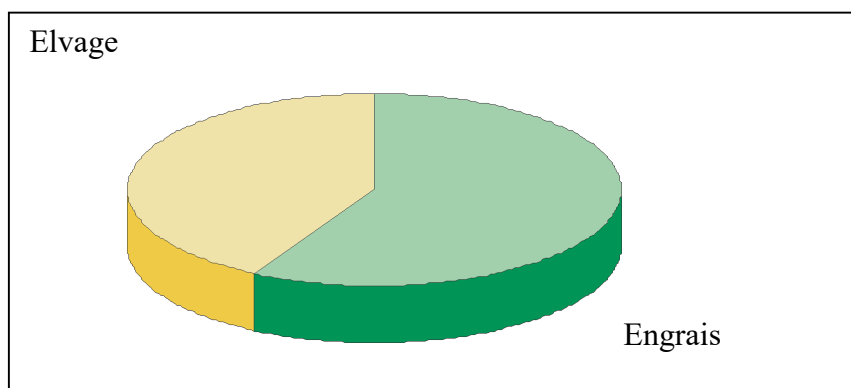


Figure IV.4 : Appport en Azote d'origine agricole

Une partie des nitrates issus des effluents agricoles, d’origine synthétique ou animale, atteint la nappe par lessivage, une autre partie se déverse dans le milieu récepteur en l’occurrence les oueds et cours d’eau.

**2.2. Activité industrielle dans la Mitidja :**

La figure suivante récapitule les activités industrielles implantées sur la zone d’étude par branche d’activité :

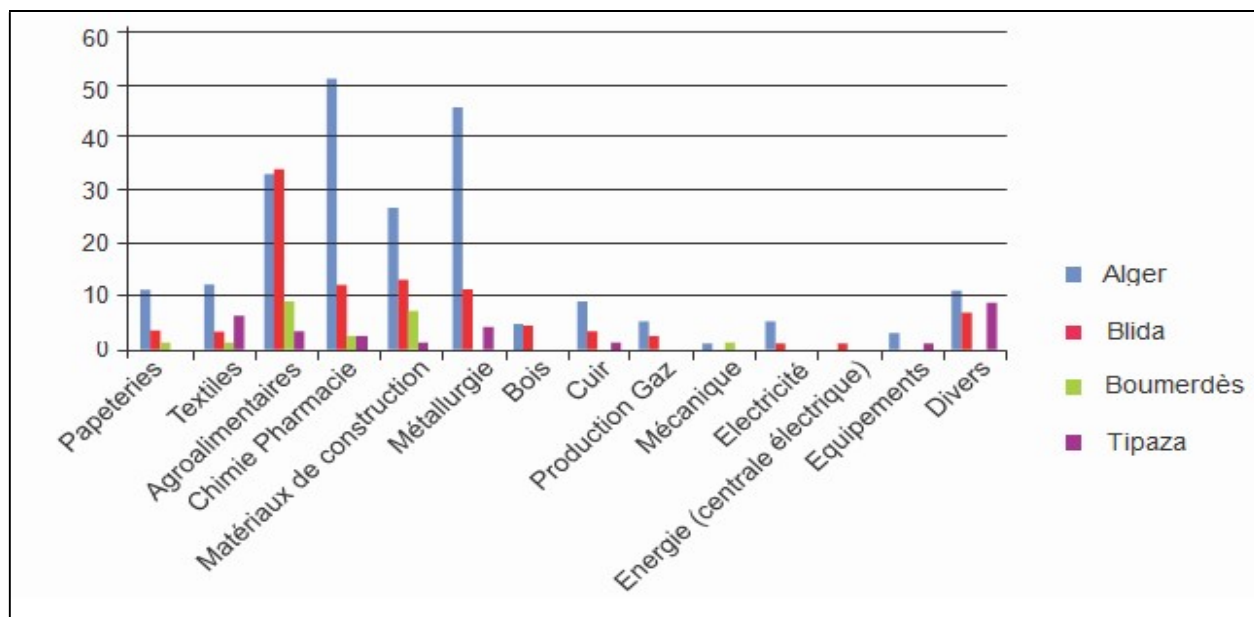


Figure IV.5 : Activités industrielles dans la Mitidja

La région d’Alger est le siège d’une activité industrielle prédominante.

Rappelons que l’ensemble de ces industries sont classées polluantes ; elles rejettent de très importantes quantités d’azote dans le milieu récepteur. Cependant les industries du papier, sont celles qui en rejettent le plus.

**2.3. Autres sources de pollution :**

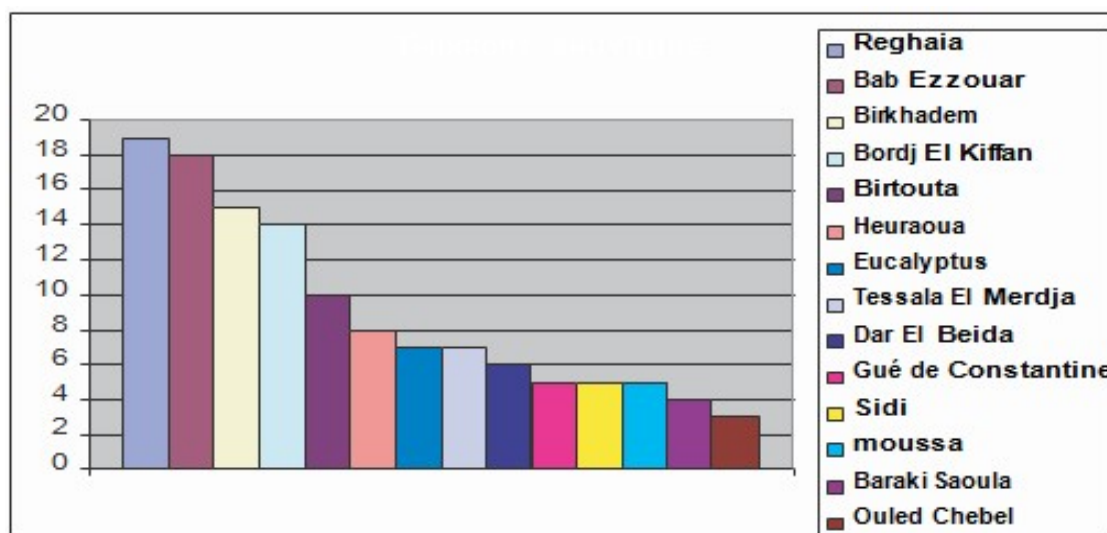


Figure IV.6 : dépotoirs sauvages

La région située à l'Est d'Alger contient un nombre très important de dépotoirs sauvages (essentiellement dans la région de Reghaia et Bab Azzouar).

#### 2.4. Conclusion :

D'après les résultats nous pouvons dire que l'ensemble des activités socio-économiques de la Mitidja, concourent à des degrés différents, à la pollution de la nappe aquifère par les nitrates. La très forte activité industrielle couplée aux rejets urbains qui y sont également très importants à l'Est de la Mitidja, montre la pollution azotés qui due aussi de l'activité agricole et à la multitude de décharges et de dépotoirs sauvages.

A l'Ouest de la Mitidja cette pollution de la nappe est essentiellement due à l'agriculture plus prononcée avec une utilisation fortement avérée en fertilisants, mais aussi aux rejets urbains.

Au Centre de la Mitidja l'ensemble des activités: industrielles, agricoles, et urbaines contribuent d'une manière comparable à cette pollution.

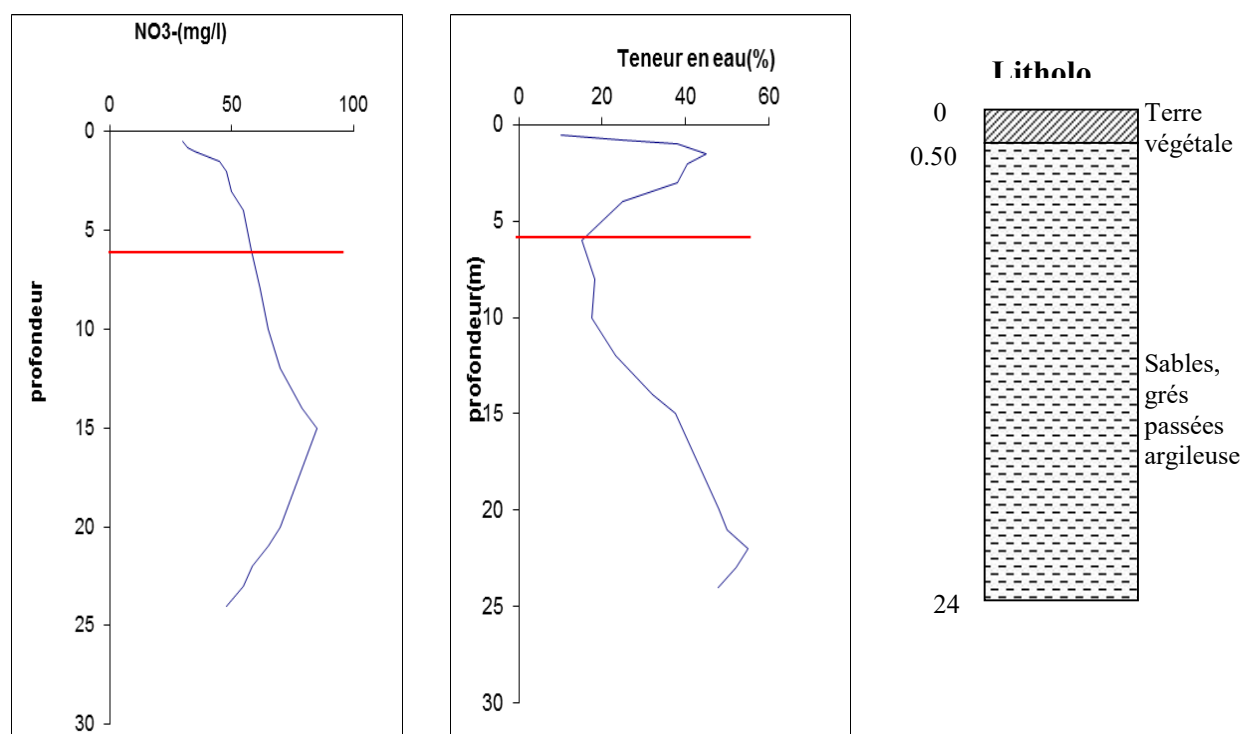
### 3. La zone non saturée (Sondages Carottés)

Les résultats d'analyses chimiques réalisés sur les eaux interstitielles obtenus sur les échantillons de sol des deux sondages carottés reportés sur le tableau N° IV.6 sont représentées sous formes des graphes (SD1 : figure V.7, SD2 : figure V.8).

Le carottage sur 24 mètres (SD1 et SD2) a permis de montrer l'existence d'un stock de nitrate situé essentiellement entre 2 à 3m jusqu'à 23 m de profondeur où les teneurs en nitrates dépassent la norme d'une eau potable (50 mg/l).

#### 3.1. Sondage SD 1 :

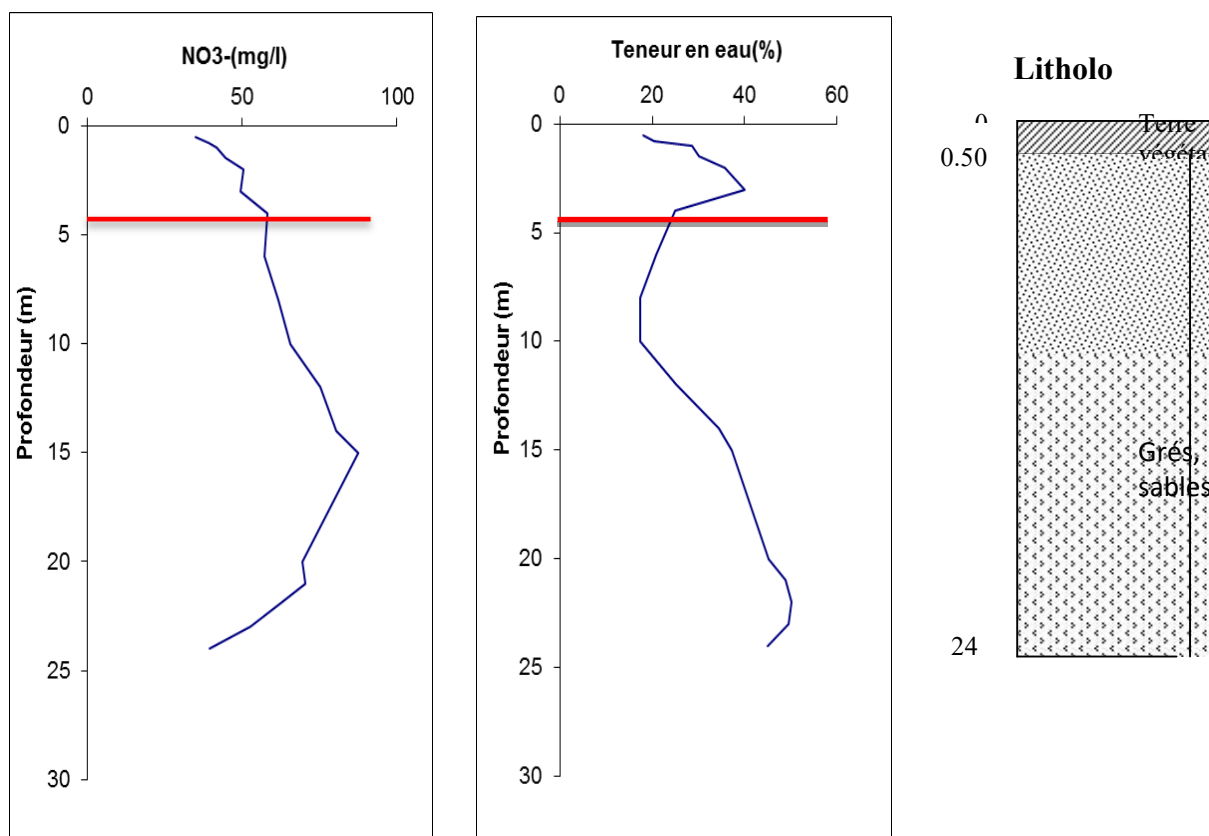
L'examen de la variation des nitrates en fonction de la profondeur, la teneur en eau et la lithologie des sondages suggère qu'il existe deux épisodes pluvieux (donc lessivage des nitrates).



**Figure IV.7 :** Profils des nitrates et teneur en eau du SD1 obtenus en 2009

Le sondage (SD1) (Figure V.7) montre un front d'humidité de 40% de 0 à 6 m de profondeur (probablement il s'agit d'un épisode pluvieux), ce qui lui correspond un front de nitrates (de 30 à 60mg/l). De 6 jusqu'à 13 m le transfert continue à augmenter d'une manière légère qui correspondrait à une pluviométrie moins importante (humidité <20%) et un taux de nitrates > 50 mg/l). A partir de 13 m de profondeur et jusqu'à 24m (proche du niveau statique) nous assistons de nouveau à une augmentation (un front profond ) des nitrates dans le profil qui atteint un pique de 80 mg/l vers 16 m de profondeur, ce qui correspond dans le profil à une teneur en eau de 35 à 55%.

### 3.2. Sondage SD 2 :



**Figure IV.8 :** Profils des nitrates et teneur en eau du SD2 obtenus en 2009.

On constate, d'après l'étude de ce profil de sol, une augmentation de la concentration en nitrate dans les quatre premiers mètres qui dépasse le seuil de potabilité (50 mg/l) et correspondrait à un épisode pluvieux où l'humidité dépasse 40%. De 4 à 10 mètres, on note une légère progression (le taux des nitrates >50 mg/l) et une diminution d'humidité (de 25 à 17%). Dans l'intervalle de 10 à 24 mètres, la concentration continue à augmenter, elle atteint un pic de 87 mg/l à 15 mètres de profondeur dont la teneur en eau varie de 17 à 55% (un autre épisode pluvieux conforme au premier sondage).

### 3.3. Conclusion:

Le transfert des nitrates dans la zone non saturée sur la région de Birkhadem (zone de recharge de la nappe de l'Astien), se fait d'une manière lente et continue (fonction de la lithologie du profil), Il est tributaire du transfert des épisodes pluvieux.

Ce mode de fonctionnement traduit un transfert par effet piston (Piston flow), c'est le mécanisme physique suivant : l'eau qui s'infiltré emplit la porosité du sol et pousse vers le bas l'eau déjà présente dans la roche et ainsi de suite.

Enfin au bas des profils réalisés, les teneurs en nitrates (80 mg/l) relevés reflètent celles mesurées immédiatement dans la nappe (80-100 mg/l).

#### 4. La Nappe :

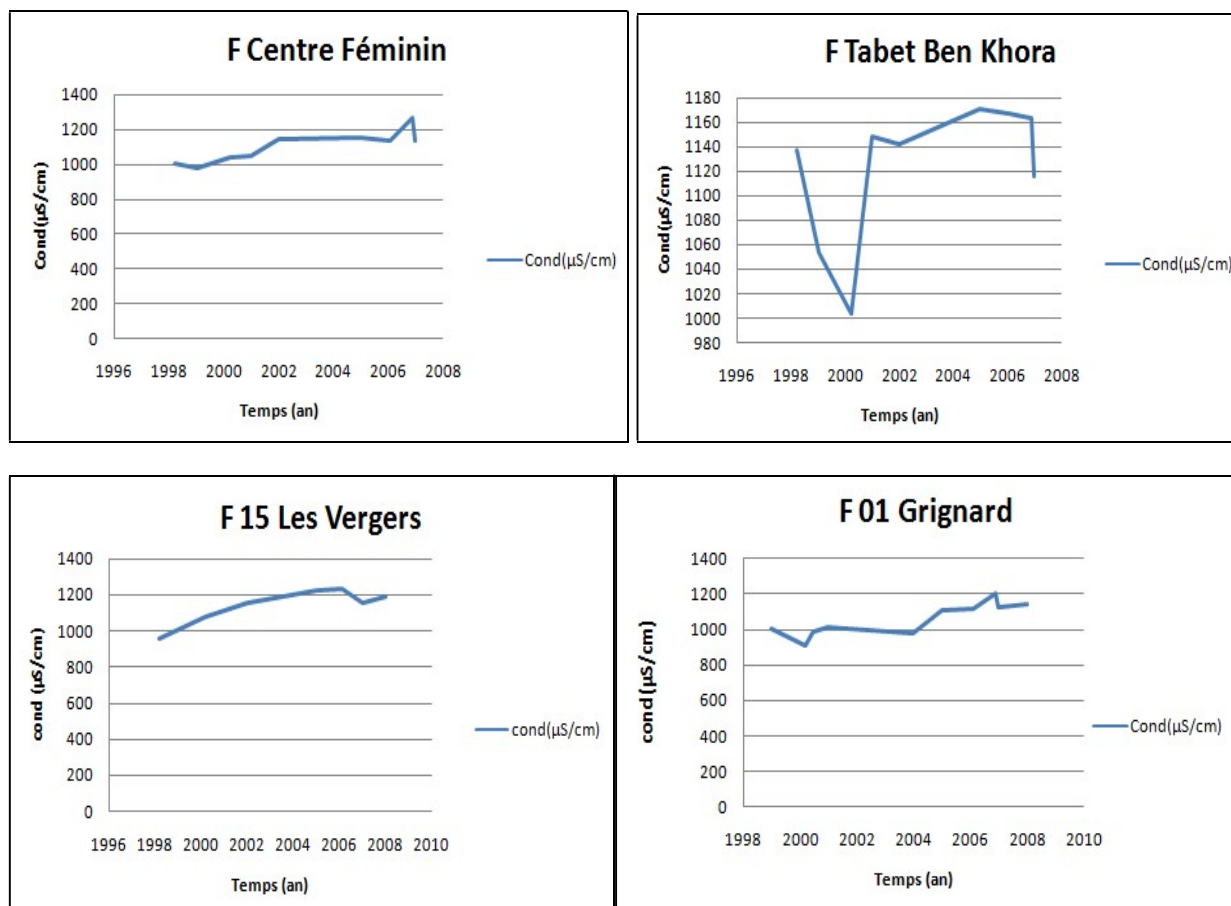
##### 4.1. Région de Bir Khadem :

Nous disposons dans la région de Bir Khadem de 14 points d'eau (forage et puits) qui ont été suivi d'analyse chimique de 1992 à 2008. Les teneurs en nitrates varie de 30 jusqu'à 180 mg/l



**Figure IV.9 :** Evolution des nitrates en fonction de temps

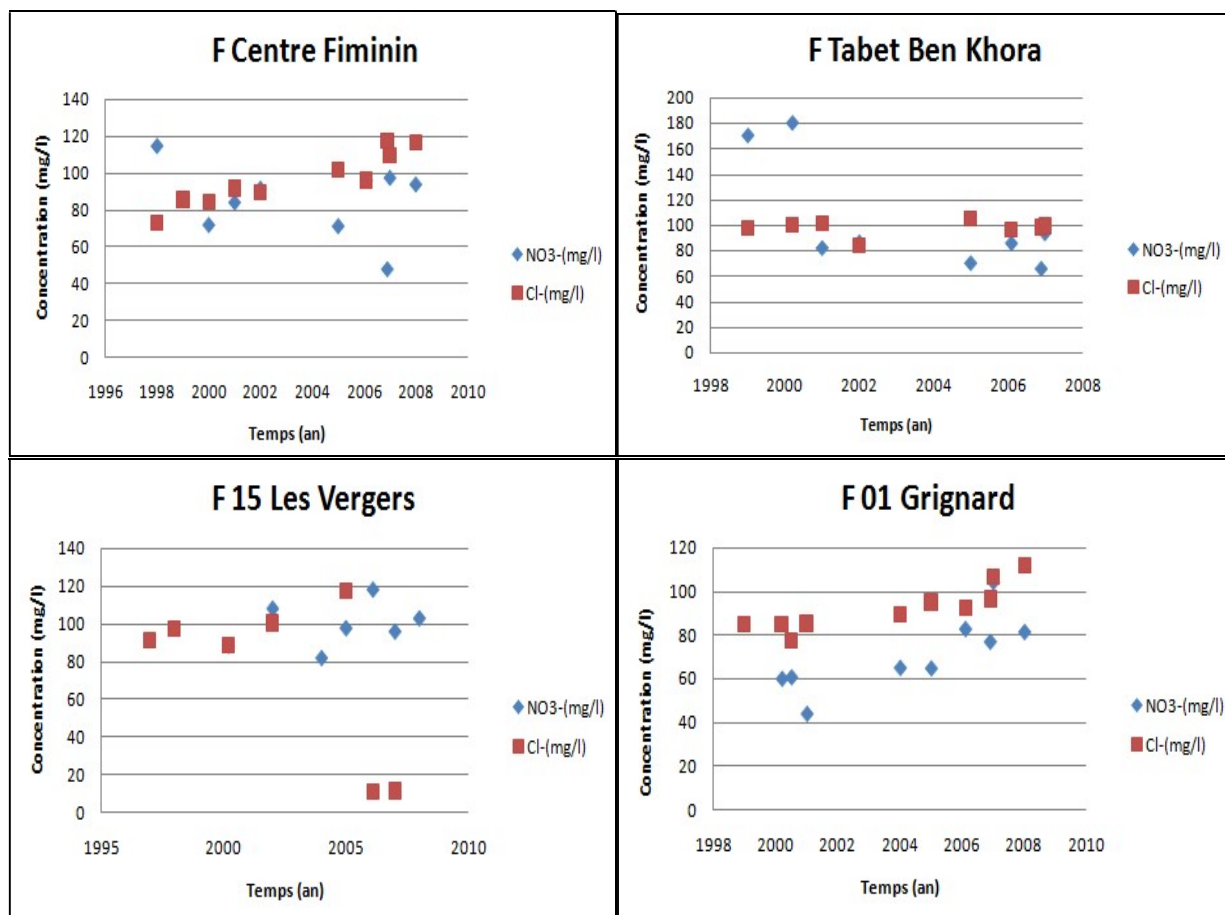
Dans l'ensemble des forages de Bir Khadem qui captent les eaux de la nappe de l'astien (zone de recharge) montre des teneurs en nitrates supérieures à 50 mg/l et atteint des valeurs jusqu'à 180mg/l (Tabet ben Khora). La variation temporelle (1998–2008) de ces teneurs est représentée sur la figure V.9, ces variations fluctuent autour d'une moyenne de 80 mg/l, ce qui est conforme aux teneurs en nitrates trouvés sur les profils des sondages carottés et explique donc le transfert à travers la ZNS (épaisseur une vingtaine de mètre) a pour origine les engrais azotés utilisés en quantité sur la région de Birkhadem.



**Figure IV.10 :** Evolution de la conductivité en fonction de temps

La variation de la conductivité en fonction du temps dans l'ensemble de ces forages est au moyenne de 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  la concentration de ce paramètre augmente d'une manière légère. La conductivité indique d'une manière indirecte la teneur de l'eau en ions, plus l'eau contient des ions comme le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), le bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ), le sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et le chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), plus la conductivité mesurée est élevée, donc l'exploitation des eaux souterraines au niveau de cette zone de recharge de la nappe astienne serait responsable de ce chimisme.





**Figure IV.11 :** Variation temporelle des teneurs en nitrates et en chlorures

La variation des nitrates et des chlorure sur la période comprise entre 1998 et 2008 présente une même tendance pour les deux paramètres, la variation des nitrates s'accompagne d'une augmentation des chlorure. La proportion des chlorures dans les forages de Bir Khadem est de 90 mg/l en moyenne où les valeurs varient de 11 à 118 mg/l, donc ils n'ont pas dépassé le seuil de potabilité (250 mg/l). Cette relative augmentation expliquerait pour les chlorures une évolution du chimisme des eaux en fonction de l'exploitation et pour les nitrates une utilisation plus grande et étendue des engrais pour les cultures sur toute la zone.

**Bibliographie :**

**Alain Dassargues** ; théorie de l'approche hydrogéologique des écoulements et transports en zone partiellement saturée 1997,p72

**André Musy, Marc SOUTTER** ; 1991, physique du sol, p1.

**Anrh-Blida ; 2011**, note sur l'évolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja (2005-2010), (M.Belaidi, hydrogeologie)

**Berne** , 2007; estimation du flux dans la zone non saturée, p13

**Christian Scheartz, jean Charles Muller, Jacques Decroux, 2005** ; guide de la fertilisation raisonné : grandes cultures et prairies, France.

**Eddy El Tabach, 2005** ; étude de l'impact d'une pollution agricole sur les ressources en eau souterraine p 23.24

**Fatma Lazrek Ben Friha ,2008** ; analyse de la diversité génétique et symbiotique des populations naturelles tunisiennes de *Medicago truncatula* et recherche de QTL liés au stress salin , thèse de doctorat ,toulouse.

**Gared MATABA. MPONGATE ,2010** ; Evaluation de la capacité de nitrification d'un sol sableux de Kinshasa : une contribution à l'étude de la dynamique de l'azote thèse d'ingénieur de Kinshasa .

**Gilles Lemaire, Bernard Nocolardot ,1996** ; Maitrise de l'azote dans la agrosystèmes Reins (France)

Guide pratiquei 2002 Fertilisation azotée de la pomme de terre .

**Guillaume Calu**, l'eau ,le sol et les plantes (dossier bibliographique),2004,p09

**Jacques Gallichand et Yuon Brochi**, 1983 : irrigation : chosage et moment d'application,

**Jean-François Moal. 1994** ; volatilisation de l'azote ammoniacal des lisiers après épandage, thèse de doctorat.

**Lausing M.prescott , Gohn P.Harley, Donald A. Klein; 2003**; Microbiologie .p616

**M BELAIDI, ANRH Blida, 2011** ; ANRH-Blida : 2011,Note sur l'évolution de la profondeur de la nappe de Matidja Awrees (2005-2010),(M. BELAIDI, HYDROGEOLOGUE)

**Marie-Hilène Perron, 2010** ; disponibilité de l'azote de biosolides de traitement de lisier de porc et deux Boues de papetière et émissions de N<sub>2</sub>O consécutives à leur épandage au champ, thèse de doctorat Québec (p,4) .

**Ndjaga Sow,2005** ;modélisation des écoulements en milieu poreux non saturé(p20)

**Omar MIMOUNI, 2010** ; les eaux de la région d'Alger risques de pollution et d'inondation .

**PATRICIA MERI GOUT ,2006** ; étude du métabolisme de la plante en réponse à l'apport de différents fertilisants et adjuvants. culturaux : Influence phytohormones sur le métabolisme azoté , these de doctorat paris .

**Pierre Pech** ; les transferts des versants aux lits

**Raoul Calver** ; le sol propriétés et fonctions( )constitution et structure , phénomènes aux interfaces ,2003,p84-86-87

**Raoul Calvet, 2003** ; le sol, propriétés et fonction Toure 2 : phénomènes physique et chimique (application agronomique et environnementales) (France Agricole).

**SCTE, 2009** ; rapport sur l'état d'avancement: des sondages carottes et des analyses chimiques et pédologiques réaliser sur les eaux intersticielles ,2009 rapport interne sur les taux des engrais azotés utilisés au niveau des cultures

**SEAAL, 2010** ; rapport de la mission sur les campagnes de prélèvement (compagne 2008) ; 2010.

**Stéphanie Szenknect** ; transfert de radioéléments en zone non saturée. Etude expérimentale et modélisation appliquées au site pilote de Tchernobyl ,2003,p11-23, 16

**Thierry Blondel, 2001** ; pollution souterraine : paramètres et paramétrage des modèles en écoulement et en transport de polluants.

**Valérie Gujisaite ,2008** ; transfert réactif en milieu poreux non saturé, p 27-29

**William G.hopkins , Charles-Marie ,Evard,2003** ; physiologie végétale

**Citographie :**

[1] : [http://www.ecosociosystemes.fr/eau\\_sol.html](http://www.ecosociosystemes.fr/eau_sol.html)

[2] : <http://members.unine.ch/philippe.renard/hydrogen/node50.html>

[3] :[http://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco15/pdf/Dakak%20H\\_Evaluation%20de%20l%27azote.pdf](http://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco15/pdf/Dakak%20H_Evaluation%20de%20l%27azote.pdf)

[4] : <http://138.102.82.2/agronomie/azote/glossaire.htm>

[5] : <http://www.carah.be/Actualites/carahNews/Cnews13-Info+.pdf>

[6] :<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/05-074.htm>

**Conclusion :**

Les nitrates, de part le cycle de l'azote, ont une origine naturelle provenant de l'action des bactéries nitrifiantes qui oxydent l'ammonium lors de la nitrification. De plus lors des orages, les décharges électriques produisent des ions nitrates par réaction entre le dioxygène et le diazote atmosphérique.

Ils vont, eux aussi, retourner au sol via les eaux de pluie. Mais la majorité des nitrates provient des activités humaines, de l'agriculture, de l'élevage mais aussi de l'assainissement et de l'industrie.

La pollution par l'ion nitrate, qui commence à devenir alarmante, est en définitive liée à la présence d'azote nitrique, en quantités élevées dans le sol et à son entraînement par les pluies et les irrigations drainantes.

La plupart des facteurs intrinsèques du milieu physique analysés et des facteurs dynamiques d'origines anthropiques et biogéochimiques accentuent le processus de pollution.

La réalisation de profils azotés au sein de la zone non saturée de la région de Bir Khadem, est un moyen simple et rapide de visualiser le stock de nitrates présent dans la zone non saturée de la nappe astienne et susceptible de rejoindre la nappe de la Mitidja.

La contamination des eaux souterraines par des polluants venant dans la plupart du temps du sol, dépend des processus de transport dans la terre non saturée. La méthodologie de ce travail consiste à étudier et à comparer ces trois pôles.

Dans la région Est de la Mitidja la pollution est due à la très forte activité industrielle couplée à l'activité agricole mais aussi aux rejets urbains qui y sont également très importants et à la multitude de dépotoirs et décharges sauvages dont elle est le siège. En fait, toutes les activités concourent à l'importance de cette pollution.

A l'ouest de la Mitidja, cette pollution moins prononcée qu'à l'Est, est due essentiellement à l'activité agricole, essentiellement à la fertilisation et secondairement à l'élevage, mais aussi aux rejets urbains et à la prolifération des décharges sauvages très répandues dans cette région.

Enfin, au centre de la Mitidja, l'ensemble des activités : industrielles, agricoles, les rejets urbains et les décharges sauvages concourent d'une manière comparable à cette pollution qui reste moins importante que dans les deux autres régions.

Cette pollution qu'elle existe au sol est transférée dans la zone non saturée et atteint la nappe. Les analyses réalisées sur les eaux souterraines et les eaux interstitielles de la région de Bir Khadem montrent l'existence de la pollution azotée dans les deux stades.