

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MENISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE DE BLIDA 1**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DES SCIENCES DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT**



**MEMOIRE**

**En vue de l'obtention du diplôme Master 2 en Hydraulique**

**Option : Sciences de l'eau**

**THEME**

***Recharge artificielle de la nappe du quaternaire de la Mitidja  
centre par***

***La technique des bassins d'infiltration***

Présenté par :

Djerad Hassiba

Devant le jury composé de :

- |                           |           |
|---------------------------|-----------|
| - M. BESSENESSE Mohamed   | Président |
| - M. GUENDOOUZ Abdelhamid | Promoteur |
| - M. BELAIDI Mouloud      | Examineur |
| - M. BELKACEM Filali      | Examineur |

Année Universitaire : 2014/2015

## Remerciements

*Je remercie dieu le tout puissant, pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté d'étudier et pour m'avoir permis de réaliser ce modeste travail dans les meilleures conditions.*

*Je remercie, en premier, mon promoteur, **M.GUENDOUZ A** pour le choix sujet et L'élaboration de travail Ses précieux conseils, critiques constructives et orientations, M'ont aidée à surmonter Ces difficultés et à mener ce travail à terme. Qu'il retrouve ici ma reconnaissance.*

*Mes remerciements également :*

- ❖ *A Mes très cher parent qui m'ont permis de poursuivre mes études*
- ❖ *A toute ma famille*
- ❖ *Aux ingénieurs et l'administration de L'ANRH Soumàa, plus particulièrement **Mr.bélaidi Mouloud***
- ❖ *Aux membres de jury qui me feront l'honneur d'examiner mon travail*
- ❖ *A tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail*



**HASSIBA 2015**



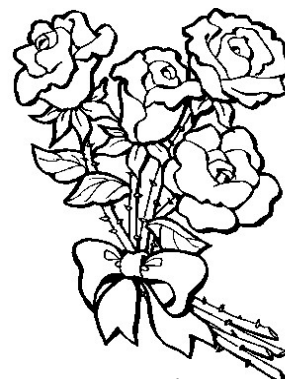
## Dédicace

*Ce modeste travail est dédié à mes chers parents qui n'ont jamais cessé de m'encourager et de me soutenir. C'est à eux que je dois ma réussite.*

- *A ma grand-mère et mon grand-père maternel*
- *A mes cousins et cousines*
- *A mes copines ; **DHJ, Samira, Fadhila, Ibtisame, Djamila, Fouzia, Nasima***

*A mon promoteur qui m'ont beaucoup aidé à la réalisation de ce mémoire*

*A tout mes camarades de classes et mes professeurs.*



**HASSIBA  
2015**





## RESUME

### ملخص

- 1
- 2 تغذية الاصطناعية للمياه الجوفية هي تكنولوجيا ناشئة عن الإدارة المتكاملة للموارد المائية، تستخدم بشكل متزايد لحل
- 3 المشاكل وإدارة الإمدادات وخصوصا في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. ومع ذلك، فإن تغذية المياه الجوفية الاصطناعية لا
- 4 تزال تطرح مشاكل بسبب خصوصيات كل طبقة من المياه الجوفية في طبقات المياه الجوفية التي يسهل اختراقها التقليدية.
- 5 الموضوع المعالج في سياق هذه الدراسة يخص التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية في منطقة متيجة الوسط
- 6 بتقنية التسربات في أحواض الشحن.
- 7 المنهجية المطبقة تحتوي على تطبيق طريقتي الهيدرو ديناميكية (تغير مستوى المائدة للمياه الجوفية) وتغير
- 8 الخصائص الكيميائية
- 9 وقد أكدت النتائج المتحصل عليها مساهمة (التغذية) على مياه الجوفية قرار الوادي (التوافق بين المائدة للمياه الجوفية
- 10 والاستجابة الكيميائية).
- 11 **الكلمات المفتاحية:** التغذية - أحواض الشحن- الهيدرو ديناميكية - المائدة.

12

### Résumé :

La recharge artificielle de nappe (RAN) est une technique émergente de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), de plus en plus utilisée pour résoudre des problèmes d'approvisionnement et de gestion surtout en zones semi-arides et arides. Cependant, la RAN pose encore bien des problèmes du aux particularités de chaque aquifère la plupart des cas la RAN est réalisée dans des aquifères conventionnels poreux.

Le sujet traité dans le cadre de ce travail est relatif à la recharge artificielle de la nappe de la Mitidja dans sa partie centrale par la technique des bassins d'infiltration.

La méthodologie adoptée consiste à coupler les méthodes hydrodynamiques (variation des niveaux piézométriques de la nappe du quaternaire) aux variations et caractéristiques chimiques des eaux de la nappe.

Les résultats obtenus ont permis de confirmer l'apport (recharge) effectif de la nappe par les eaux de la prise de l'oued (concordance entre la réponse piézométrique et chimique).

**Mots clés :** recharge-bassins d'infiltration – hydrodynamiques- piézométriques.

1

2

**Abstract:**

The artificial groundwater recharge (RAN) is an emerging technique for integrated water resources management (IWRM), increasingly used to solve supply and management problems especially in semi-arid and arid areas. However, the RAN still poses many problems of the particularities of each aquifer most cases they RAN is carried out in conventional porous aquifers.

The subject covered within the framework of this work relates to the artificial recharge of the quaternary aquifer of Mitidja in its central part by the technique of the basins infiltration.

Adopted methodology consists in coupling the hydrodynamic methods (variation of the piezometric levels of the quaternary aquifer) with the variations and chemical characteristics of water of the aquifer.

The results obtained made it possible to confirm the contribution (recharge) effective of the aquifer by water of the catch of the wadi (agreement between the piezometric and chemical analysis).

**Keywords:** recharge- basins infiltration – hydrodynamic- piezometric.

17

18

19

20

# **CHAPITRE -I -**

**LA RECHARGE ARTIFICIELLE**

**DES NAPPES :**

**ASPECTS BIBLIOGRAPHIQUES**

## **CHAPITRE -II -**

# **PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE**



## **CHAPITRE -IV -**

# **DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS**





# **Introduction générale**

# **Conclusion générale**

## **Introduction générale :**

On définit la gestion intégrée des ressources en eau ou GIRE comme l'ensemble des actions à conduire pour assurer une protection et une optimisation de l'exploitation des ressources disponibles afin que ces ressources puissent répondre aux besoins des populations de façon durable. Cependant, une application efficace de la GIRE nécessite une connaissance approfondie et très détaillée des ressources en eaux de surface et souterraines disponibles en termes de régime, réserve, qualité, étendue du bassin d'alimentation..

La recharge artificielle des nappes à partir des eaux de surface peut s'effectuer à partir d'un oued après l'installation d'une prise d'eau, implantée à partir de quelques travaux de terrassements ; ou encore au moyen de canaux élémentaires à creuser ou à aménager pour amener l'eau jusqu'à un bassin à creuser. Dans ce dernier, des puits empierrés sont creusés au préalable. Pour permettre l'infiltration de l'eau.

En période pluvieuse, quand des eaux s'écoulent dans l'oued, une partie de l'écoulement est détournée via les canaux jusqu'au bassin, ou elles s'infiltrent pour réalimenter la nappe. Les eaux détournées de l'oued ne rejoignent plus la mer mais l'aquifère, et constituent une réserve supplémentaire qui peut a priori être évaluée comme égale ou proche du volume détourné de l'oued. Au point de vue qualitatif, la qualité des eaux ré infiltrées dépend de la qualité des eaux de l'oued.

Le stockage souterrain via la recharge artificielle est un moyen non négligeable de compensation du déficit de la ressource, l'avantage essentiel reste celui de zéro évaporation de l'aquifère. Souvent économique, d'autres aspects de la recharge sont également favorables. Pour ces raisons, la pratique de la recharge artificielle augmente rapidement dans de nombreuses régions du monde. Dans ce domaine l'Algérie ne connaît pas une grande expérience pratique. Mais ces dernières années plusieurs projets pilotes ont été développés dans le but de déterminer l'influence que peut avoir la recharge sur le milieu souterrain, et dans l'espoir de voir ce processus atteindre une échelle beaucoup plus grande, afin de permettre la compensation du déficit en eau causé par la surexploitation des différentes nappes sur le territoire national, plus particulièrement la nappe de la Mitidja.

Dans ce travail on mettra en relief l'expérience de la recharge artificielle par les bassins d'infiltration de l'ARNH comme zone pilote. A partir de données récoltées au niveau de l'ARNH d' Alger et de Blida, et de la direction du programme GIRE algérois.

Le travail présenté, tire partie de la base de connaissance et des travaux de ces différents acteurs complémentaires. Son objectif est de coupler les données hydrodynamiques (fluctuations piézométriques) aux données hydrochimiques pour conforter ou bien infirmer les épisodes de recharges et la réponse de la nappe du quaternaire aux infiltration à partir des bassin, la structure du document est composée de :

Le chapitre I porte sur les généralités de la recharge artificielle, définitions, type de recharge, historique, et son utilisation dans le monde et la technique de recharge par les bassins d'infiltration

Le chapitre II présentera la plaine de la Mitidja sur différents aspects (géologique, Hydrogéologique, hydrodynamique etc. ....).

Le chapitre III sera dédié à la méthodologie adoptée et à la discussion et interprétation des données hydrodynamiques et hydro chimiques.

# RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES

## I.1. Aspects bibliographiques :

### Introduction

La recharge des nappes en service est fréquente dans de nombreux pays du monde, aussi bien en pays tempérés qu'en pays chauds et secs. En Algérie, ce type de projets n'a pas connu un grand développement. Mais la mauvaise gestion de la ressource en eau souterraine, et la surexploitation des nappes nous oblige à faire de la recharge un plan de récupération. Dans ce chapitre nous allons définir et présenter la recharge ainsi que les différents aspects qui la constitue.

#### I.1.1. Définition de la Recharge artificielle :

La Recharge Artificielle de Nappe (RAN), en anglais « Managed Aquifer Recharge » (MAR) consiste à faciliter la recharge d'une nappe en augmentant d'une façon intentionnelle et à l'aide de méthodes artificielles le volume d'eau entrant dans un aquifère pour rejoindre sa zone saturée. La recharge artificielle de nappe avec stockage, en anglais MARS (Managed Aquifer Recharge and Storage) est un système plus développé qui consiste à injecter dans un aquifère convenable et à le récupérer durant la période sèche ou selon la demande, c'est –à-dire utiliser le sous-sol comme réservoir souterrain. [1]

L'eau de recharge peut être naturelle (cours d'eau, collecte d'eau pluviale) ou traitée, provenant d'une centrale de désalinisation ou d'une station de traitement des eaux usées.

La technique de recharge artificielle de nappe comprend une grande variété de dispositifs qui seront exposés ci-après. Toutefois, elle se trouve dans la plupart des sources bibliographiques confondues avec les dispositifs qui en font partie, surtout les dispositifs d'injection par puits appelés ASR (Aquifer Storage & Recovery) et ASTR (Aquifer Storage, Transfer de ces dispositifs surtout aux Etats-Unis et en Australie. De fait des avantages et bénéfices qu'elles apportent, ces techniques connaissent de puis quelques années une expansion mondiale.

La recharge artificielle désigne le processus par lequel un aquifère reçoit un apport d'eau par

L'intermédiaire d'un dispositif aménagé à cet effet. L'objectif peut être l'accroissement des ressources ou l'amélioration de conditions d'exploitation (chimiques, hydrodynamiques). [1] Au sens le plus large, il s'agit d'un processus consistant à accroître les quantités d'eau qui alimentent naturellement les nappes. L'opération comprend donc intervention - fortuite ou volontaire – de l'homme et introduction directe ou induite - d'eau dans un aquifère. Cela se traduit soit par un effet volumétrique -emmagasinement d'eau - soit par un effet piézométrique- remise en pression - soit par les deux. A ce titre, on pourrait préférer le terme d' «alimentation» a celui de «recharge» d'usage plus généralisé parce qu'identique au mot anglais [2].

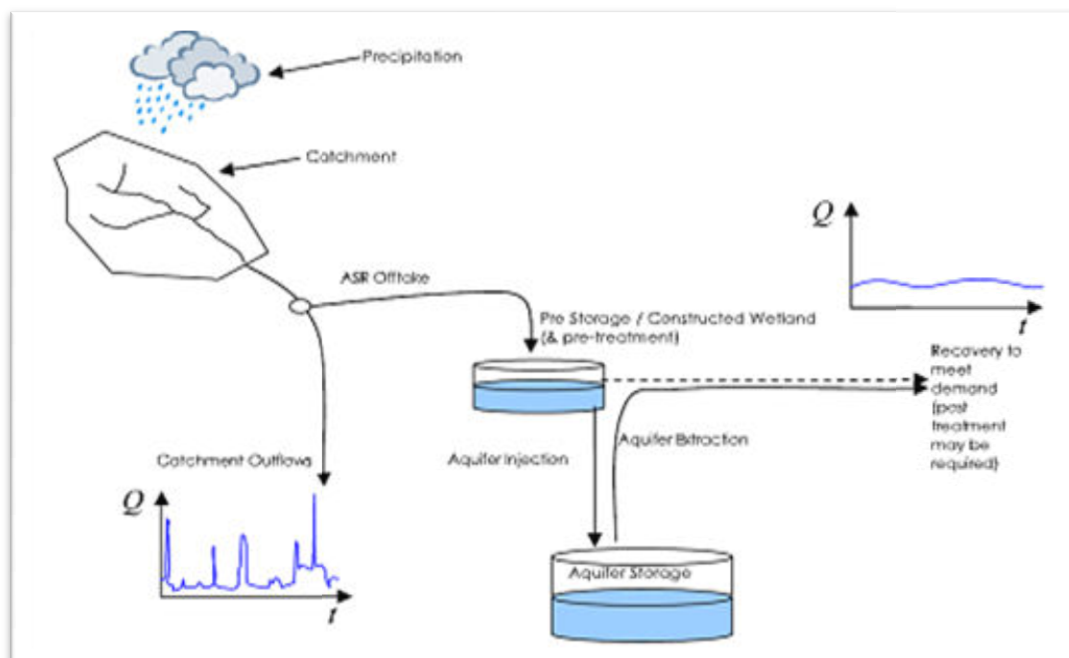


Figure 1 : le concept de recharge artificielle (Dillon, [www.csiro.com](http://www.csiro.com))

### I.1.2.Recharge planifiée et non planifiée :

La recharge est soit naturelle (principalement via l'infiltration directe de pluie dans les sols Perméables, mais aussi grâce a l'écoulement de surface), ou peut être gérés (par contour de labourage ; renforcement des levées, digues et barrages, étangs, canaux de détournement et puits afin d'améliorer la recharge), ou peut être accessoire (irrigation, évacuation des eaux

usées, des tuyaux qui fuient dans les villes, ou de dégagement de la végétation profondément enracinée).

#### **I.1.2.1.Recharge planifiée :**

La recharge naturelle (météorique) est le processus par lequel se forment les eaux souterraines Naturelles, en d'autre terme la différence entre les entrées d'eau dans le sol (précipitations et infiltration dans les cours d'eau, lacs ou autres plans d'eau naturels) et les sorties (évapotranspiration plus les eaux de ruissellement). La recharge naturelle est généralement de 30 à 50 % des précipitations dans les climats humides tempérées, 10 à 20 % des précipitations dans les climats de type méditerranéen et de 0 à 2 % des précipitations dans les climats secs.

Le Taux de réalimentation naturelle est reflétées par le temps de séjour des eaux souterraines, qui vari de quelque heures ou quelques jours dans les régions pluvieuses ou les eaux souterraines sont peu profondes dans les zones de fortes précipitations, des dizaines de milliers d'années ou plus dans un climat sec avec des niveaux d'eau souterraine profonde ou dans des aquifères confinés à des distances considérables dans les affleurements où ils sont rechargés. [3]

#### **I.1.2.2.Recharge non planifiée :**

L'alimentation non planifiée est causée par les activités humaines qui ne sont pas destinées pour la recharge des nappes en tant que tel. Ces activités comprennent l'évacuation des eaux usées par lixiviation de fosse septique ou fosses d'aisance et drainage ou percolation profonde des champs irrigués. [3]

### **I.1.3.Objectifs historique et inconvénients de la recharge artificielle :**

#### **I.1.3.1.Objectifs :**

Les objectifs de la recharge artificielle sont nombreux et si la satisfaction de besoins en eau croissants et la lutte contre l'intrusion d'eau salée sont les plus fréquents, les buts globaux de l'opération sont:

- l'utilisation, la conservation et la distribution des ressources en eau ainsi que leur contrôle et protection.

- Le stockage souterrain de résidus liquides en est également un aspect bien qu'on puisse difficilement le prendre pour une opération d'alimentation.

La régularisation semble l'un des aspects les plus séduisants et profitables de l'alimentation artificielle. Ainsi, la capacité de stockage de certains aquifères sera utilisée pour l'emmagasinement d'eaux de surface locales ou importées.

La construction de réservoirs de surface coûteux et sujets à destruction sera alors épargnée. Quant à l'eau injectée, elle sera pompée plus tard, soit dans la zone de recharge, soit le plus souvent en aval, en particulier lors des moments de pointe, les périodes d'irrigation par exemple.

Ainsi de telle mesure permet également d'éviter la construction d'un réseau d'adduction du point de stockage à celui d'utilisation puisque, par définition, tout aquifère transmet, par gravité ou par pression, les eaux qu'il contient des zones d'infiltration à celles d'exutoire. Il y a donc déjà là un avantage très substantiel sur la technologie des eaux de surface.

La conservation d'eaux de pluies excédentaires et la constitution de suppléments de ressources en eaux souterraines peuvent être facilement réalisées par recharge artificielle. De même, la restauration de pressions ou la reconstitution de réserves à la suite de surexploitation de nappes captives ou libres sont un but fréquent de la recharge. Dans ce cas, l'opération permet non seulement de compenser un débit de sécurité (Safe Yield) insuffisant mais aussi de pallier à une augmentation des hauteurs, c.-à-d. des coûts, de pompage. A la notion de débit de \*Cx sécurité, on pourra alors substituer celle de débit optimum qui correspond à des pompages plus intenses et autorise des perspectives de développement moins conservatrices tout en prévenant l'avènement de conséquences indésirables.

Ainsi, il y aura souvent intérêt à surexploiter un bassin pour ensuite le recharger, en particulier dans les zones arides et semi-arides où l'eau est un élément tellement important que l'on soit souvent tenté de le gérer dans une optique trop conservatrice. La gestion d'un bassin pourra donc souvent consister à déterminer l'existence ou la non-existence de surexploitation, puis à la créer dans des conditions optimales et enfin à la compenser par recharge afin d'assurer le rythme de développement prévu.

On se contentera de souligner qu'en matière de gestion des ressources en eau, l'avenir en Algérie est à la réutilisation: la recharge y aura sa place. **[2]**



### **I.1.3.2.Historique :**

Le recours à la méthode de la recharge artificielle n'est pas nouveau, En Afrique du nord, On en retrouve des traces en Tunisie où les Romains préparaient des terrasses en vue de retenir les eaux et faciliter leur infiltration. Mais si elle existe depuis fort longtemps, notamment en Europe et aux USA, elle reste malgré tout mal étudiée et développée. Le cas de la galerie drainante destinée à accroître les infiltrations en provenance de la Clyde et réalisée en 1810 pour alimenter Glasgow est peut-être un premier exemple de recharge indirecte. [4]

Il s'agissait déjà de la technique forte adroite qui consiste à placer un ouvrage près d'une limite alimentée afin de majorer son débit et qui, sous le nom de recharge induite, devait plus tard connaître de nombreux et brillants développements.

En 1821, la ville de Toulouse en France fut peut-être le premier organisme à pratiquer la technique du barrage de suralimentation dont une excellente application a été faite ces années-ci au Sénégal avec pour résultats réalimentation et arrêt d'intrusion salée. A Toulouse, le problème consistait à créer un barrage afin d'augmenter la charge vis-à-vis d'un bassin filtrant creuse près des berges du fleuve.

En 1888, toujours en Europe, l'illustre Thiem proposa un projet de recharge à la ville de Stralsund et en réalisa un pour celle d'Essen. Quelques années plus tard, Richter réalisa pour la ville de Göteborg. Des bassins qui fonctionnent toujours.

Quels que soient les mérites de l'Europe ... et des Romains dans les recherches et l'application de la technique, il faut tout de même admettre que c'est aux USA qu'elle a connu bien des pratiques et des progrès, notamment en Californie - en 1958, une cinquantaine d'agences avaient réalisé environ 300 projets et injectaient un milliard de m<sup>3</sup>/an.

Déjà en 1896, de l'épandage d'eau fut pratiqué en Californie par l'Irvine Ranch Compagnie. En 1898, Grunsky cite pour le Comté de Fresno en Californie, des infiltrations à partir de canaux d'irrigation de l'ordre de 20 à 250 l/s et même jusqu'à 1 500 l/s par mile de canal vers la nappe phréatique. Les travaux, divers et originaux, ne manquent pas. Pour n'en mentionner que quelques-uns, citons les réalisations de F.E. TRASK en Californie (1903), le drainage par

injection dans des couches profondes (Rider, 1906), la recharge induite en West Virginia (Hall, 1917), dans l'Iowa (Brick, 1924); les nombreuses réalisations du Los Angeles County Flood Control District des 1926, le recyclage des eaux d'égout (Goudey, 1930), les travaux de Oscar Meinzer, la récupération des eaux de crues (Babcock, 1942), l'injection des eaux de conditionnement d'air (Brashears, 1941 a New York), l'injection d'eaux salées (Cederstom, 1947 en Virginie); les réalisations de Harvey O. Banks et Finley B. Laverty, les travaux de DE WIEST Glover, Guyton, HANTUSH, JACOB Kazmann, Rorabaugh et Theis a propos de la recharge induite, Enfin l'activité de Baumann, Bianchi, Mitchelson, Muckel, Richter, Schiff, Sniegocki et Todd. Pour clore ce rapide et incomplet aperçu sur les Etats-Unis, mentionnons Max Suter et les fameuses gravières de Peoria, Illinois ou des infiltrations de 20 à 30 et même plus de 60 mètres par jour furent réalisées.

Enfin, remarquons qu'aux Etats-Unis, comme ailleurs, la recharge induite a eu une grande place dans la première moitié du siècle. Il s'agissait alors d'exploiter les nappes le plus adroitement possibles et non, comme maintenant, de faire face à des surexploitations c.-à-d. de créer des ouvrages destinés à injecter de l'eau dans le sous-sol. Par ailleurs, soulignons le grand nombre d'applications et de progrès réalisés dans l'Est des Etats-Unis trop souvent oubliés au profit de la Californie en matière de recharge.

En Allemagne, plus de 30 % des eaux domestiques proviennent de cette technique - les eaux souterraines en fournissant 61 % - aux Pays-Bas, les chiffres respectifs sont de 15 % et 65 %. En France, dans la seule vallée du Rhône, 8,5 m<sup>3</sup>/seconde font l'objet de recharge. En Israël, 130 millions de m<sup>3</sup> sont injectés chaque année, essentiellement en vue d'alimentation en eau. Aux USA, il s'agit de 2,5 milliards et le Californie Water Plan tient compte d'une capacité de stockage souterrain de 35 milliards de m<sup>3</sup> contre 25 milliards pour le stockage en surface. [4]

### **I.1.3.3. Inconvénients de recharge artificielle de nappe :**

Pour faire à peu près le tour de la question, il reste à signaler les problèmes spéciaux auxquels la recharge permet de faire face :

- a) drainage d'une nappe phréatique par injection dans des couches profondes ;
- b) réduction du débit d'une rivière ;

- c) régulation thermique d'une ressource en eau ;
- d) le stockage souterrain des résidus liquides peut provoquer des risques sur le sous-sol On raison de la nature physico-chimique de ces résidus liquides comme la détérioration de gisements minéraux et la dégradation d'eaux souterraines.
- e) problème du colmatage : le colmatage est lié à l'apport, l'eau infiltré, de fines particules qui colmatent les pores du sol, mais aussi à des réactions physico-chimiques ou biologiques dans le sol entraînant, par exemple, le gonflement des argiles ou la prolifération des bactéries ou d'algues créant un filme biologique, que l'on ne peut éliminer totalement car il participe à l'épuration des eaux infiltrées. [5]

#### **I.1.4.Facteurs de la recharge :**

Pour choisir le site de recharge qui permet d'obtenir les résultats cités jusqu'a maintenant, il y a deux paramètres qui jouent un rôle fondamental: les caractéristiques des eaux à injecter d'une part et celles du milieu récepteur (l'aquifère) d'autre part. Dans tout projet de recharge, il y aura donc lieu de considérer les conditions hydrologiques, topographiques, pédologiques, géologiques, hydrogéologiques et hydrodynamiques qui conditionnent cette réalimentation. Bien entendu, les aspects économiques et juridiques de l'opération ne peuvent pas être ignorés.

##### **A) Facteurs hydrologiques :**

Il s'agit tout d'abord d'analyser toutes les sources en eau possibles pour la recharge et de définir leur répartition en débit dans le temps et dans l'espace ainsi que le meilleur moyen de les gérer efficacement sur le site. Par conséquent, s'assurer des disponibilités adéquates en quantité et qualité au moment voulu. [2]

Un projet de recharge comprendra donc une étude des ressources en eau de surface locales et appréciera les possibilités d'importation. En effet, s'il est souhaitable que les eaux à injecter proviennent de cours d'eau proches du site, il n'est pas à exclure d'utiliser les ressources d'un bassin excédentaire. [5]

Mais le problème de la quantité n'est pas le seul, celui de la qualité est tout aussi – voire davantage important. L'eau à injecter devra être compatible autant que possible avec celle de

l'aquifère - mais on pourra, dans certains cas, imaginer de créer une zone tampon entre cette dernière et celle de la recharge. Quoiqu'il en soit, deux paramètres seront particulièrement importants à examiner: le résidu sec et le taux de matières en suspension. Les eaux trop chargées en matières en suspension, un des obstacles majeurs à la recharge, seront décantées jusqu'à une limite de 100 à 200 ppm par exemple dans le cas de bassins, et bien au-dessous dans le cas de forages. Cette limite peut-être calculée à partir de la formule de MURAVEV qui tient compte de la perméabilité de l'aquifère et de la surface crépinée du forage. Pour faciliter la décantation, on pourra procéder à une floculation mais si cela est rentable dans le cas d'eaux domestiques c'est en général trop cher dans celui d'eaux d'irrigation.

Le problème de la teneur en matières en suspension est donc souvent la pierre d'achoppement des projets de recharge. On dispose en effet rarement d'eaux claires, excepte dans les régions à sous-sol calcaire ou cristallin par exemple, mais plutôt d'eaux de crue très chargées notamment en zones semi-arides. Et c'est justement ces eaux-la qu'il est intéressant de récupérer.

### **B) Facteurs Topographiques :**

Ils ne jouent pas de rôle essentiel dans le cas d'ouvrages d'injection profonde; par contre, ils sont à considérer dans celui de recharge superficielle. Ce sont des pentes de l'ordre de 1 à 2 % environ qui seront en générales plus favorables.

Ce sont, en effet, souvent celles que l'on rencontre dans les portions les plus étalées et les plus Perméables des cônes de déjection et des lits des cours d'eau. D'autre part, dans le cas de pentes trop accusées, des hauteurs d'enceinte prohibitives deviendraient nécessaires pour limiter des bassins de volume convenable ou bien il faudrait un grand nombre d'enceintes de hauteur normale; cela mettrait en cause la rentabilité du projet. [2]

Le taux d'infiltration augmente avec la pente puis diminue; il est plus élevé a pente égale pour les sédiments des plaines côtières que pour ceux des cônes de déjection; pour ces derniers, les taux optima correspondent a des pentes plus fortes que dans le cas des plaines côtières. Quant à l'équation qui synthétise ces données, elle montre que le taux d'infiltration varie comme le logarithme de la pente.

### **C) Facteurs Pédologiques :**

Les caractéristiques des dépôts de surface sont loin d'être négligeables. Par exemple, plus la texture du sol sera grossière plus le taux d'infiltration sera élevé. Outre la texture, interviendront des paramètres tels que: perméabilité, profil et variations avec la profondeur, degré de compactage, présence ou absence de croûte calcaire ou de cuirasse ferrugineuse, de matière organique etc. [2]

Le pédologue aura donc son mot à dire dans les projets de recharge, notamment lors de la préparation de cartes de type des sols auxquels on affectera des caractéristiques chiffrées des taux d'infiltration. Des études sur l'origine et structure des sols, leur stratification, leur degré de cartographie seront à sa charge. Il aura également à définir la manière la plus parlante de synthétiser ses résultats compte tenu de l'objectif de recharge. [5]

### **D) Facteurs Géologiques et Hydrogéologiques :**

Outre une étude géologique générale, une analyse détaillée sera nécessaire afin de reconnaître et délimiter les réservoirs les plus adaptés à l'opération; géophysique et sondages en seront l'un des moyens.

Evidemment ces réservoirs sont rarement simples et s'ils ne sont pas très répandus en zones tempérées ou les sédiments sont souvent saturés en eau, ils le sont beaucoup plus en zone aride où les assises non saturées et épaisses sont monnaie courante.

L'analyse aura pour but de déterminer l'origine, la nature et l'extension des sédiments ainsi que leur aptitude à la recharge. Ainsi, il y aura lieu de définir le réservoir, ses profondeurs, structure, lithologie, limites horizontales et verticales et profondeur jusqu'au niveau de l'eau.

On devra aussi évaluer ses perméabilités horizontales et verticales qui devront être importantes, sa transmissivité, sa porosité et son coefficient d'emménagement ainsi que les variations de ces paramètres. On touche déjà à l'étude hydrogéologique qui devra établir la piézométrie, chiffrer le gradient hydraulique, apprécier le sens d'écoulement des eaux, définir les limites alimentaires et les exutoires, le réseau d'exploitation, la chimie de l'eau, le bilan hydrologique et chimique. Il faudra également évaluer quelle sera l'influence de la recharge sur ce réservoir, quelles seront les zones qui en profiteront et quand. Tous ces points n'ont pas la même importance et, par exemple, la transmissivité ``T``, le coefficient d'emménagement ``S`` et surtout leur rapport la diffusivité - joueront un rôle très notable.

En effet, il sera nécessaire que la recharge se traduise par une élévation du niveau de l'eau, ce qui est peut-être plus capital que la conservation du volume injecté. [1]

### **I.1.5.Moyens de recharge artificielle des nappes :**

On dispose généralement trois moyens pour la recharge d'artificielle des nappes [6]

- Recharge directe depuis la surface.
- Recharge directe de subsurface.
- Combinaison des méthodes de surfaces et de subsurface.

#### **I.1.5.1.Recharge directe depuis la surface :**

De nombreuses méthodes ont été développées afin de réintroduire artificiellement des de surface dans un aquifère depuis la surface parmi lesquelles en site :

- Dérivation de rivières ;
- Fossés et sillons ;
- Irrigation intensive ;
- Recharge par aspersion ;
- Aménagement de cours d'eau ;
- Bassins d'infiltration.

#### **I.1.5.2.Recharge directe de subsurface :**

- Fosses de puits ;
- Inondation de cavités naturelles ;
- Épandage souterrain ;
- Forage d'injection ;

#### **I.1.5.3.Le choix des différents moyens utilisé pour la recharge artificielle des Nappe :**

On a différents moyens pour les recharges artificielles des nappes [5]

##### **I.1.5.3.1.Recharge directe depuis la surface :**

L'application de cette méthode est souvent recherchée en raison de coûts généralement plus avantageux et problèmes d'opération et entretien moins complexes.

#### **I.1.5.3.2. Recharge directe de subsurface :**

On a généralement recours à cette dernière lorsque le sol est séparé des aquifères par des couches imperméables, lorsque qu'il est difficile de créer des aménagements de surface ou lorsqu'on ne peut ou ne veut, pour des raisons techniques ou économiques, recharger des nappes captives dans leur zone d'alimentation.

#### **I.1.5.4. Description de quelques méthodes de recharge artificielle :**

Les méthodes suivies pour la recharge artificielle sont :

##### **I.1.5.4.1. Recharge par injection directe dans les forages ou les puits pour atteindre la nappe**

Cette méthode d'alimentation se fait par l'intermédiaire d'un ouvrage dont la conception est identique à celle des ouvrages de pompage pour atteindre directement l'horizon imperméable.

[6]

##### **I.1.5.4.2. Recharge depuis la surface par infiltration des eaux à travers les filtres naturels du sol :**

C'est la méthode la plus simple pour obtenir des débits élevés avec un minimum d'aménagement physique sur le terrain. En effet, les surfaces nécessaires sont très importantes ce qui signifie une mobilisation de terrain très étendue, donc des coûts d'acquisition élevés.

Par contre, les charges d'exploitation seront beaucoup plus faibles que dans le cas d'une injection directe. Par ailleurs, le pouvoir d'autoépuration du sol joue un rôle prépondérant grâce à l'utilisation du réacteur du sol de la zone non saturée avec des vitesses d'infiltration peuvent varier de quelques centimètres à quelques mètres par jour et la hauteur du bassin sera plus de 0.4 mètres. [6]

#### **I.1.5.4.3.Recharge depuis la surface en utilisation des eaux usées pour la réalimentation :**

La réutilisation partielle et non contrôlée d'eau usée comme source d'eau brute, pour faire de l'eau potable est un phénomène très courant. Le cas le plus fréquent est représenté par l'utilisation d'eau de rivière avec la présence des rejets de station. Les eaux usées présentent une source intéressante pour lutter contre un problème comme celui de l'intrusion marine. [6]

#### **I.1.5.4.4. Recharge depuis la surface par l'aménagement des cours d'eau :**

Dans le but d'augmenter l'infiltration des eaux provenant des précipitations, un aménagement par des séduits installés le long des cours d'eau afin de briser l'énergie cinétique et diminuer la vitesse d'écoulement de ces eaux et en favorisant l'infiltration. [6]

#### **I.1.6.Méthodes d'estimation de recharge des nappes :**

Les méthodes d'estimation de la recharge des nappes sont :

##### **I.1.6.1.Méthode du bilan hydrologique :**

Il s'agit de calculer le taux de recharge annuelle en surface du sol, à partir de d'infiltration efficace dans le sol. Celle-ci est déterminée en utilisant l'équation du bilan hydrologique :

[7]

$$P=ETR+R+I$$

Ou :

**P** : précipitation totale moyenne annuelle en mm /an ;

**ETR** : évapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm /an ;

**R** : ruissellement moyen annuel en mm/an ;

**I** : infiltration efficace moyenne annuelle en mm /an =Rg(ou q) : recharge ou taux de rechargement.

L'évapotranspiration et la précipitation sont des données météorologiques. Le ruissellement dépend essentiellement de la perméabilité du sol. Évapotranspiration est calculée en fonction de la température et la lame d'eau précipitée.

En plus, l'évapotranspiration dépend de la nature et du type d'utilisation des sols. La méthode de calcul la plus utilisée pour l'évaluation de l'évapotranspiration potentielle est celle de



Thomthwaite (1948). Cette méthode est basée sur la corrélation entre la température moyenne annuelle et l'évapotranspiration réelle (ETR).

La détermination de l'évapotranspiration potentielle (ETP) est complexe et sa valeur réelle est supérieure à celle de l'évapotranspiration réelle (ETR). Plusieurs méthodes ont donc été développées pour l'évaluation d'une valeur plus réelle de l'ETR. Nous prenons comme exemple la méthode de Turc (1954) qui est très utilisée. Cette méthode est basée sur des études statistiques qui relient l'évapotranspiration aux précipitations et à la température et au pouvoir évaporant de l'atmosphère (L) calculé comme suit :

$$L=300+25T+0.05T^3$$

Ou :

L : pouvoir évaporant de l'atmosphère (sans unité) ;

T : température moyenne annuelle en °C.

Pour l'ETR, on a :

$$ETR= P/(0.9+(P/L)^2)^{0.5}$$

**ETR** : évapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm/an ;

**P** : précipitation totale moyenne annuelle en mm/an ;

**L** : pouvoir évaporant de l'atmosphère.

Il existe une autre formule pour calculer le taux de recharge de la nappe (q), ce dernier est donné par le produit de pluie moyenne (p) et d'un coefficient d'infiltration (Ci) : (6)

$$Q=P. Ci$$

Le débit d'alimentation ou débit de recharge (**Q'**) est alors donné par le produit de la pluie moyenne (**P**), de la surface (**S**) et d'un coefficient d'infiltration (**Ci**)

$$Q'= P.S.Ci=q.s.$$

### **I.1.6.2. Techniques géochimiques :**

Parmi ces techniques, on a :

#### **I.1.6.2.1. Technique des isotopes radioactifs :**

Développée depuis plusieurs décennies (le premier colloque sur ce thème a eu lieu à Tokyo en 1963), l'application des techniques nucléaires et isotopiques, notamment celles mettant en œuvre les isotopes radioactifs, a largement contribué à répondre à ces questions en améliorant la connaissance des mécanismes de recharge et de la dynamique des aquifères.

Il ne peut être actuellement envisagé d'étude complète de systèmes aquifères sans faire appel parallèlement aux méthodes de (l'hydrogéologie classique), aux techniques de la géochimie isotopique.

Des études antérieures se sont spécialement intéressées à l'utilisation des radio-isotopes  $^{14}\text{C}$  et  $^3\text{H}$ . Ces auteurs ont évalué l'alimentation de la nappe à partir de la vitesse de circulation de l'eau souterraine déduite des activités du  $^{14}\text{C}$ . [7]

#### **I.1.6.2.2. L'estimation de la recharge en utilisant le bilan de masse du Cl<sup>-</sup> (chlorure) :**

L'estimation de la recharge a partir de chlorure se fait à l'aide de la formule suivante on considère comme hypothèse que tout le chlore ( $\text{Cl}^-$ ) est dérivé de l'atmosphère [9],[8] :

$$R_g = P \cdot C_p / C_s$$

Ou :

$R_g$  : recharge ou taux de rechargement =  $q$  (mm/an) ;

$P$  : est la pluie moyenne (mm/an) ;

$C_p$  : est la concentration moyenne du Cl dans l'eau de pluies en mg/l (3mg/l pour l'Algérie) ;

$C_s$  : est la concentration moyenne du Cl dans l'eau interstitielle de la zone non saturée en mg/l.

#### **I.1.6.2.4. Comparaison entre les trois méthodes géochimiques :**

Sur les trois méthodes de traceurs possibles (isotopes radioactifs, isotopes stables et chlorures) la méthode du chlorure attire plus spécialement parce qu'il est le traceur le moins coûteux pour l'estimation de recharge. [8]

#### **I.1.6.3.3. Méthode hydrodynamique :**

Dans la méthode hydrodynamique, la recharge est déterminée par le calcul de flux de l'eau souterraine. Ce flux est déterminé par des mesures séparées du gradient hydraulique et de la conductivité hydraulique. [7]

#### **I.1.6.3.4. L'estimation de la recharge par des modèles numériques :**

La modélisation numérique des recharges des nappes a déjà fait l'objet de nombreuses recherches. Plusieurs modèles numériques sont développés afin d'évaluer le taux de recharge des nappes et de définir le mécanisme de processus. [7]

La modélisation d'aquifère par un maillage rectangulaire en régime transitoire pour le calcul de la recharge est utilisée avec la méthode des différences finies et celle des éléments finis.

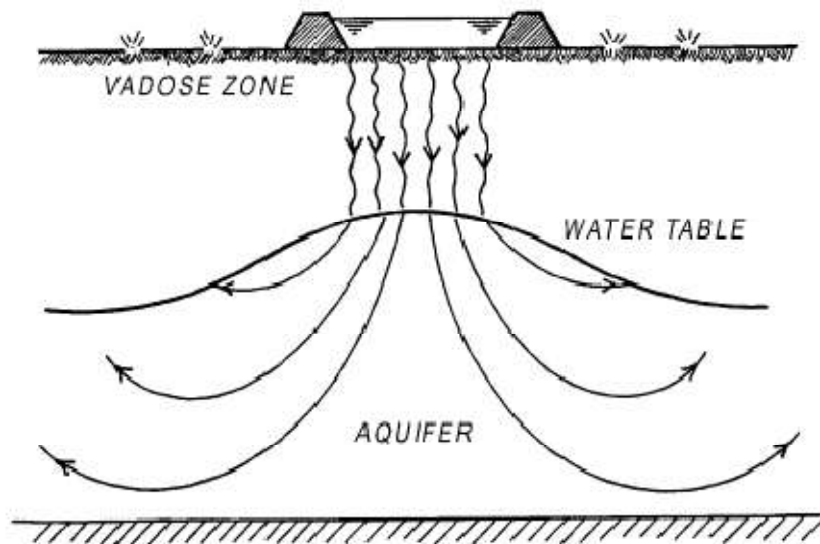
#### **I.1.7. Types de recharge artificielle :**

##### **I.1.7.1. Ouvrages de Recharge Superficielle (infiltration de surface) :**

###### **I.1.7.1.1 Bassins d'infiltration [1]**

Ce sont des bassins spécialement construits en Lagunes (fig. 2), anciennes gravières, irriguées par l'inondation des champs, tuyaux perforés, ou tout autre établissement où l'eau est mise ou se propage sur le terrain pour l'infiltration dans le sol et mouvement sous-jacent des eaux souterraines.

Les systèmes d'infiltration de surface nécessitent un sol perméable pour obtenir des taux d'infiltration élevés et minimiser les exigences de la terre. Là où les sols perméables sont plus profondément vers le bas et les terrains morts moins perméables ne sont pas très épais, les terrains morts peuvent être enlevés afin que le fond du bassin soit dans le matériau le plus perméable. Les Zones insaturées ou "vadose" — ceux au-dessus de la nappe phréatique — devraient être libres de couches d'argile ou d'autres matériaux à texture fine qui limitent l'écoulement vers le bas et forment des eaux souterraines perchées (eaux souterraines présentes en charge par une zone de matériau de faible perméabilité située au-dessus d'un corps principal sous-jacent de l'eau souterraine) qui détrempe la zone de recharge et réduit le taux d'infiltration.



**Figure 2 : Bassin d'infiltration [1]**

Ces structures, sont le plus souvent construites avec des matériaux locaux, peuvent être permanentes ou temporaires, fonctionner continuellement ou par intermittence, être placées dans le lit d'un cours d'eau (pays semi-arides) ou à côté. Un point important est celui de la pente de leurs parois. Il s'agit en effet d'obtenir le maximum de surface mouillée et par conséquent des pentes de 1/3 sont souvent préférées à celles de 1/2 par exemple. Leurs capacités sont variables 0,3 à 3 à 5 mètre/jour, et même davantage, d'eau infiltrée mais le plus souvent 1 mètre environ.

Les aquifères devraient être confinées et suffisamment transmissive pour permettre l'écoulement latéral des eaux infiltrées loin de la zone de recharge sans formant des monticules de hautes eaux souterraines qui interfèrent avec les processus d'infiltration.

#### **I.1.7.1.2 Amélioration du Lit des Cours d'Eaux**

L'utilisation du lit des cours d'eau est un moyen souvent efficace et rentable pour procéder à la recharge artificielle. D'une part, il s'agit souvent la des zones d'alimentation naturelle des nappes et par conséquent le site est déjà trouvé; d'autre part, on rencontre la des matériaux hautement perméables notamment en zones semi-arides. L'opération consiste à aménager le lit du cours d'eau en l'élargissant pour augmenter la surface mouillée, ou en construisant des digues pour dans le but de ralentir l'écoulement superficiel et favoriser une meilleur infiltration.

### **I.1.7.1.3 Fosses et Canaux**

Il s'agit d'un système de fosses à fond plat qui sert à transporter l'eau et à faciliter son infiltration. Il est avantageux de le concevoir lorsque le sol est caillouteux, la pente trop forte pour autoriser l'installation de bassins et la charge en matières en suspension élevée.

### **I.1.7.1.4 Gravière**

On peut distinguer les carrières de sables et graviers abandonnées et celles construites dans un but de recharge. Dans les deux cas il s'agit de dispositifs aux parois abruptes et profondes - 5,10 a 20 mètres - par rapport à la surface.

### **I.1.7.1.5 Epannage de Crues**

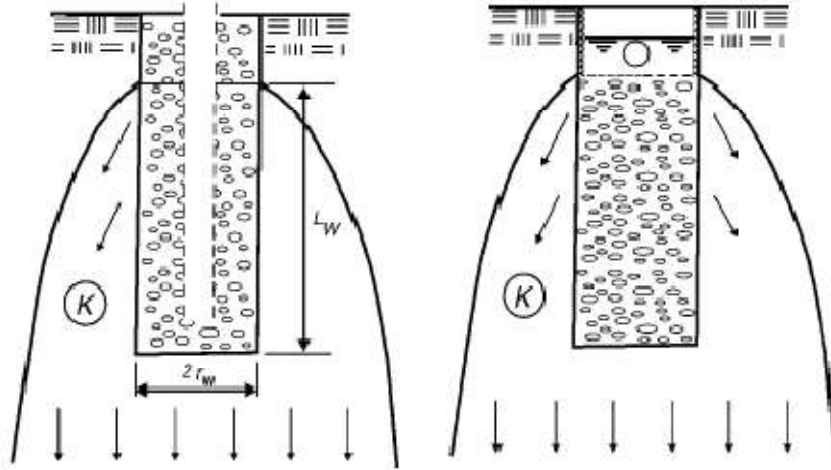
Dans les zones où les pentes sont faibles et uniformes, on choisira de répandre l'eau en une lame mince et continue. L'écoulement sera contrôlé à l'aide d'ouvrages placés à des endroits privilégiés où protéger.

### **I.1.7.1.6 Sur-irrigation**

Il s'agit d'appliquer davantage d'eau que n'en demandent les cultures afin d'assurer un «return-flow» maximum vers la nappe. Il est donc nécessaire de disposer de débits excédentaires lors des périodes d'irrigation.

## **I.1.7.2 Ouvrages de Recharge Profonde [1]**

Là où les sols suffisamment perméables et/ou les superficies suffisantes pour les systèmes d'infiltration de surface ne sont pas disponibles, la recharge des eaux souterraines peut être réalisée avec un système d'infiltration verticale, comme le puits dans la zone insaturé. Seuls ces ouvrages permettent de recharger des nappes captives.



**Figure 3: Puits d'injection profonde [1]**

### **I.1.7.2.1 Puits, tranchées et Forages d'injection**

Les puits de recharge ou injection directes sont utilisés lorsque les sols sont suffisamment perméables et les superficies suffisantes pour l'infiltration de surface ne sont pas disponibles. Les aquifères réellement captifs pourraient encore être rechargeables, car ces aquifères reçoivent et donnent de l'eau par l'expansion et la compression de l'aquifère sur lui-même et, particulièrement des couches d'argile interstratifiées et aquitards plus compressible que les sables et les graviers ou les matériaux consolidés de l'aquifère. Les débits absorbés sont variables, souvent entre 10 et 80 litres/seconde et bien davantage. En résumé, l'injection par forage, si elle est délicate, est une technique qui a fait ses preuves, offre de bonnes perspectives et reste à étudier et développer davantage. [9]

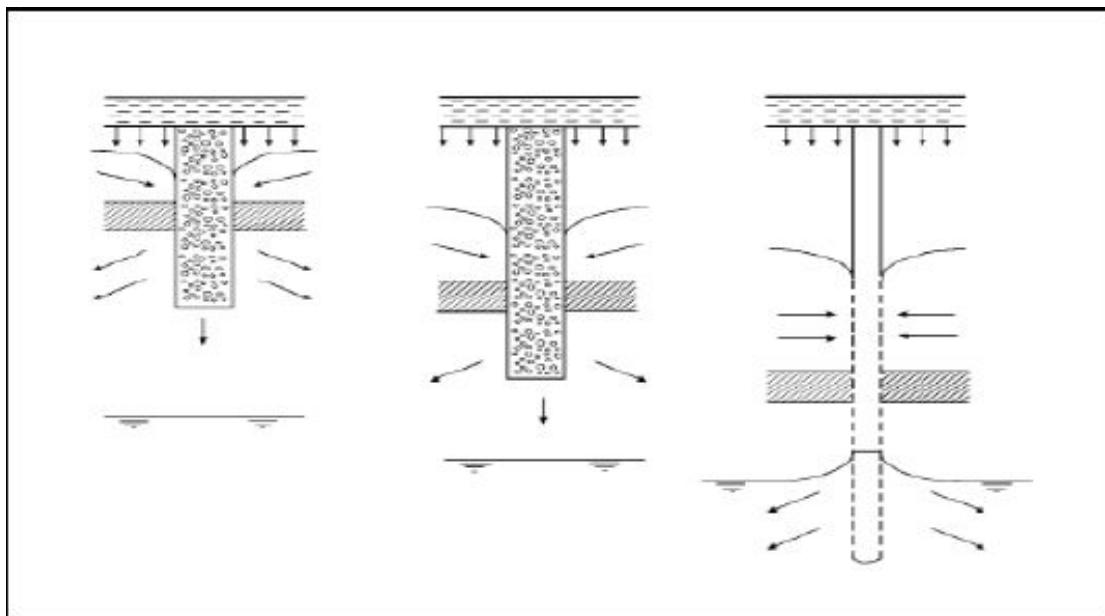
Les systèmes d'infiltration verticale, comme les tranchées ou les puits dans la zone de non-saturation.

Les tranchées sont creusées avec une pelle rétro-caveuse et sont généralement moins de 1 m de large et jusqu'à environ 5 m de profondeur. Ils sont remblayés avec un sable grossier ou des graviers fins.

L'eau est normalement passée à travers une conduite perforée sur la surface du remblai et la tranchée est couverte pour des raisons esthétiques.

L'eau utilisée pour l'injection par puits est généralement traitée pour répondre aux normes de qualité de l'eau potable pour deux raisons. L'un est de minimiser le colmatage d'interface

puits - aquifère et l'autre est de protéger la qualité de l'eau dans l'aquifère, surtout lorsqu'il s'agit des forages pour les utilisations potable.



**Figure 4: les trois types de systèmes de recharge des aquifères : infiltration surfacique (à gauche), puits en zone insaturé (au milieu) et puits d'injection (à droite)**

#### **I.1.7.2.2 Drains**

Ils sont bien moins répandus que les précédents. On pourrait citer ceux utilisés dans la plaine côtière en Israël et places à 100 mètres d'intervalle à 10 mètres sous le niveau de l'eau [9]

## I.1.8. Aspects de la gestion

### I.1.8. 1 Le colmatage :

Le principal problème dans les systèmes d'infiltration pour La Recharge artificielle des nappes est le colmatage de la surface d'infiltration (fond du bassin, parois des tranchées, des puits de la zone insaturée et l'interface puits-aquifère dans les puits d'alimentation) entraînant ainsi la réduction des taux d'infiltration. Le colmatage est causé par des processus physiques, biologiques et chimiques. [10]

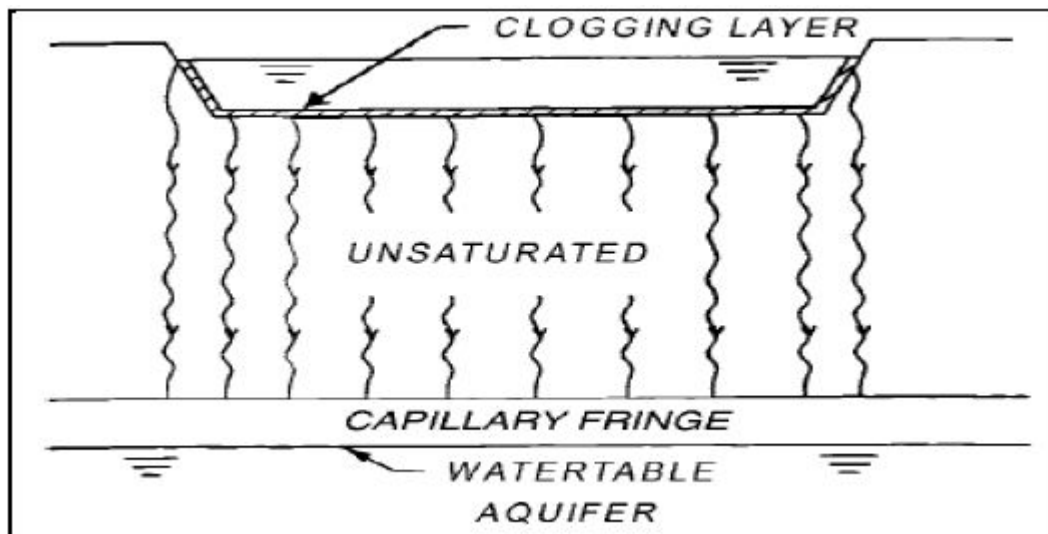


Figure5: bassins d'Infiltration avec couche de colmatage

- Le processus physique inclue l'accumulation des solides inorganiques et organiques en suspension telles que les particules d'argile et de limon, les cellules d'algues, les cellules des microorganismes et de fragments, et les troupeaux de boues dans les effluents d'eaux usées dans la recharge de l'eau. Un autre processus physique est un mouvement descendant de fines particules contenues dans l'eau appliquée ou dans le sol lui-même. [11]

- Les processus de colmatage biologiques comprennent l'accumulation d'algues et de troupeaux de bactéries dans l'eau sur la surface d'infiltration ainsi que la croissance de microorganismes sur et dans le sol, formant des bio-films et la biomasse (y compris les polysaccharides et autres produits finaux métaboliques) qui bloquent les pores ou réduisent la taille des pores. [11]



- Les procédés chimiques comprennent la précipitation du carbonate de calcium, gypse, phosphates et autres produits chimiques sur et dans le sol. Parfois ces précipitations sont induites par l'augmentation du pH causée par des algues qui éliminent le CO<sub>2</sub> dissous dans l'eau pour la photosynthèse. Les bactéries produisent également des gaz (azote, méthane) qui bloquent les pores et s'accumule sous les couches de colmatage pour créer des barrières de vapeur à l'infiltration. [1]

#### **I.1.8.2.2 Le taux d'infiltration :**

Parce que le taux d'infiltration varie inversement avec la viscosité de l'eau, il est aussi affecté par la température. Dans certaines régions, les différences de températures sont très importantes entre l'été et l'hiver, ce qui affecte la viscosité de l'eau.

Les taux d'infiltration en hiver sont plus faibles de celles en été (environ la moitié).

Ainsi, les systèmes d'alimentation doivent être conçus sur la base des taux d'infiltration et des conditions hivernales, lorsque l'eau est plus froide et le taux d'infiltration est plus bas. Cependant, l'activité biologique et le colmatage qu'il provoque pourraient être plus élevés en été. [3]

Ces effets sont difficiles à prévoir et le meilleur moyen pour obtenir des informations de conception et de gestion adéquates pour un projet de grande envergure est l'installation d'un essai pilote pour notre système de recharge parce que le rendement des systèmes de recharge dépend des conditions local du sol, l'hydrogéologie, climat et la qualité de l'eau. La règle d'or de la recharge artificielle est de commencer petit, apprendre et étendre pour satisfaire les besoins.

#### **I.1.8.2.3 Contrôle du colmatage :**

Le colmatage est contrôlé en réduisant les paramètres qui le provoquent [3]:

- Pour les eaux de surface, cela signifie généralement une pré-sédimentation pour régler l'argile, le limon et d'autres matières solides en suspension.
- Pour la recharge de puits, la filtration à sable ou membrane pourrait aussi être nécessaire.

- La croissance des algues et autres colmatage biologiques dans les bassins sont réduits en supprimant les éléments nutritifs (azote et phosphore) et carbone organique dans l'eau. Cette réduction est également importante lorsque les puits sont utilisés pour la recharge avec les effluents d'eaux usées ou l'eau contaminée par les effluent.

- Désinfection au chlore ou autres désinfectants avec effets résiduels réduit l'activité biologique sur et près des murs de puits ou de tranchées et, par conséquent, réduit le colmatage.

Cependant, malgré un prétraitement de l'eau de recharge, le colmatage persiste en raison de la croissance des algues et des bactéries autotrophes, la poussière étant soufflé dans le bassin et d'autres facteurs.

Pour l'infiltration de surface, le colmatage des systèmes est également contrôlés par séchage périodique des bassins ou autres installations de l'infiltration, laissant ainsi la couche de colmatage sèche, décomposé, rétractable, fissuré et pelotonner. Cette procédure est généralement suffisante pour rétablir le taux d'infiltration à une valeur satisfaisante. Si les matériaux de colmatage continuent de s'accumuler, ils doivent être périodiquement enlevés à la fin d'une période de séchage. Cette suppression est effectuée mécaniquement avec des grattoirs, chargeuses, niveleuses, ou manuellement, avec des râtaux. Pour les eaux de surface de bonne qualité avec des matières solides en suspension très faible et de matériaux de sols grossiers dans le bassin de la recharge, le séchage et le nettoyage pourraient être nécessaires seulement quelques fois par an ou même moins fréquemment.

### **I.1.9. Expérience internationale dans le domaine de la recharge**

La Recharge artificielle des nappes a été appliquée avec succès dans de nombreux pays. Un classement provisoire selon les objectifs principaux et les types de schéma dans 13 pays sont présenté dans le tableau 1. [12]

Pays	Objectif											
	Stockage			contrôle de salinité			Amélioration de qualité			Niveau piézométrique		
USA	■	■	■			■		■		■		■
Finlande										■		
Suède								■				
Allemagne		■		■					■			■
Australie	■	■	■							■		■
Denmark	■							■				
Pays-Bas	■	■	■	■		■			■	■		■
Autriche								■			■	
Egypte								■	■	■		
Amérique latine	■			■				■		■		
Oman	■				■							
Royaume-Uni				■						■		
Technique	■	Bassin	■	Puits	■	IER	■	Infiltration de banque (induite)				

IER: L'injection et la récupération dans les mêmes puits

**Tableau 1:** Objectifs et régimes adoptés pour La Recharge artificielle des nappes. [12]

### I.1.9.1. Recharge artificielle au Pays-Bas :

Aux Pays-Bas, la technique de l'infiltration des eaux de surface dans les aquifères phréatiques a commencé à petite échelle en 1940. Dans les années 1950, grands projets ont été établis pour satisfaire les besoins en eau des parties occidentales du pays le long de la côte de la mer du Nord où l'extraction d'eau souterraine est restreinte en raison de l'intrusion des eaux salées et un abaissement de la nappe phréatique. En 1990, le volume de la recharge était de 180 millions de m<sup>3</sup>. De ce montant, 97 % est prétraitée, 96 % est infiltré dans une zone de dunes et 89 % est transporté sur plus de 50 km de retrait de l'eau rechargées répond à 22 % de la demande totale d'eau des Pays-Bas [13].

### I.1.9. 2. Injection et la récupération dans les mêmes puits (IER) :

La méthode IER est probablement l'une des dernières méthodes dans le stockage souterrain. Les recherches sur les systèmes d'alimentation ont commencé aux États-Unis la fin des années 1940, menée par le « U.S. Géologique Survey ». En 1969 la première IER ont commencé à bien fonctionner (et est toujours) à Wedgwood, New Jersey. Plus succédant à IER puits ont

été construits depuis le début des années 1980. Aux États-Unis (69 sites) et Australie (7 sites) sont les plus connus utilisateurs de systèmes d'ASR, mais d'autres pays qui exploitent des systèmes de l'IER sont le Royaume-Uni (deux sites), Canada (un site), Israël (deux sites). Le plus grand nombre de sites ont été prévus dans les pays mentionnés ci-dessus (au moins 100 sites). Les programmes de développement et de tests IER sont en cours dans de nombreux pays plus tels que : les Pays-Bas, Nouvelle-Zélande, Thaïlande, Taïwan Koweït, Afrique du Sud et Inde. [13]

### **I.1.9.3. Applications de la recharge artificielle dans la région du golfe :**

Les extraits suivants par Payne (2001) ont été pris directement d'un rapport présenté au Symposium International Leadership Sharjah. C'est un bon résumé du développement des activités de la recharge artificielle dans la région du Golfe:

Les Technique de IER est relativement nouvelle pour la région du Golfe. La première étude de faisabilité d'IER a été faite au Koweït en 1989 dans le champ de captage de Sulaibiya, et plus récemment des études ont été lancées au Qatar. Cependant, les auteurs ne sont pas au courant de tout captage IER d'exploitation dans la région du Golfe. Par conséquent, il serait approprié d'acquérir la confiance en la viabilité régionale de cette technologie par le développement et la mise en œuvre d'un programme de démonstration à grande échelle, fondée sur une expérience satisfaisante avec captage semblable à d'autres sites à l'extérieur de la région du Golfe. L'objectif initial, serait donc l'identification des endroits dans la région du Golfe où l'IER serait plus bénéfique. Le grand avantage de l'IER dans les pays du golfe est de minimiser les couts en utilisant cette technologie qui est beaucoup plus économiques que le dessalement. [13]

### **I.1.9.4. Recharge artificielle en Palestine :**

Le manque d'eau douce est devenu un problème de plus en plus en Palestine. La demande en eau est presque deux fois de plus des ressources disponibles et devrait. Une étude de cas de la réutilisation de l'eau dans la bande de Gaza par la recharge artificielle est résumée ci-après ; La bande de Gaza est densément peuplée contenant une zone d'environ 23 % qui est complètement dépendante des eaux souterraines. L'aquifère côtier, qui s'étend de Haïfa dans

le nord jusqu'au la péninsule du Sinaï au sud, est la principale source d'eau. La quantité renouvelable qui rafraîchit l'eau souterraine est de 98 Mm<sup>3</sup> par an, dont 46 Mm<sup>3</sup> d'infiltration directe des eaux de pluie. Le reste vient du reflux de l'irrigation, les fuites des eaux usées dans les zones et autre sources.

Actuellement, l'abstraction total pour l'usage domestique et agricole est 145 Mm<sup>3</sup> mais devrait Inévitablement augmenter. Le déficit en ressources en eau continue d'entraîner la détérioration de la qualité de l'eau. La première source d'eau provient des eaux usées traitées. Actuellement, il y a deux usines principales d'épuration qui peuvent être utilisées pour la recharge artificielle. Sur le total de 12 Mm<sup>3</sup>/an des effluents seulement 3.3 Mm<sup>3</sup> sont déviées vers les bassins d'infiltration. Le reste se déverse dans la mer.

La deuxième source vient du débit des tempêtes. Il y a deux endroits dans la bande de Gaza où les eaux pluviales sont recueillies et recharge l'aquifère par le biais des bassins d'infiltration. Un troisième projet est exécuté avec une capacité prévue de 3 Mm<sup>3</sup>. D'autres propositions impliquent la redirection d'eau des l'Oued en bassins d'infiltration. [12]

#### **I.1.9.5. Application de la IER en Royaume-Uni :**

L'industrie de l'eau en Grande-Bretagne s'intéresse à l'IER dès la fin des années 90. C'est en partie grâce à un soutien politique du gouvernement à promouvoir d'autres ressources en eau.

Le régime de l'IER (L'injection et la récupération dans les mêmes puits) avait été engagé après la réussite de l'IER en Floride. Jones et al, (1998) a conclu qu'il y a un grand potentiel pour l'utilisation de l'IER au Royaume-Uni. À l'heure actuelle la technologie IER est limitée à un certain nombre de sites pilotes et de deux sites opérationnels. [14]

Il est prévu que l'IER au Royaume-Uni est utilisée pour répondre au demande en eau a court terme et d'autre objectifs tel que le stockage (qualité de l'eau, amélioration de l'environnement et aux avantages opérationnels) a long terme.

La Grande-Bretagne a favorisé l'IER sur d'autres alternatives pour plusieurs raison :

- Un faible impact sur l'environnement comme
- Le faible cout par rapport aux autres alternatives.

## **Conclusion**

Durant ce chapitre, nous avons présenté la recharge artificielle sous ses différentes formes, ainsi que son utilité et sa pratique dans le monde. Il est clair que l'Algérie doit mettre en œuvre le procédé de la recharge artificielle, en premier lieu pour parer à la surexploitation des nappes qui cause la diminution du niveau piézométrique, et surtout pour mobiliser les ressources superficielles excédentaires et ainsi augmenter la capacité volumique des ressources en dernier lieu.

On a vu aussi que le processus de recharge peut être quantifié par plusieurs méthodes et techniques. Certaines de ces méthodes sont de type hydrologique, d'autres sont de type géochimique ou hydrodynamiques et certains d'autres sont basées sur des modèles numériques.

## **I. 2. Technique de recharge par les bassins d'infiltration :**

### **I.2. 1. Les expériences de l'ANRH sur la plaine de la Mitidja [16]**

L'Algérie a vécu quelques expériences de recharge artificielle telle que :

- **La recharge par lâchers des barrages:**

**Peu de tentatives ci et là en Algérie on été initiés pour la recharge des nappes par lâchers des barrages, nous pouvons citer :**

- La recharge de la nappe alluviale de l'oued du Haut Chélif par les lâchers de Barrage **Ghrib (Derideur 1984).**
- La recharge de la nappe alluviale de l'oued El Harrach par les lâchers de Barrage de **Boukourdane (1998).**

- **La recharge par épandage d'eau des crues (système Legros) :**

C'est un projet de l'ANRH ou un système constitué de petits et moyens bassins a été utilisé sur de grandes surfaces, ces derniers sont reliés avec des trop-pleins et épousent la

topographie du terrain. Les bassins sont implantés dans des forêts d'eucalyptus entre Boufarik et Beni Tamou.

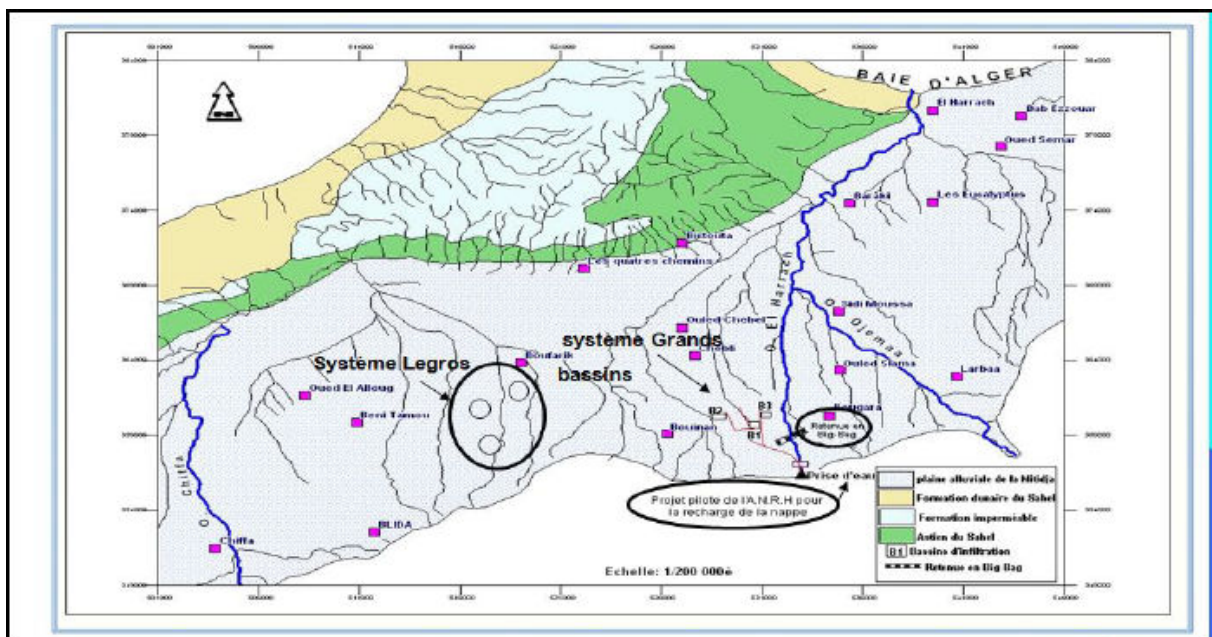
- **Recharge par les retenues « big-bag »:**

Le système consiste en une barrière constituée de grands sacs remplis de tout venant d'oued ou de terres pour stopper une partie des eaux afin d'augmenter le taux de recharge de la nappe dans les oueds et pour permettre aux agriculteurs de la région de bénéficier d'un volume d'eau pour l'irrigation de leurs terres au lieu d'utiliser les eaux de la nappe.

- **Système des grands bassins d'infiltration:**

C'est un projet pilote de recharge artificielle par bassins d'infiltration à partir d'oued el Harrach qui a été exécuté par l'ANRH et qui fait l'objet du présent chapitre.

- **Injection à travers les puits et les forages existant. [15]**



**Figure 6:** Situation géographique des différentes expériences de recharge au niveau de la Mitidja. [15]



## **I.2.2. Projet pilote de recharge artificielle par bassins d'infiltration (ANRH, 2003,2004)**

### **I.2.2.1 Situation géographique du site**

Le projet pilote de la recharge artificielle de la nappe Mitidja réalisé par l'ANRH, se trouve au niveau de la Mitidja centre, plus précisément dans la région de Tabainet à 3 Km au sud ouest de la commune de Bougara. Ce site a été choisi pour plusieurs raisons à savoir:

- L'importance de la ressource en eau souterraine dans la Mitidja centre qui couvre les Différents besoins en eau (AEP, AEI, Agriculture).
- La nappe libre alluvionnaire qui est peu profonde dans cette zone, ce qui facilite la visualisation du processus de la recharge.
- Les bonnes caractéristiques du terrain qui permettent une meilleur infiltration.
- Le site est proche de l'Oued el Harrach se qui facilite l'adduction des bassins d'infiltration.



**Figure 7:** Bassins d'infiltration (photo Google Earth)



### **I.2.2.2.Objectifs visés par l'ANRH**

L'expérimentation de la recharge artificielle en zone pilote avait pour objectifs :

- Comprendre la dynamique de l'eau à travers la zone non saturée et dans l'aquifère ;
- Comprendre la dynamique des sédiments en suspension dans cette eau ;
- Déterminer les perméabilités respectives des différents aquifères sollicités ;
- Etudier le colmatage des dispositifs de recharge ;
- Suivre la réaction de la nappe suite à la recharge sur une longue durée.

### **I.2.2.3. Dispositif d'infiltration :**

Réalisé par l'ANRH en 2003, Le dispositif d'infiltration est composé d'un grand bassin de décantation et 3 bassins d'infiltrations:

- Le bassin de décantation de dimensions 50x50x3m a été dimensionné à fin de réduire le taux des M.E.S et optimiser la qualité de l'eau avant l'arrivée aux bassins d'infiltrations.

- les bassins d'infiltrations de dimensions 30x15x3m reliés au bassin de décantation.

L'alimentation des bassins se fait gravitairement à partir de l'oued El Harrach grâce à un canal d'amené. Pour connaître la géologie du site et suivre la réaction de la nappe, sept piézomètres ont été réalisés dans la zone d'expérimentation avec une profondeur d'environ 100m. [16]

### **I.2.2.4. Dispositif d'adduction des bassins et équipements utilisés dans l'expérimentation :**

Plusieurs équipements et matériels ont été utilisés pour le bon déroulement des différents tests et essais expérimentaux prévus sur ce site :

1. Socle en béton armé pour la pose de la vanne principale : Il s'agit d'un socle en béton armé de 1.70m de hauteur, composé de deux parois distantes de 0.60m, Les parois de ce socle ont une épaisseur basale de 0.80m qui se rétrécit pour atteindre 0.6m en haut.

Les différents types de conduites d'eau utilisés :

a) Demi-buses pour l'amenée d'eau : pour le remplissage du grand bassin de décantation une amenée d'eau de 80 m de longueur a été réalisée. Elle est formée par des demi-buses de 600 mm de diamètre.

b) Tuyaux en PVC pour l'alimentation des bassins d'infiltration : les trois bassins D'infiltrations sont reliés avec le bassin de décantation par des conduites en PVC de 400 mm de diamètre et d'une longueur de 160m.

2. Une vanne murale : qui contrôle la prise d'eau sur l'oued El Harrach et permettant le contrôle des écoulements de remplissage des bassins expérimentaux.

3. Deux vannes pour chaque conduite d'alimentation des bassins : une vanne principale et une vanne de garde. [15]

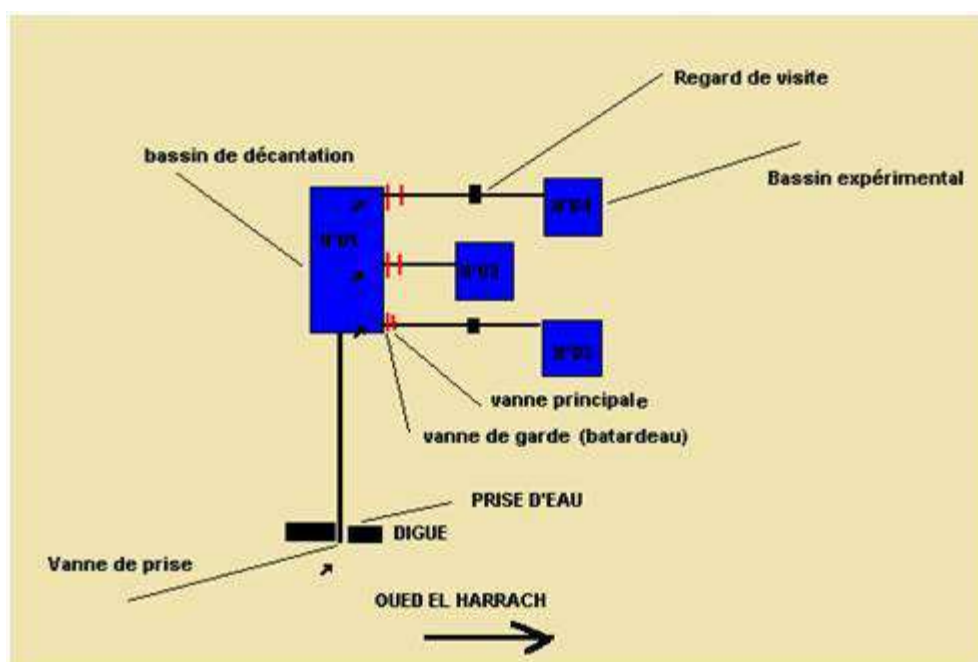


Figure 8: Schéma du système d'adduction des bassins de la recharge artificielle. [15]



**Figure 9 :** Amenée d'eau et bassin de décantation



**Figure 10:** Bassin d'infiltration



**Figure 11:** Echelle limnométrique au niveau d'un bassin d'infiltration

### **I.2.3. Etat piézométrique de la nappe du quaternaire à l'échelle de la Mitidja (février et aout 2003) [15]**

#### **I.2.3.1. Caractéristiques piézométriques :**

La carte piézométrique à l'échelle de la Mitidja dressée par Achi (1973) (Carte hydrogéologique de la région d'Alger, ANRH 1973) à partir des mesures effectuées en Août 1969 montre que les eaux s'écoulent de la bordure de l'Atlas vers la mer qui constitue son seul exutoire souterrain, les écoulements convergent ensuite vers la cluse du Mazafran à l'Ouest de la plaine et vers les centres de pompes Baraki et El Harrach à l'Est, et aussi vers les marais de Reghaïa. La nappe reste libre dans toute la plaine, puis devient captive sous les limons dans le bas Mazafran. Les fluctuations saisonnières du niveau piézométrique sont quasiment nulles au bord de la côte et atteignent une dizaine de mètres dans les piémonts, avec des gradients hydrauliques ( $i$ ) décroissants d'amont en aval (0.3% en amont du piémont, 0.5% en aval du piémont et 0.1% dans la plaine).



### **I.2.3.2. Suivi Piézométrique:**

Depuis de nombreuses années déjà, la plaine de la Mitidja a fait l'objet de nombreuses mesures piézométriques: En 1966 des mesures du niveau piézométrique ont été relevées par l'ANRH, les mesures ont porté sur 316 points. La nappe était bien en équilibre hydraulique, avec présence d'une zone d'artésianisme autour de l'entrée de la cluse du Mazafran.

Durant les années 70, les pompages d'eau pour l'AEP ont augmenté par la réalisation des champs de captage dans la zone du Mazafran et du Hamiz, ce qui a provoqué des zones de dépression à l'Est et à l'Ouest et la disparition de l'artésianisme. Une baisse de niveau de la nappe se fait remarquer par la présence des fluctuations saisonnières importantes. Cette situation nécessitait un suivi du comportement de la nappe. Un réseau de surveillance des eaux souterraines a été réalisé au début des années 70 avec l'étude de Géo hydraulique (1972), le réseau comportait 665 points d'observation (forages, puits, piézomètres).

Une étude a été entamée par Binnie et Partners (1983), une carte piézométrique a été réalisée pour la période (1981-1982).

En 1985, avec la sécheresse, le nombre de forages d'irrigation a été augmenté et la mise-en exploitation de tous les champs de captage d'AEP était une nécessité pour subvenir aux besoins de la population ce qui a provoqué un tarissement de plusieurs puits d'où réduction du nombre de points du réseau à 80. Durant l'année 1985, 10 campagnes de mesures ont été établies, elles montraient des hauteurs maximales du niveau d'eau enregistrées au mois d'Avril notant que pendant la période hivernale la nappe est moins sollicitée par les pompages agricoles, la baisse du niveau piézométrique est enregistrée à partir du mois d'Avril au mois d'Août. La prolifération anarchique des points d'eau continue et l'état de la nappe se dégrade de plus en plus.

En 1993, 15 piézomètres ont été réalisés dans les points les plus importants près des champs de captage (Mazafran I, Mazafran II, Blida I, Blida II, Baraki et Hamiz). Une nouvelle campagne piézométrique a été entreprise en 1996, des mesures piézométriques ont été relevées, mais il a été impossible de cadrer tout le réseau vu l'état de l'insécurité, l'inventaire a été par la suite complété en 2001. Un rabaissement noté en amont de la plaine près des champs de captage qui va jusqu'à 14m à certains endroits. A l'aval la situation est plus ou moins meilleure à part dans les zones argileuses, mais au niveau de la Baie d'Alger la situation est frappante le niveau a baissé de 10.22m au-dessous du niveau de la mer favorisant ainsi l'intrusion d'eau marine. L'inventaire de (1996-2002) a permis d'actualiser un réseau de

surveillance plus représentatif d'où une surveillance périodique poussée de la fluctuation des eaux souterraines de la nappe.

Une piézométrie réalisée entre 2001 et 2004 notamment dans la zone de la recharge artificielle, montre une persistance de baisse de niveau des champs de captages. Quoiqu'une amélioration a été notée particulièrement aux endroits où les pompages sont moins prononcés.

### **Conclusion**

L'infiltration des eaux dans le sol permet de recharger la nappe et piégeage des pollutions en surface de la couche filtrante mais les bassins d'infiltration ont aussi des inconvénients par exemple le sol doit être suffisamment perméable et est possible de contaminer la nappe par une pollution accidentelle (en zone à risques), et il ne faut pas oublier le risque de colmatage progressif donc on a un autre problème qui est la nécessité d'une conception soignée et d'un entretien régulier.

## PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

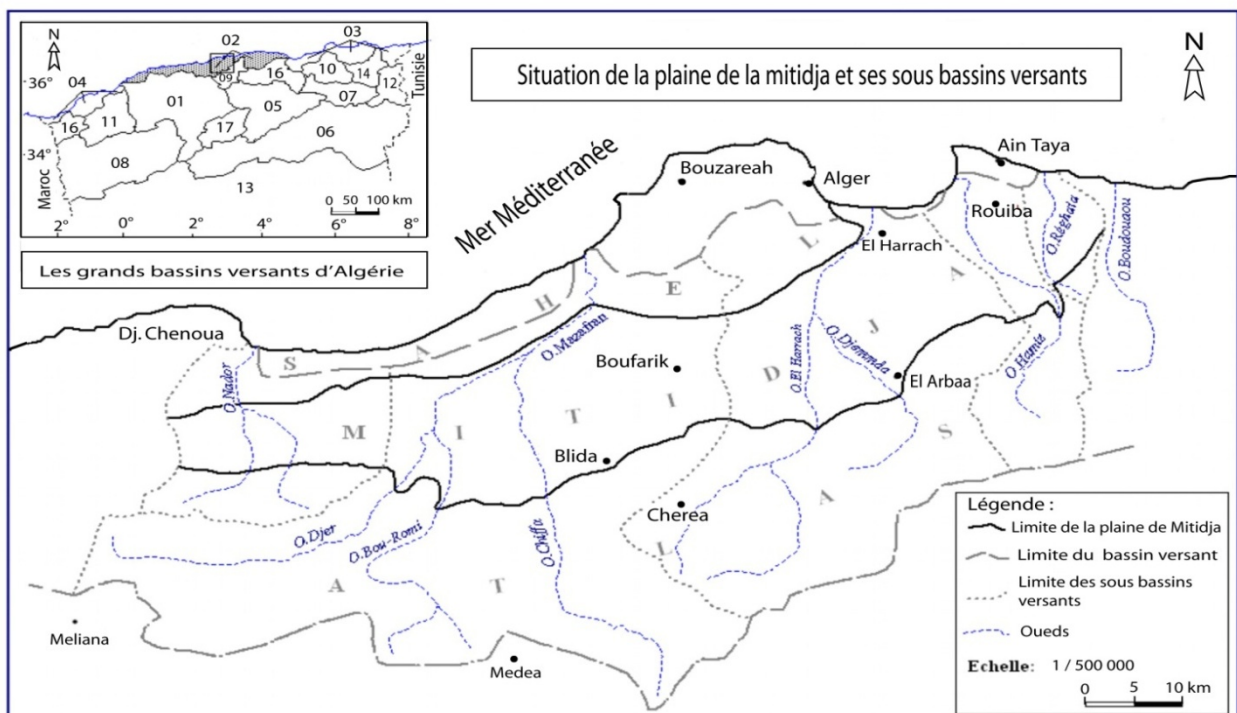
### II.1. Situation géographique :

La plaine de la Mitidja est située au Sud d'Alger. Elle s'étend sur les territoires d'Alger, Boumerdès, Tipaza et Blida. D'une orientation WSW – ENE et d'une altitude moyenne de 100 m, elle s'étend sur une superficie de 1300 km<sup>2</sup> depuis l'oued Boudouaou à l'Est jusqu'au bassin de Menacer à l'Ouest, sur une longueur de 100 km avec une largeur qui varie de 8 à 18 km, elle est limitée :

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

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

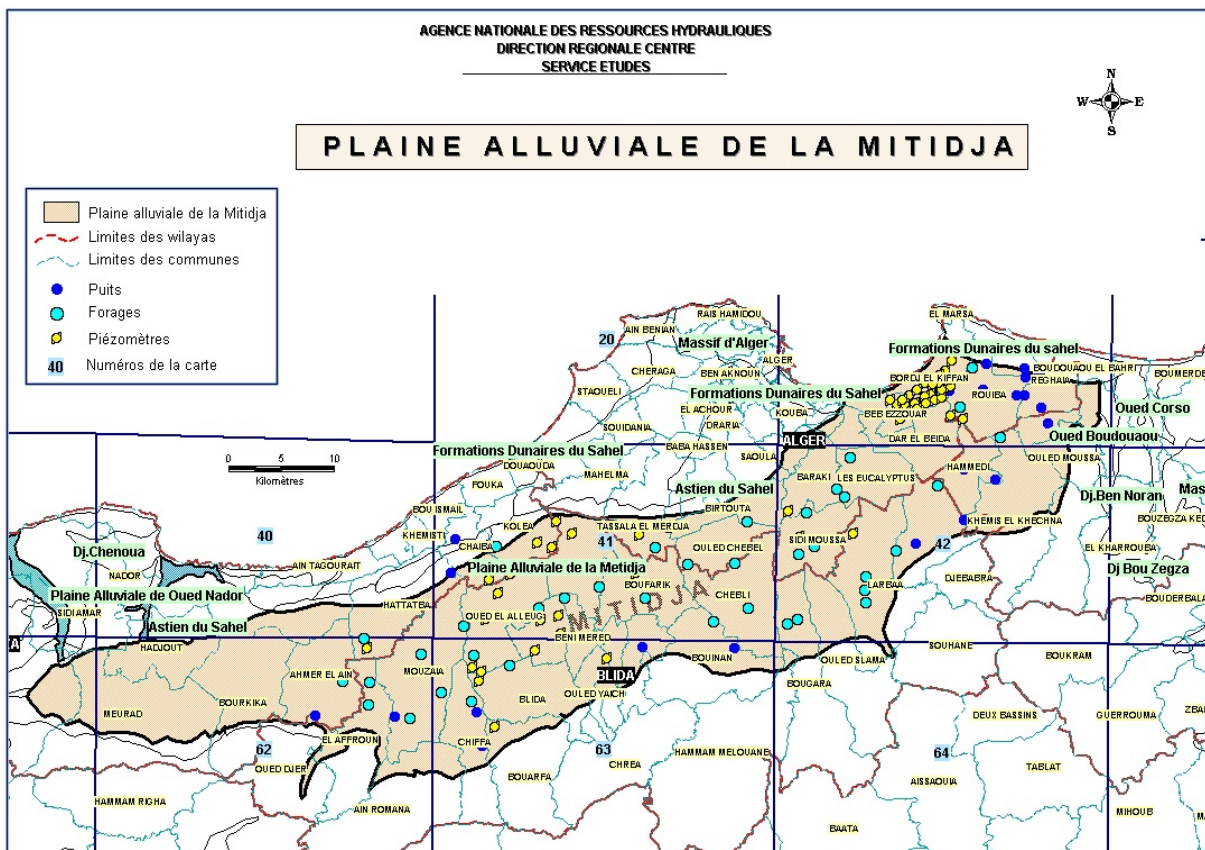
- Bassin occidental (O. Nador).
- Bassin du Mazafran. (Oued Mazafran)
- Bassin d'El Harrach. (Oued Harrach) qui constitue la limite entre la Mitidja Centre et la Mitidja Est. Cet oued se jette dans la baie d'Alger. L'Oued Djamaa, confluent de l'Oued Harrach.
- Bassin oriental (O. Hamiz et O. Réghaia)



**Figure 12: Situation de la plaine de la Mitidja**

La nappe alluviale de la Mitidja est répartie sur 05 cinq cartes topographiques au 1/50.000 :

- Carte d'Alger n° 21
- Carte de Koléa n°41
- Carte de l'Arbaa n° 42
- Carte de Hadjout n° 62
- Carte de Blida n° 63



**Figure 13: Découpage cartographique de la plaine de la Mitidja (source ANRH)**

## II.2. Délimitation de la zone d'étude :

La zone d'étude se trouve sur les terres de la commune de Chebli située entre l'oued El Harrach à l'Est et la commune de Bouinan à l'Ouest. Longeant la rive gauche de l'oued El



Harrach, l'accessibilité à la zone est très facile à partir de la route nationale n°29 qui relie l'aire d'étude aux chefs lieu des communes de la zone à savoir : Bouinan, Bougara, Chebli et Hammam El Ouan. Ce périmètre couvre une superficie brute estimée à environ 1200 ha dont approximativement 800 ha était presque totalement irriguée annuellement à partir de la prise d'eau d'El Magrounatte jusqu'au début des années 1990. Elle comprend des bassins d'infiltration, un canal d'amenée d'eau (segua) dans la partie aval et l'Oued Hammam Melouane (partie amont) qui alimente la partie de la Mitidja.

## **II.2.Contexte géologie et hydrogéologie**

La plaine de la Mitidja s'étend au sud d'Alger entre Hadjout et Réghaïa, selon une direction ouest sud-ouest, est-nord-est. Elle est bordée au nord par les collines du Sahel et au sud par l'atlas Tellien. Elle fait environ 90 Km de long et 15 Km de large.

La nappe de la Mitidja s'étend au Nord, jusqu'à la limite d'affleurement des alluvions Quaternaires et au Sud, jusqu'au contact entre les alluvions quaternaires et les formations plus anciennes de l'Atlas Blidéen. D'un point de vue administratif, elle concerne quatre wilayas (Alger, Blida, Boumerdès et Tipaza).

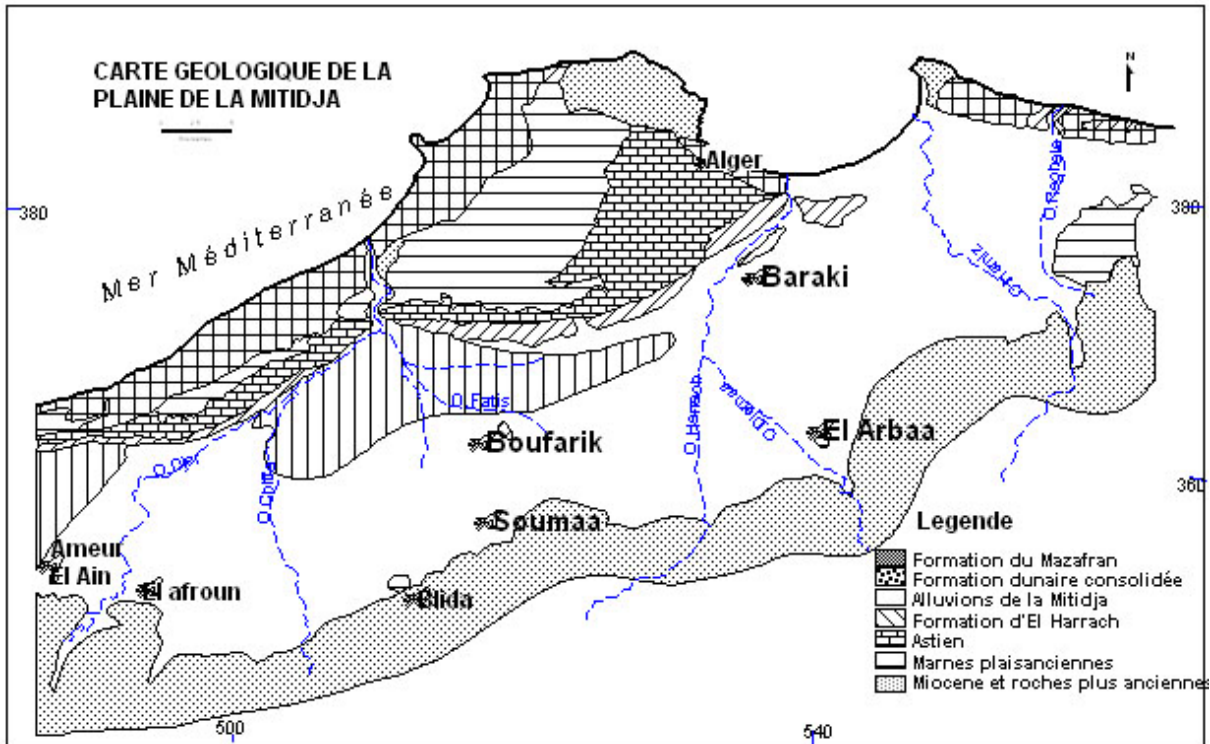
La plaine de la Mitidja est constituée de deux aquifères : la formation quaternaire de la Mitidja qui représente la principale ressource en eau souterraine et la formation de l'Astien qui est l'aquifère le plus profond.

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

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

L'Astien est séparé de l'aquifère des alluvions par la formation argileuse d'El Harrach, hormis au Nord-est de la plaine où les deux formations perméables sont en contact direct.

Le cadre géologique local est caractérisé par la série litho stratigraphique représentée dans la figure suivante :



**Figure 14 :** Carte géologique simplifiée de la plaine de la Mitidja (source ANRH)

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

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

### II.3.Contexte Hydrogéologique :

Il constitue un aspect essentielle pour notre étude, et a ce jour de nombreuses études géophysiques et hydrogéologiques ont été réalisées, fournissant des précisions sur la géologie de la région et sur les relations qui existent entre les différentes unités hydrogéologiques. [16]

L'analyse du remplissage du bassin de la Mitidja permet de distinguer de bas en haut quatre ensembles lithologiques : [Fig.15]

- Un substratum imperméable formé par une série marneuse.
- L'Astien formé par un ensemble calcaire-sableux et gréseux.

- Une « Formation d'El Harrach », constituée par un ensemble argileux contenant par endroit du sable et du gravier.
- Les « Alluvions de la Mitidja », formées par un ensemble gravelot-sableux.

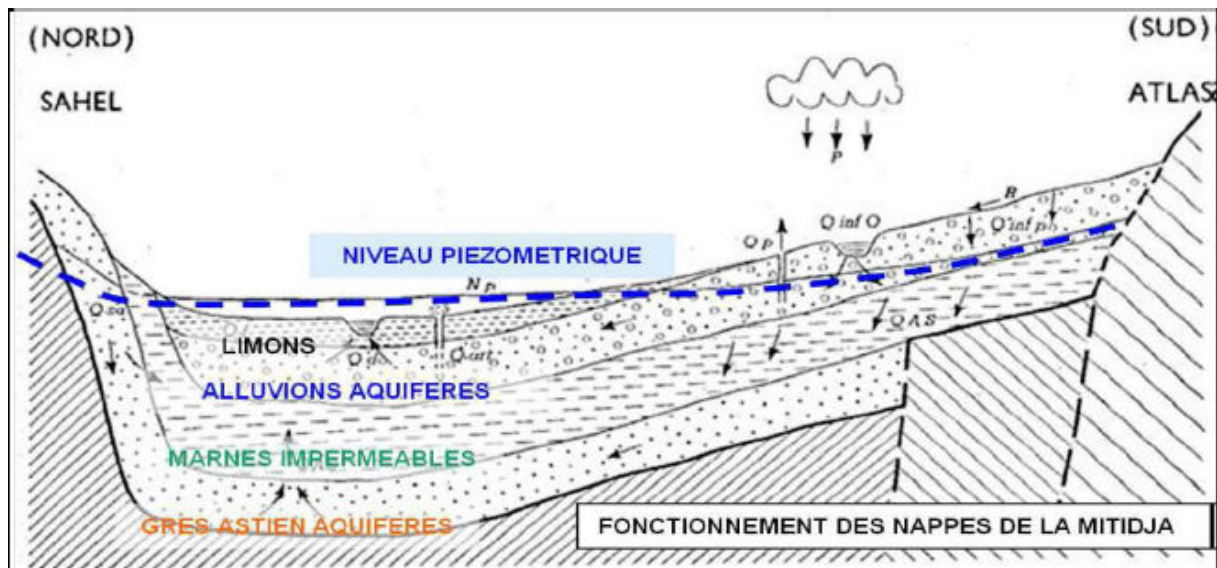


Figure 15: Fonctionnement des nappes de la Mitidja. [15]

On distingue dans la Mitidja deux réservoirs aquifères :

### II.3.1. Aquifère quaternaire (alluviale) :

La nappe des alluvions du quaternaire constitue le principal aquifère de la Mitidja, il est composé principalement de graviers et de galets alternant avec des limons et des argiles en quantité variable et comportant parfois des masses lenticulaires argileuses. Les alluvions sont d'âge Sultan-Tensift inférieur et reposent sur les marnes d'El Harrach. L'épaisseur moyenne de l'aquifère de la Mitidja est d'environ 100 à 150 m, elle diminue au Sud en direction de l'Atlas Blidéen et atteint 40m au Nord Est au niveau de la Baie d'Alger. La limite inférieure de l'aquifère se situe au contact avec la formation d'El Harrach, à l'exception de la région du Hamiz et de Rouïba où l'aquifère se trouve en contact direct avec l'Astien et forme un aquifère unique. L'absence du substratum dans cette zone est due à l'activité érosive qui a lieu au cours du Pléistocène. L'aquifère est libre sauf au niveau de l'oued Mazafran où il est mis en charge par une formation argileuse.

Du point de vue hydraulique, la nappe alluviale peut être divisée en deux parties :

- Le bassin du Mazafran où la nappe est captif sur une grande étendue.
- Le bassin Harrach-Hamiz où la nappe est entièrement libre.

Et dans le Tableau suivant nous résumons le potentiel aquifère des formations les plus importantes.

Formation	Lithologie	Épaisseur (m)	Potentiel aquifère
Mazafran	Limons et argiles limoneuses	10 à 60	Potentiel limité car relativement imperméable. De grands diamètres fournissent de l'eau en faible quantité dans certaines aires. Ne couvre qu'une surface limitée.
Mitidja y compris les dunes et les alluvions récentes des oueds	Sables et graviers contenant plus ou moins de limons et d'argiles. Quelques strates d'argiles.	100 à 200	Aquifère principal du bassin. Absent dans les aires Ouest et quelques aires localisées près des bords du bassin. Presque toute l'eau de cette formation est souterraine.
El Harrach	Argiles avec quelques lentilles et couches de graviers	0 à 200 moyenne 100	Potentiel très limité en tant qu'aquifère sauf dans des aires localisées d'où l'on peut soutirer de l'eau depuis les lentilles de graviers présentes dans les argiles.
Astien	Grés, sables et Calcaires	100 à 130	Matériaux aquifères; potentiel important près de la surface ou aux endroits où la formation de la Mitidja est absente.
Plaisancien	Marnes	200 m	Pas de potentiel aquifère.

**Tableau 2:** Potentiel aquifère de la Mitidja. [16]

### **II.3. 2. Aquifère de l'Astien :**

L'aquifère Astien s'étend sous la majeure partie du bassin alluvial et affleure principalement dans le Sahel et au niveau des piémonts de l'atlas Blidéen. Il est composé de calcaire et de grès comportant occasionnellement des unités argileuses, son épaisseur moyenne varie de 100 à 180m et son toit se trouve généralement entre 250m et 300m au dessous de la surface de la majeure partie de la plaine.

Le réservoir Astien est délimité entre un substratum imperméable (Plaisancien) et la couverture des marnes de la Maison Carrée ou marnes d'El Harrach. L'alimentation de cet aquifère est assurée par l'infiltration efficace des pluies dans les zones où la nappe est libre, mais aussi par la nappe alluviale sous-jacente, par drainage à travers la formation d'El Harrach (présence de passées de sables et graviers). Le flux de drainage ascendant vers la nappe alluviale à travers les passes caillouteuses de la formation d'El Harrach, constitue le seul exutoire de la nappe.

Du point de vue hydrodynamique l'Astien constitue une nappe captive sauf dans les zones d'affleurement et les zones de contact avec l'alluviale quaternaire dans la majeure partie orientale de la Mitidja à l'Est du Hamiz.

L'aquifère Astien est très peu sollicité, sauf dans les zones où les alluvions du Quaternaire sont absentes, ou représentées uniquement par d'importantes couches argileuses. La profondeur des forages captant l'Astien est comprise en 200 et 300 m, et les débits sont peu importants (entre 15 l/s à 20 l/s en moyenne).

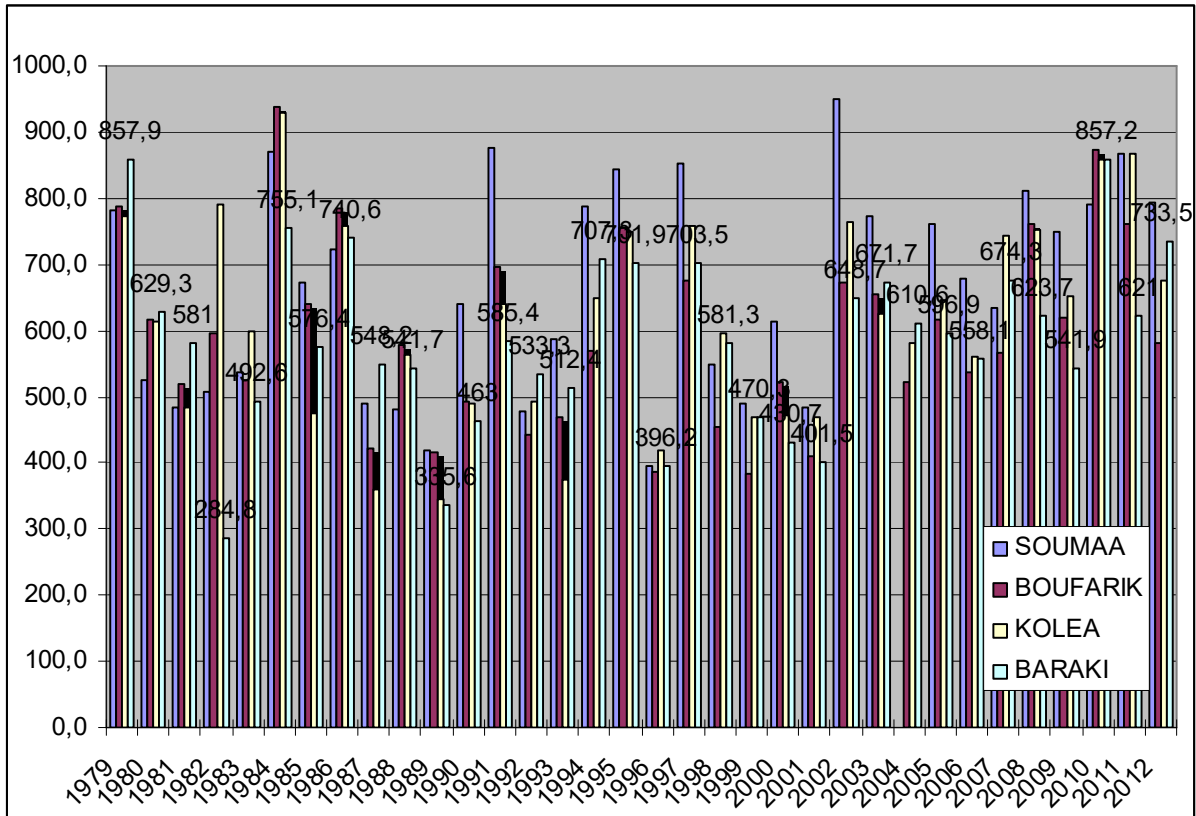
### **II.4.Contexte Hydroclimatique :**

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

#### **II.4.1. Pluviométrie :**

La plaine de la Mitidja est soumise à un climat régional subhumide littoral caractérisant l'ensemble des plaines côtières. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral, le climat devient de plus en plus continental et l'on enregistre une baisse sensible des températures. Les valeurs des précipitations de la région varient de 284 mm à 951 mm, concentrées sur une

période pluvieuse d'octobre en février. Les précipitations moyennes interannuelles dans la plaine de la Mitidja sont irrégulièrement réparties.



**Figure 16: Pluviométrie moyenne interannuelle (Période 1979- 2012)**

L'évolution interannuelle des pluies enregistrées sur **33 années** d'observations, entre 1979 jusqu'à 2012 a mis en évidence une phase de stabilité des précipitations qui avoisine les ,6 mm, avec une tendance à la hausse de puis l'année 2009, avec un épisode pluvieux exceptionnel durant le mois de février 2012. (Voir graphe si dessous)

#### II.4.2. la température :

La température moyenne de station de Soumaa de la région d'étude est présentée dans le tableau suivant :

Station	J	F	M	A	M	J	J	S	O	N	D	moyenne
Soumaa	12.38	13.28	15.16	17.14	20	25.26	25.32	29	25.38	22.2	16.64	19.56

**Tableau 3: Température mensuelles et annuelle dans la station de Soumaa (ANRH- Période : 1993-2003)**

### II.4 .3. Humidité :

L'humidité atteint son maximum en Décembre et Janvier puisque la moyenne mensuelle des relevés du matin et soir est de 75% ou plus, pendant les mois d'été cette humidité baisse. Des relevés matinaux de Juillet sont à peine inférieurs à ceux de Janvier mais le pourcentage à midi et le soir sont très nettement inférieurs, particulièrement dans les zones situées à l'intérieur des terres. La moyenne mensuelle à midi en Juillet peut tomber à 40%, les variations sont beaucoup moins sensibles sur le littoral en raison de l'influence de la mer. Nous présentons des relevés d'humidité à la station d'El Harrach (2°42'E-36°43'N) dans le Tableau ci-dessous :

Heure	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
07.00	85	80	79	73	73	72	71	75	78	82	79	82	77
13.00	63	62	62	56	60	61	60	59	59	58	60	64	60
18.00	78	77	74	70	73	72	72	75	77	78	78	80	75

**Tableau 4 : Humidités relatives moyennes mensuelles (%) à la station d'El Harrach. [16]**

### II.4.4. le Vent :

Les vitesses de vent sont généralement modérées, elles varient entre 2 et 2.5m/s, mais les orages d'hiver sont parfois accompagnés de tempêtes de vent. Le siroco généré par les flux d'air fort provenant du désert Saharien affecte presque la totalité de l'aire de la Mitidja, surtout pendant les mois d'été. Le vent à un fort effet desséchant et érodant provoquant une augmentation passagère de l'évapotranspiration, le siroco souffle en moyenne 20 jours par an.

### II.4.5. Evapotranspiration (ETP)

L'évapotranspiration est un phénomène continu dans le temps. Elle est définie comme étant la quantité d'eau consommée qui comprend d'une part l'eau transpirée par la plante et d'autre part l'évaporation directe à partir du sol. Elle dépend du climat de ses variations qui sont déterminées par l'humidité de l'air, la vitesse du vent, la température de l'air et la pression atmosphérique. Géo hydraulique a réalisé des mesures de l'Evapotranspiration réel (ETR) sur plusieurs stations entre Juillet 1970 et Juin 1971, les résultats sont comme suit :

Station	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	année
<b>Blida</b>	112.5	133.0	110.5	66.5	51.7	26.0	26.0	27.8	25.6	50.2	66.3	85.8	<b>781.9</b>

**Tableau 5: ETP mesurée en mm/an (1970-1971). [17]**

Le total annuel à Blida est de 782mm/an, ce qui parait extrêmement faible pour les conditions en Afrique du Nord. Cependant les ETP sont calculées à partir de la formule de Thorntwhaite qui utilise que la température moyenne et qui à tendance à sous estimer l'ETP Potentielle.



## CHAPITRE III

### DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

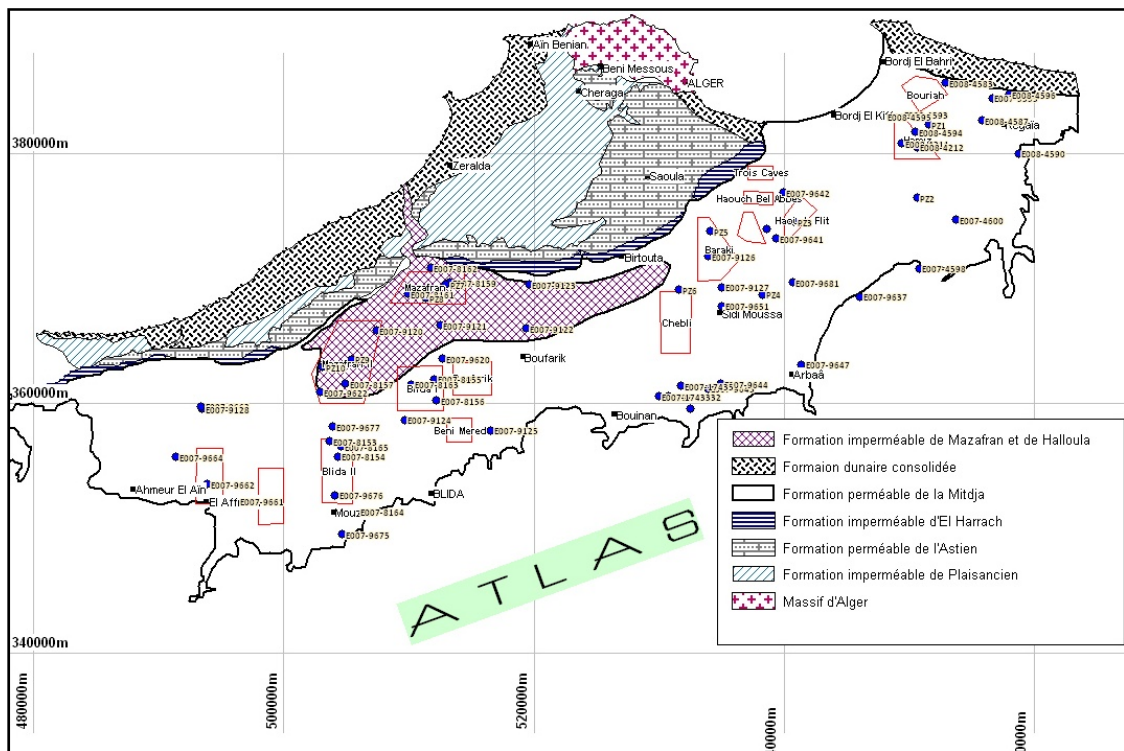
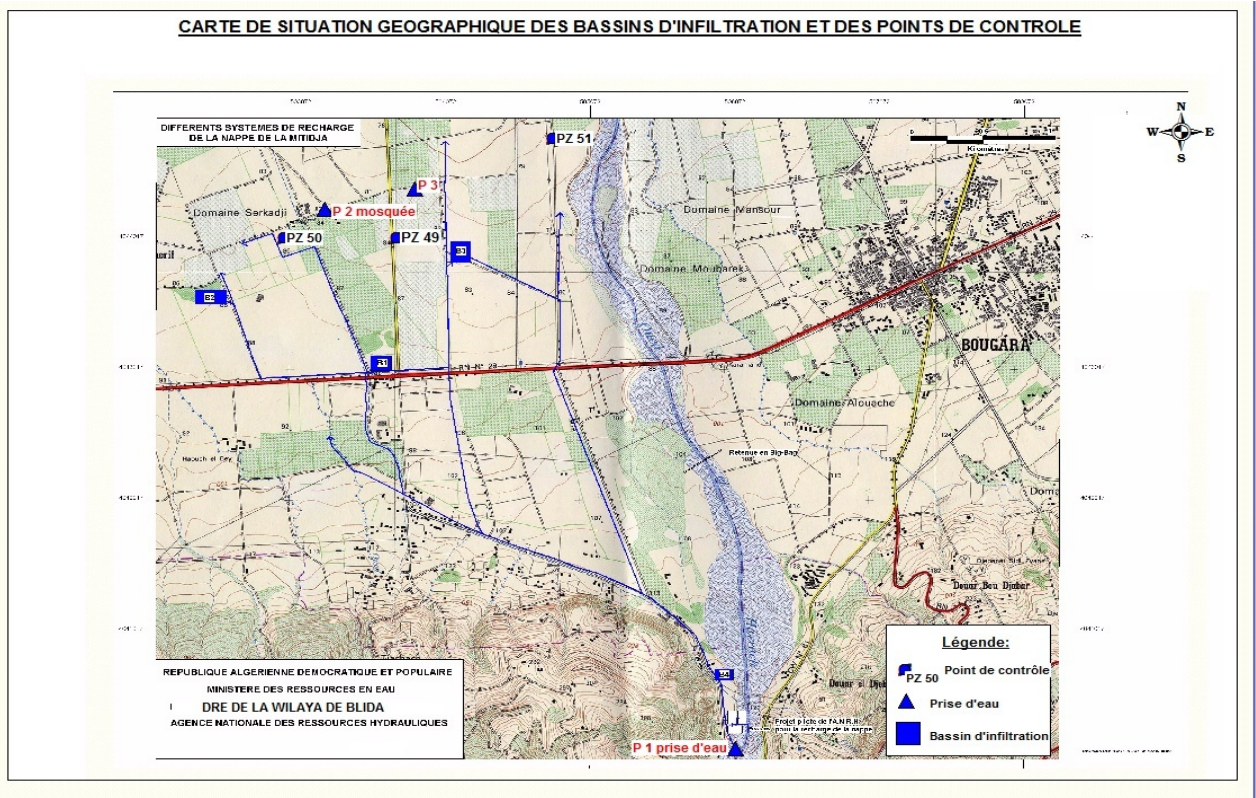
#### III-A. A L'ECHELLE DE LA PLAINE DE LA MITIDJA

##### III 1. Méthodologie :

L'expérience menée par l'ANRH ces dernières années sur la recharge artificielle de la nappe du quaternaire par la technique des bassins d'infiltration à été axée surtout sur le volet hydrodynamique (observation des fluctuations piézométriques sur le pourtour des bassins d'infiltration), aussi, sur le plan méthodologique, ce travail se propose de confronter ou coupler ces observations aux évolutions hydro chimiques des eaux de la nappe.

Ainsi nous repasserons en revue toutes les campagnes de mesure et donc d'évolution des niveaux piézométriques depuis la mise en place des bassins. Notons toutefois que les mesures ne sont pas continues et que il existe plusieurs lacunes. Notons aussi que nous avons participé avec l'équipe de terrain de l'ANRH aux campagnes de mesures de 2014, cela nous a permis de faire des prélèvements sur les principaux ponts d'eau proches des bassins.

Les échantillons ont été analysés au laboratoire d'hydrochimie de l'ANRH. Au laboratoire ont été mesurés les principaux anions et cations, conductivité, résidu sec ainsi que les paramètres physico chimiques (Température, PH.). Les résultats sont reportés en annexe.



## **III.2. Evolution piézométrique:**

### **III.2.1. Variation du niveau piézométrique de la nappe la Mitidja :**

Sur l'ensemble de la zone des bassins d'infiltration étudiés, le comportement hydrodynamique de la nappe des alluvions du quaternaire peut être examiné à l'échelle du bassin Harrach-Hamiz (La zone la plus proche).

### **III.2.2. Évolution de la profondeur de la nappe en période des hautes eaux dans le Bassin Harrach-Hamiz**

#### **Le secteur du Hamiz :**

Les points de mesures sélectionnés correspondent à deux piézomètres situés dans le champ de captage du Hamiz (E008-4211 PZ1 Hamiz, E008-4212 PZ2 Hamiz).

Sur cette zone d'ElHamiz, les profondeurs de la nappe marquent une amélioration métrique (Fig.19).

#### **Le secteur Baraki-Eucalyptus :**

Entre Baraki et Sidi Moussa, les niveaux de la nappe ont été suivis dans deux piézomètres (E007-9126-pz9baraki), E007-9127-pz10 sidi moussa). Les mesures ont montré une amélioration spectaculaire d'une dizaines de mètres par rapport aux années précédentes.

Au niveau de la région des Eucalyptus, le forage E007-9641-f 997/42) a montré une remontée de 7m entre 2010 et 2012, suite à l'arrêt de plusieurs forages AEP des champs de captage de baraki et Hamiz. (voir graphe du pz 2 hamiz E008-4212)

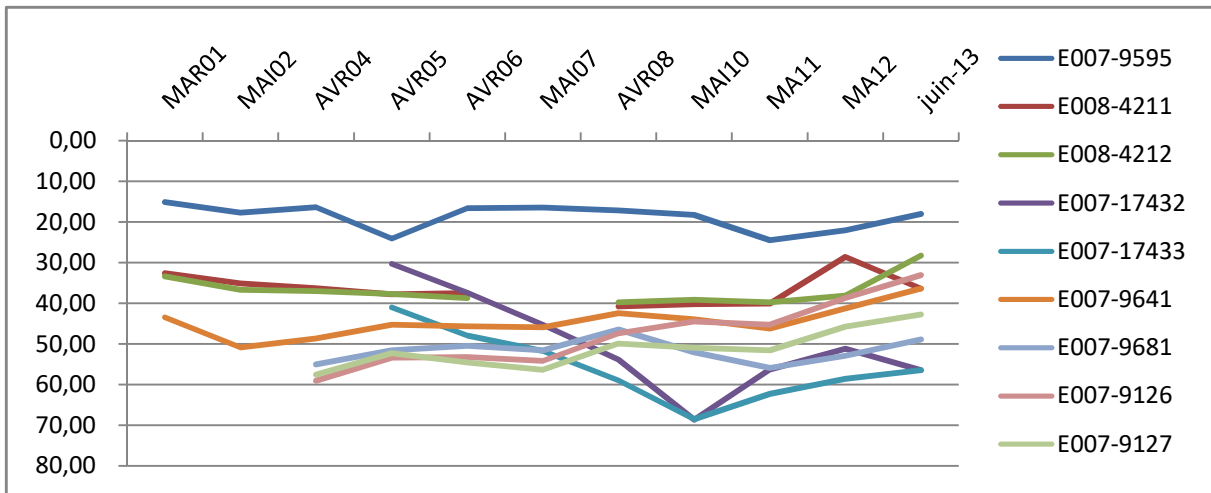


Figure 19 : variations des niveaux de la nappe dans le bassin Harrach-Hamiz en périodes de hautes eaux (2001 à 2013) [22]

Le graphe de la figure N°20 montre une amélioration des niveaux sur pratiquement tous les points de mesure des différentes campagnes piézométriques des hautes eaux.

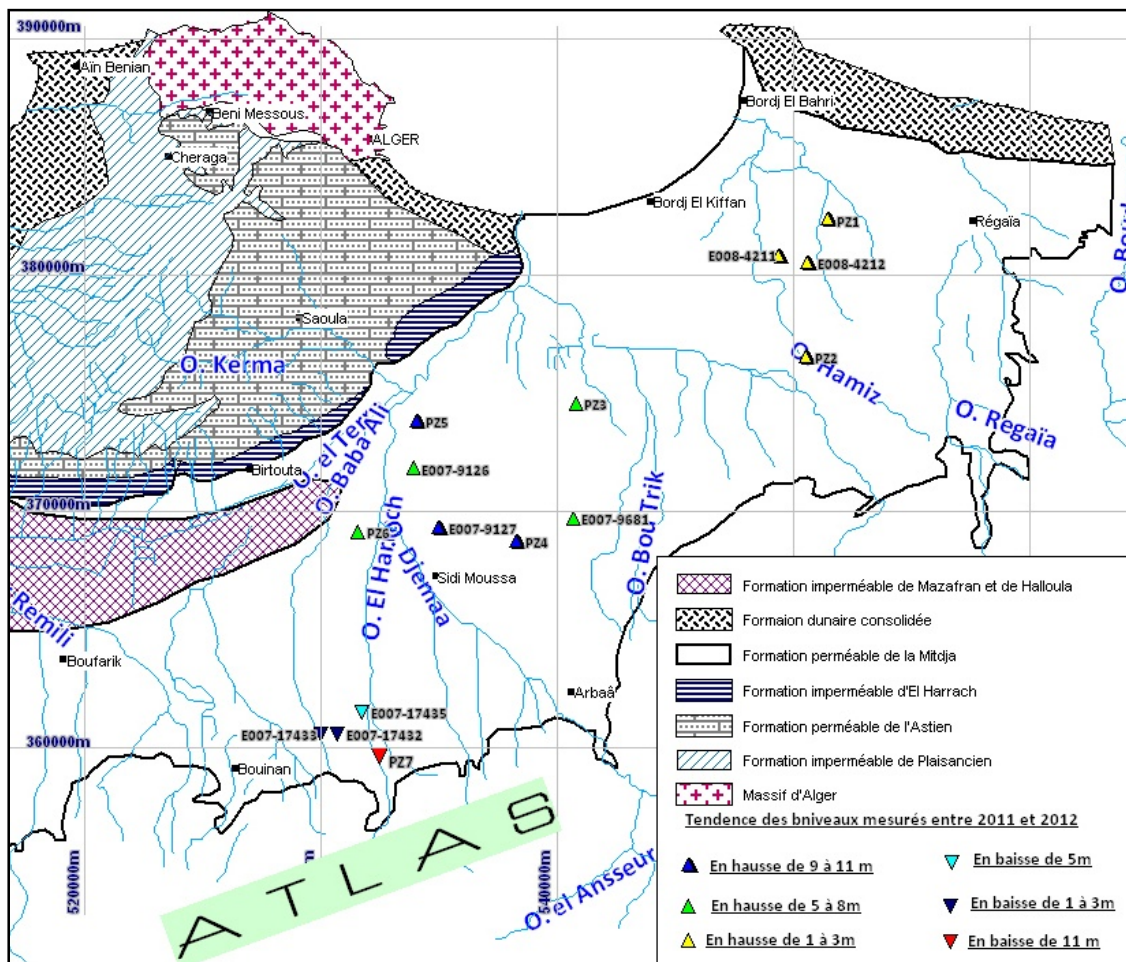


Figure 20: Tendence des niveaux statiques mesurés entre 2011 et 2013 dans le bassin d'El Harrach-Hamiz (basses eaux) [17]



### III.2.3. Évolution de la profondeur de la nappe en période des basses eaux dans le Bassin Harrach-Hamiz, Secteur du Hamiz :

l'évolution des niveaux de la nappe pendant la période des basses eaux semble être plus au moins stable en comparaison avec les années précédentes. Les niveaux varient d'environ 10 à 20 mètres, ce qui dénote une amélioration métrique. fig 21

#### Secteur Baraki-Eucalyptus :

Une remontée de l'ordre d'une dizaine de mètres, a été constatée au niveau du piézomètre E007-9126 situé dans le champ captant de Baraki. Le niveau actuel mesuré est de 38,55m par rapport au sol. Cette remontée progressive dans la région de Baraki est de Bougara et le résultat de l'influence conjuguée, de l'arrêt de plusieurs forage AEP, ainsi que l'épisode pluvieux exceptionnel du mois de février 2012. [17]

qui ont permis à la nappe de se reconstituée. figure N°22:

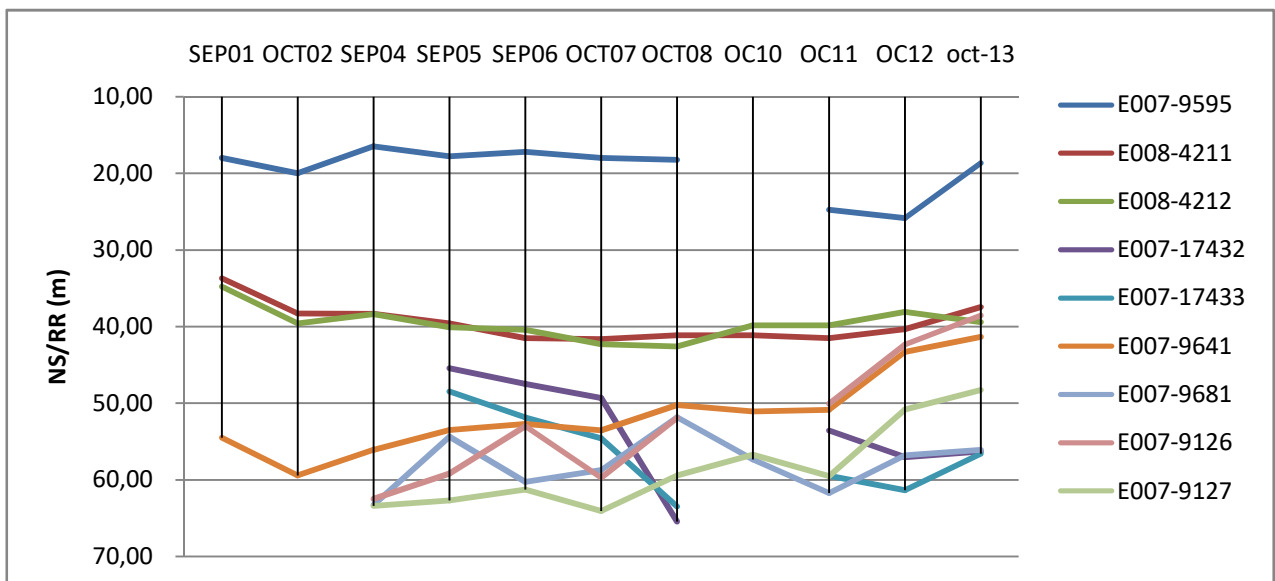


Figure 21 : Variations des niveaux de la nappe dans le bassin Harrach-Hamiz en périodes de basses eaux (2001 à 2013) [17]

Nous tenons à signaler, cette remontée en période des basses eaux au nord de l'atlas Blidien est l'impact réel de l'infiltration efficace des précipitations du mois de février 2012, en plus des apports de la fonte des neiges.

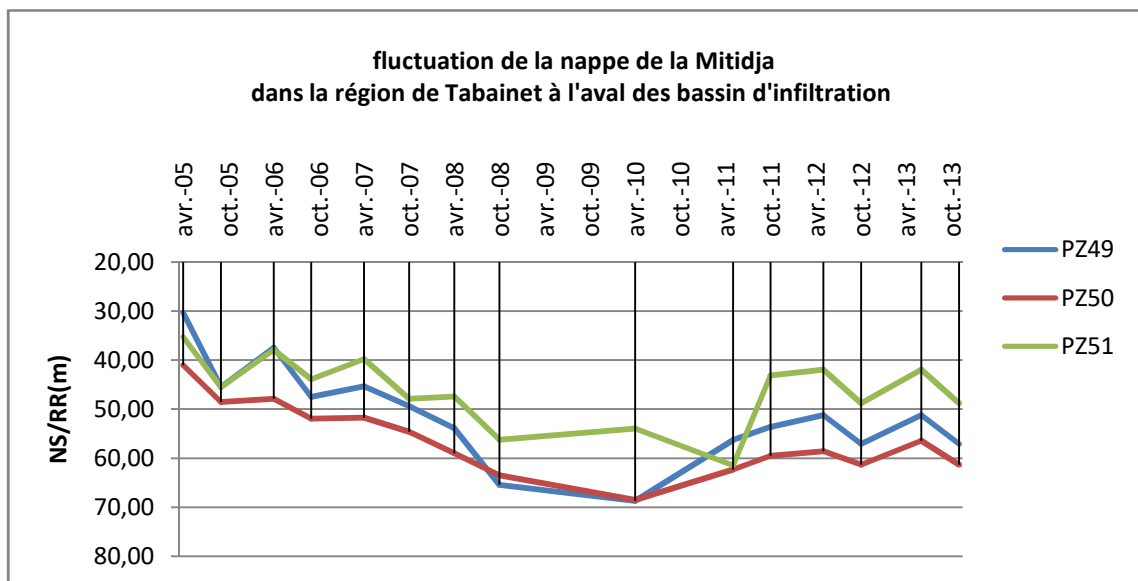
### III.2.3. 1 Historique :

Dans la région de Tabainet, zone d'implantation de bassins d'infiltration, nous avons relevé un abaissement du niveau de nappe : au niveau du piézomètre PZ49, le niveau statique se trouve à 30m de profondeur alors qu'au niveau du piézomètre PZ50, il se retrouve à une profondeur de 27m. Cette chute du niveau d'eau est due en partie au non fonctionnement des bassins d'infiltration depuis plusieurs années dues au problème d'entretien des ces bassins il est à rappeler que les bassins de recharge ont été réalisés en 2004.

### III.2.3. 2 Période de hautes eaux bassin eaux :

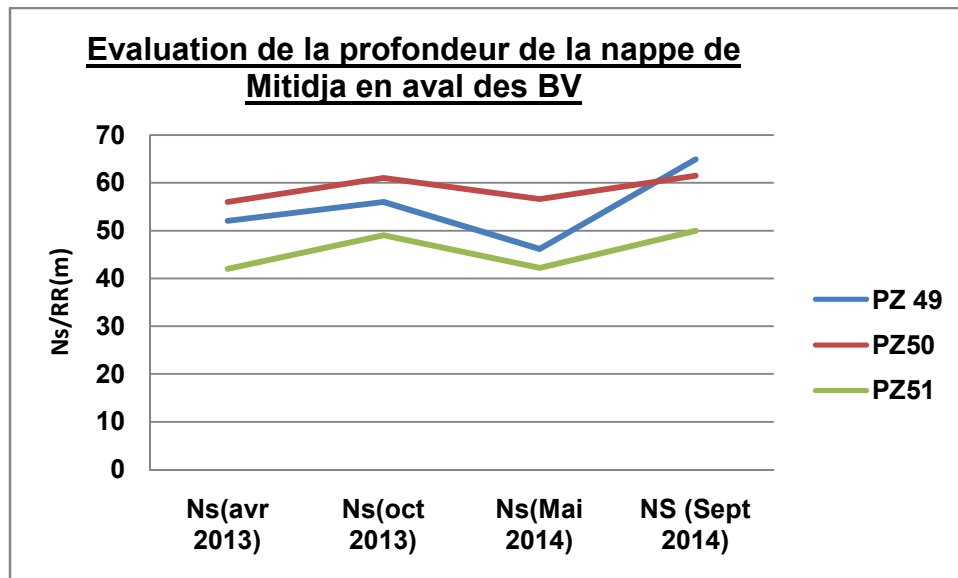
Suite à la déviation du canal qui assurait l'alimentation des bassins d'infiltration réalisé par la DHW de Blida en 2004 ; des rabattements importants de l'ordre de **38 m** ont été enregistrés dans les environs de la région de Tabainet, entre la période d'avril 2005 et la période d'avril 2010, ce qui montre que l'alimentation de ces bassins a **un impacte directe** sur la recharge de la nappe dans la région.

Après La remise en eau du grand bassin, en 2013 une amélioration du niveau des eaux souterraines, avec une fluctuation saisonnière de l'ordre métrique.



**Figure 22 : Fluctuation de la nappe de la Mitidja dans la région de tabiainet à l'aval des bassins d'infiltration [17]**

- Nous avons effectué avec l'équipe de l'ANRH des campagnes de mesure du niveau piézométrique durant les périodes Mai 2014, Sept 2014. les variations sont représentées sur la Figure 23.



**Fig.23 : Evaluation de la profondeur de la nappe de Mitidja en aval des BV**

Où observe globalement une augmentation du niveau piézométrique autour des bassins d'infiltration signe de recharge de la nappe.

### **Conclusion**

On constate que durant les périodes avril 2013, sept 2014 il ya une réponse hydrodynamique (piézométrique) de la nappe près des bassins d'infiltration.

### **III.2.3. 3.Essai d'estimation du volume infiltré :**

Une première estimation de la recharge artificielle a été faite sur le site expérimental, et après avoir imposé un débit de 200 l/s durant les mois de mars et avril 2005 :

Nous avons calculé le volume d'eau infiltrée dans les trois bassins d'infiltration durant ces deux mois (mars et avril 2005), en tenant compte de l'évapotranspiration moyenne mensuelle calculée dans la région.

#### **-Volume infiltré par jour:**

$$200 \text{ l/s} \times 3600 \times 24 = 17.280.000 \text{ l/j} \text{ soit } 17280 \text{ m}^3/\text{j}.$$

### **-Volume infiltré par mois:**

$17280 \times 30 = 518400 \text{ m}^3/\text{mois}$  soit  $1.036.800 \text{ m}^3$  pour les deux mois.

### **-Calcul du volume réel infiltré (mars-avril 2005) :**

$1.036.800 \text{ m}^3/\text{mars-avril} - 37.53 \text{ m}^3$  (évapotranspiration

mars-avril) =  $1.036.762 \text{ m}^3$ .

### **III.4.Evolutions hydro chimiques:**

La Suivi de l'évolution hydro chimique des eaux de la nappe des alluvions n'a fait l'objet que des quelques prélèvements éparse de l'ANRH, aussi, nous avons effectué deux sorties avec l'équipe de l'ANRH. Les ouvrages concernés par les prélèvements étaient : PZ49, PZ50, PZ51, PZ7 (taibainet), les bassins eux mêmes, deux forages et sur la prise de l'oued.

#### **III.4.1. Variation du chimisme à l'échelle de la nappe la Mitidja :**

##### **Axe El-Harrach –Hamiz**

Le faciès chimique bicarbonaté calcique des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja est le plus répandu pour les deux périodes de prélèvement (hautes et basses eaux 2010). Ce type de faciès caractérise l'ensemble des plaines alluviales constituées par un remplissage alluvionnaire. La prédominance de ce type de faciès est liée à la circulation des eaux souterraines dans les alluvions grossières (graviers, galets) et la présence d'un matériel gréseux-calcaire.

Nous constatons également l'apparition de faciès chloruré calcique à l'Est et à l'ouest de la Mitidja. La partie Est, les eaux de la nappe sont plus minéralisées, influencés par l'intrusion des eaux de mer comme le montre la carte des résidus secs. La pollution industrielle est un facteur à prendre en compte et qui peut également influencer le chimisme des eaux de la nappe. La présence de ce faciès dans la partie Ouest est due beaucoup plus à la nature des terrains traversés.

Le faciès sulfaté calcique a été trouvé en période des basses eaux principalement dans la partie Ouest de la plaine. L'existence de ce faciès est liée à la présence des évaporites dans les terrains traversés au niveau de l'Atlas et l'infiltration à partir des oueds. Par conséquent, les



analyses effectuées dans les eaux de surface (barrage Bouroumi) montrent des concentrations en  $\text{SO}_4^-$  supérieures à 300 mg/l.

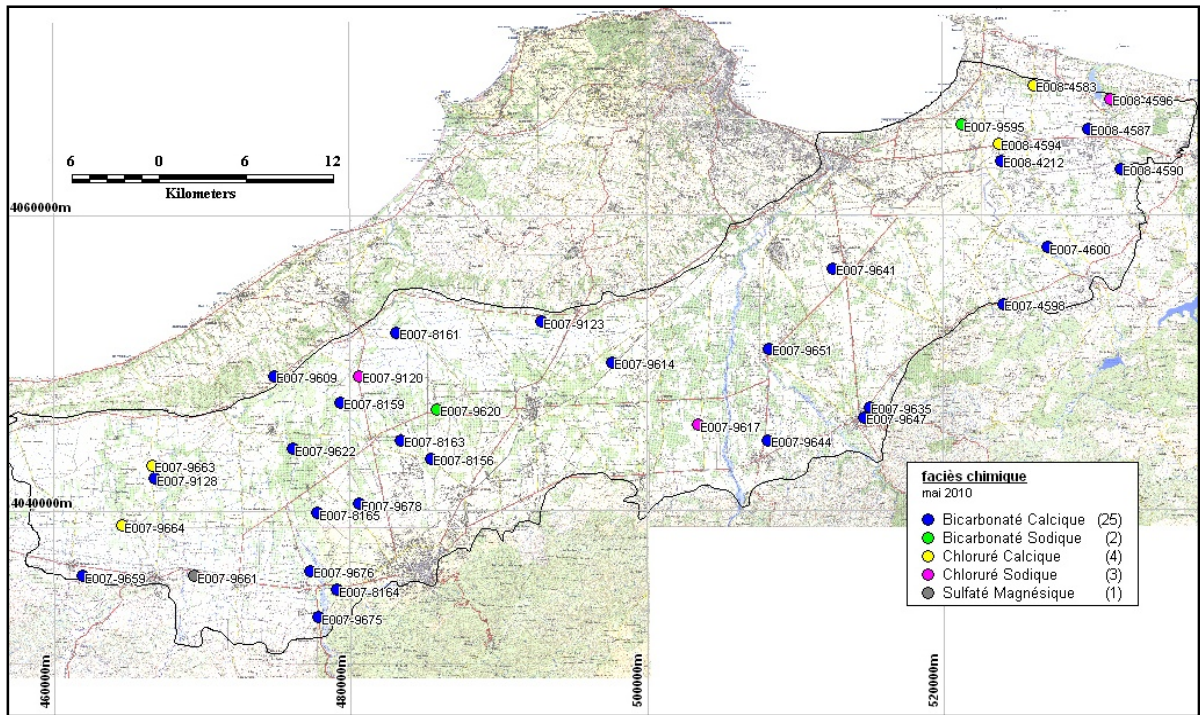


Figure 24 : carte des faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja (mai, 2010)

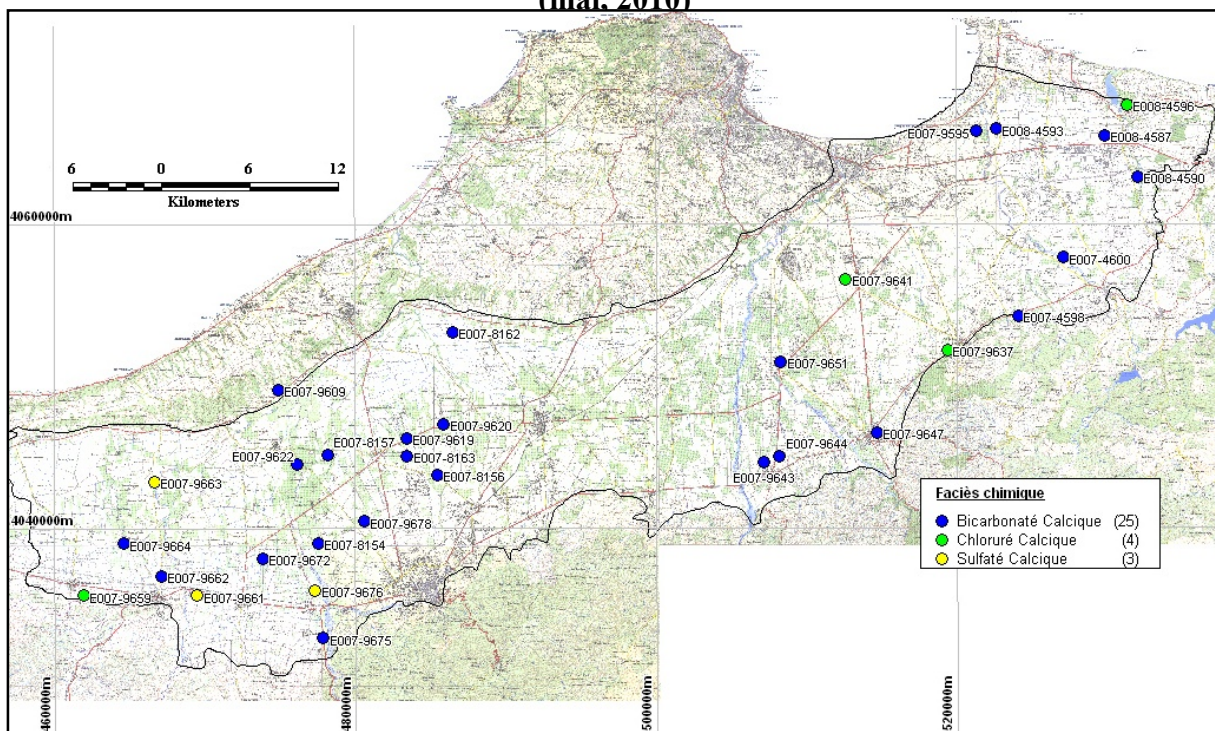


Figure 25 : carte des faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja (novembre, 2010)

### III- A L'ECHELLE DES BASSINS D'INFILTRATIONS

#### III.4.2.Variation du chimisme à l'échelle des bassins d'infiltration :

##### Introduction

L'utilisation des données en hydro chimique repose parfois sur des outils assez compliqués et lourds d'emploi, mais dans de nombreux cas il est heureusement possible de visualiser simplement des caractéristiques importantes d'un échantillon d'eau ou même d'un groupe de solution.

Le recours à des diagrammes et graphiques est donc assez fréquent et utile hydrochimie. Parmi les digrammes graphiques qui permettent d'établir les faciès chimiques des échantillons d'eau, et de déterminer la minéralisation, nous pouvons citer :

- diagramme schoeller berkloff
- diagramme de piper,
- corrélations entre éléments chimiques,
- variation spatio-temporelle du chimisme des eaux,

##### III. 4.2.1 Faciès chimiques :

###### a) Campagne hautes eaux (Mai 2008-2010-2012-2014) :

Représentées sur le diagramme de piper (fig.27et 28), les eaux des points d'eaux de la prise de l'oued, des forages et piézomètres proches des bassins d'infiltration montrent pour les années 2008-2014 des faciès mixtes : chlorurée et sulfatée calcique et bicarbonatée calcique et magnésienne avec les prédominances ioniques suivantes :

-pour les points :

*W042-999(forage), W042-1000(forage), W042-1003(forage), W042-09127(forage) ,*

*W042-1010, (forage) PZ49, PZ50, PZ51, P2, P3 et P1 :*

- $Cl^- > SO_4^{--} > HCO_3$  pour anions
- $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$  pour les catirons

Pour ces points la prédominance est : chlorurée sulfatée et calcique

- pour les autres points d'eau :

*PZ1, PZ2, W 021- 893* : -  $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$  pour les anions

-  $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+$  pour les cations

Pour ces points la prédominance est bicarbonatée calcique et magnésienne .Ce pendant, on remarque une légère variation des faciès d'une compagne à un autre du bicarbonatée calcique vers le chlorurée sulfatée calcique. La prédominance du caractère chlorurée sulfatée est lié à la recharge (éléments transporté par l'oued et donnent leur empreinte à la nappe).

### III.4.2.2.corrélation entre les éléments chimiques :

#### a)Relation chlorure-sodium (différentes campagnes) :

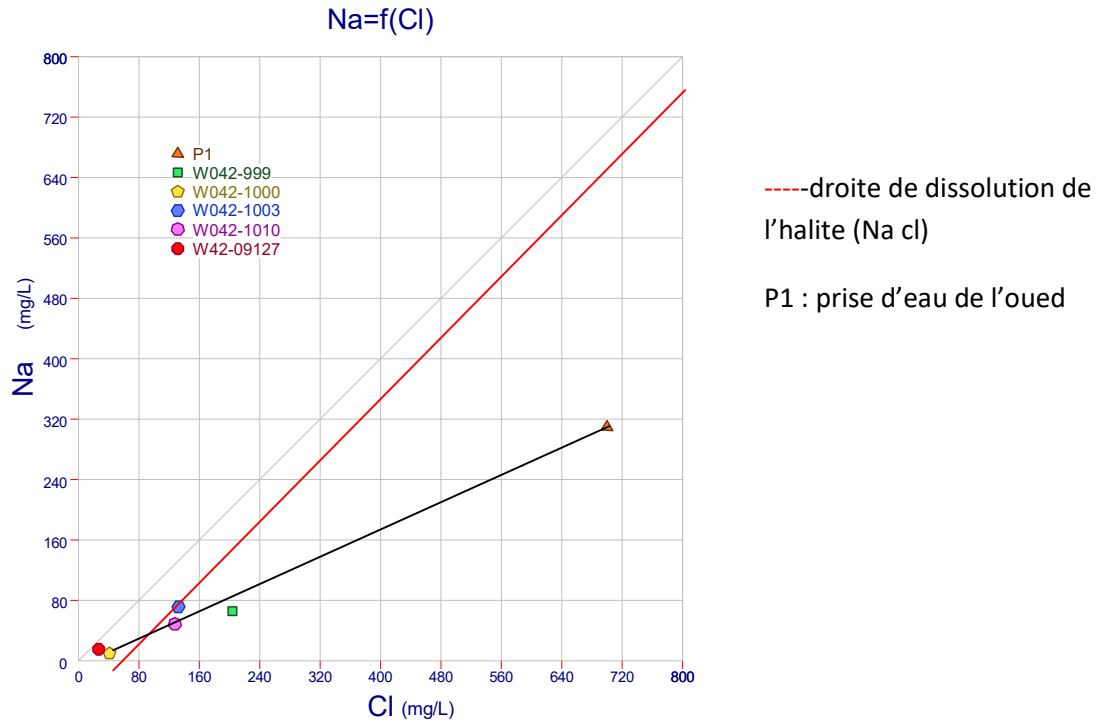
L'examen des concentrations en éléments chimiques (cations et anions) des différentes campagnes de prélèvement montrent toutes un excès en chlorures, bicarbonates et calcium et sulfates. Afin de déterminer l'origine de ces éléments, nous avons établi des corrélations entre les principaux éléments.

#### b) Relation $\text{Na}^+$ - $\text{Cl}^-$

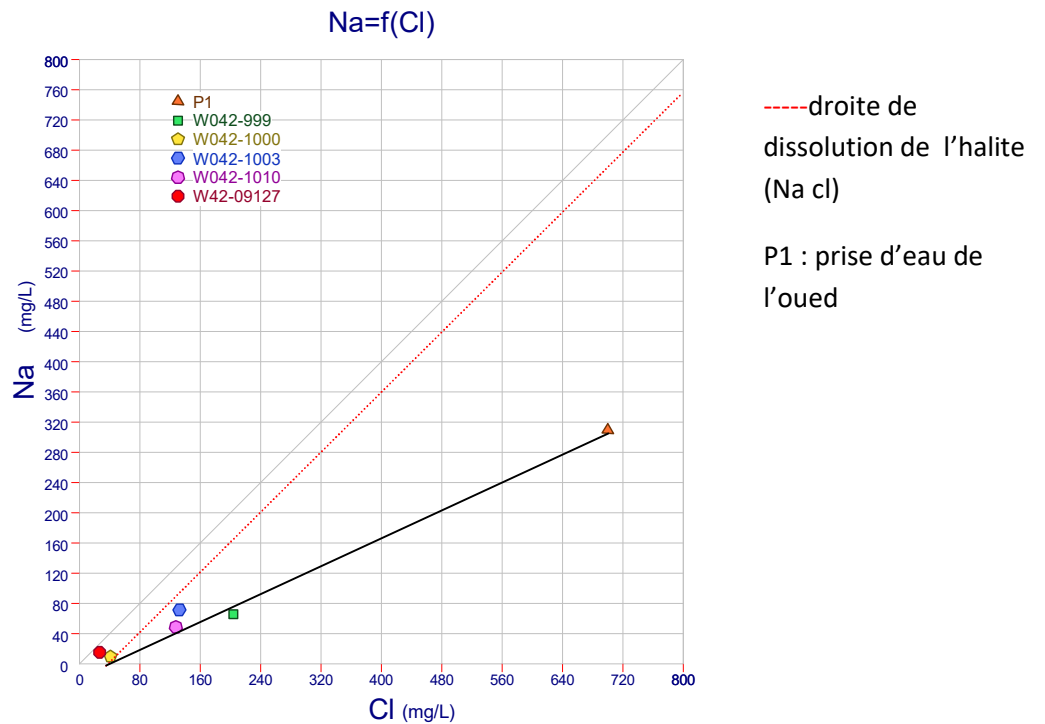
Sur les digrammes  $\text{Na}^+$ - $\text{Cl}^-$  (fig. 28,29,et33), la droite de pente 1/1, représente la droite expérimentale de la dissolution de l'halite ( $\text{Na-Cl}$ ). La répartition de l'ensemble des points montre pour toutes les campagnes un excès en chlorures par rapport au sodium.

-Campagne de 2008 : Les points (1000, 1003, 1010 et 9127) restent proches de la droite de dissolution de la halite ce qui suggère une acquisition de la minéralisation par dissolution dans l'aquifère lui-même et en même temps, ils s'inscrivent le long d'une droite qui passerait par la prise d'eau de l'oued, cette disposition impliquerait un mélange entre les eaux de la nappe et une partie de la recharge qui reste limité durant 2008/2010.

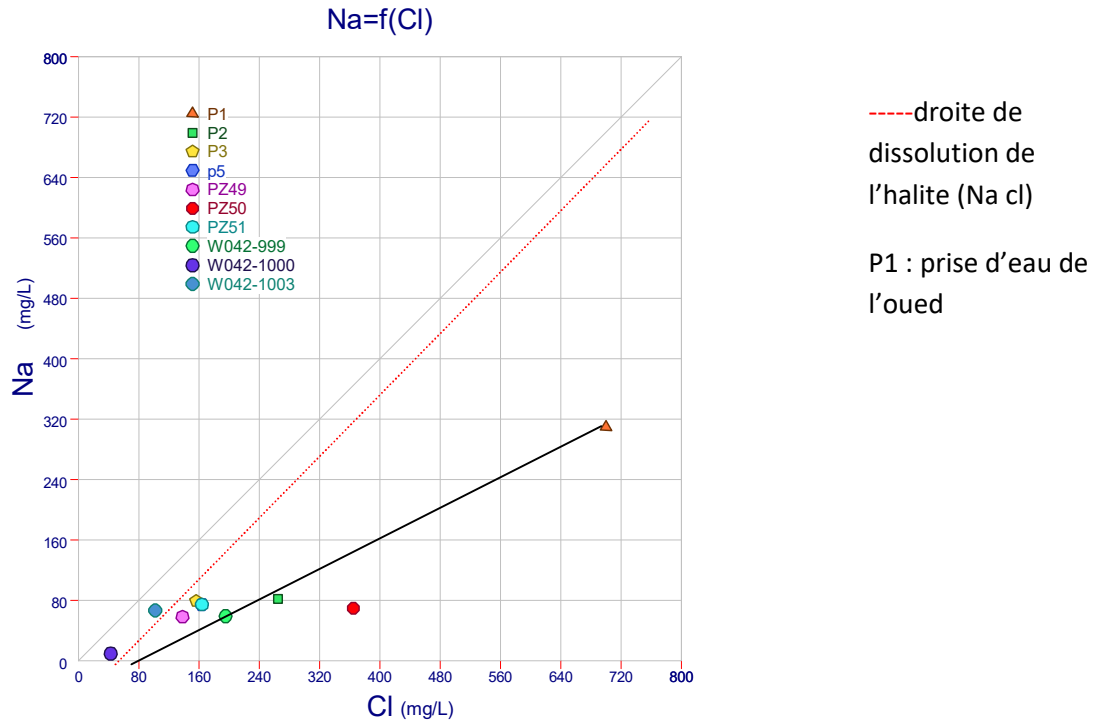
-Campagne 2014 : Durant cette campagne, on observe la même disposition des points, ceux qui sont relativement loin des bassins (1003, 1000, 1010,9127) sont proches de la droite de dissolution alors que ceux qui sont proches (P2, P3, PZ50, PZ49), ils sont plus chargés et relativement plus proches du point P1 de la prise d'eau de l'Oued, pour cette disposition on remarquerait deux choses importantes : le mélange est plus marqué dans ce cas ce qui implique une recharge plus prononcée surtout autour des points proches du bassin et d'autres part l'excès en chlorure qui marque bien son empreinte pour les points proches et qui résulterait beaucoup plus de rejets en amont des bassins(Hammam El OUAN).



**Figure 28: Relation Na- Cl (période 2008)**



**Figure 29: Relation Na-Cl (période 2012)**



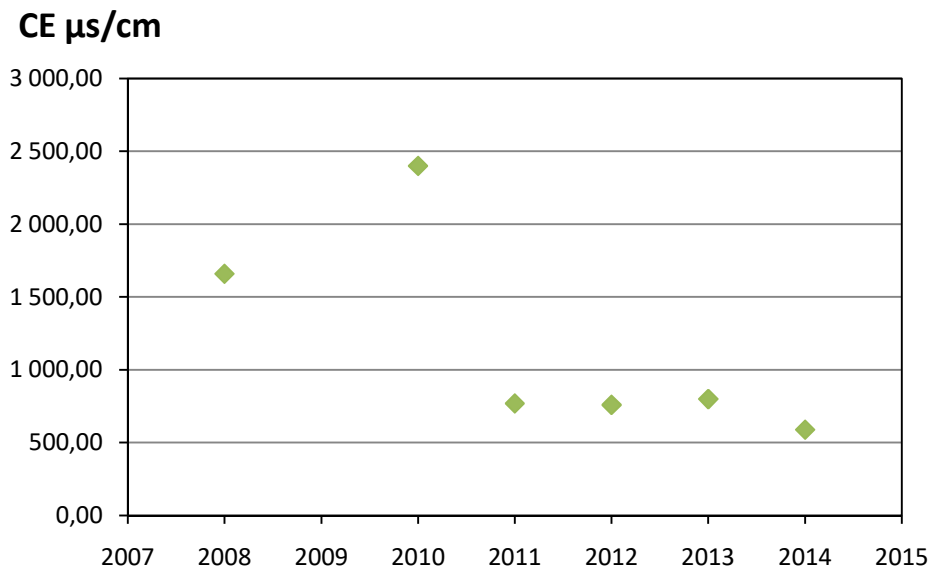
**Figure 30: Relation Na- Cl (période 2014)**

### c) Variation Spatio-temporelle de la conductivité

Nous avons reporté la variation de la conductivité en fonction du temps dans un certain nombre de points dont les données sont disponibles (Fig.31, 32 et 34). Pour l'ensemble des points examinés la recharge est bien mise en évidence pour les années 2011,2012, 2013 et 2014, la conductivité diminue de 2000/2500  $\mu\text{S}/\text{Cm}$  (année 2008-2010) à 800/600  $\mu\text{S}/\text{Cm}$  (année 2011,2012, 2013 et 2014). Ces variations sont conformes aux observations piézométriques et chimiques discutées dans les parties précédentes.

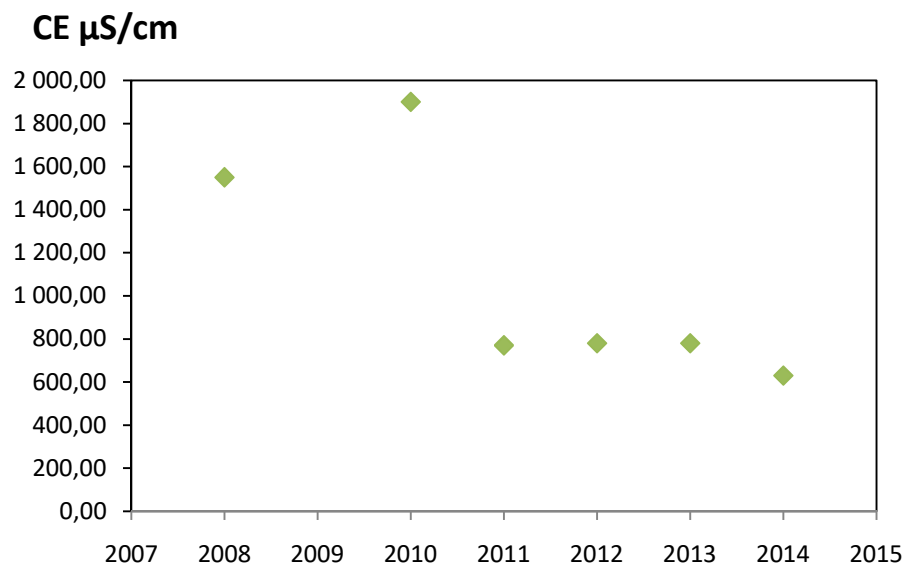


**-Forage w042-999:**



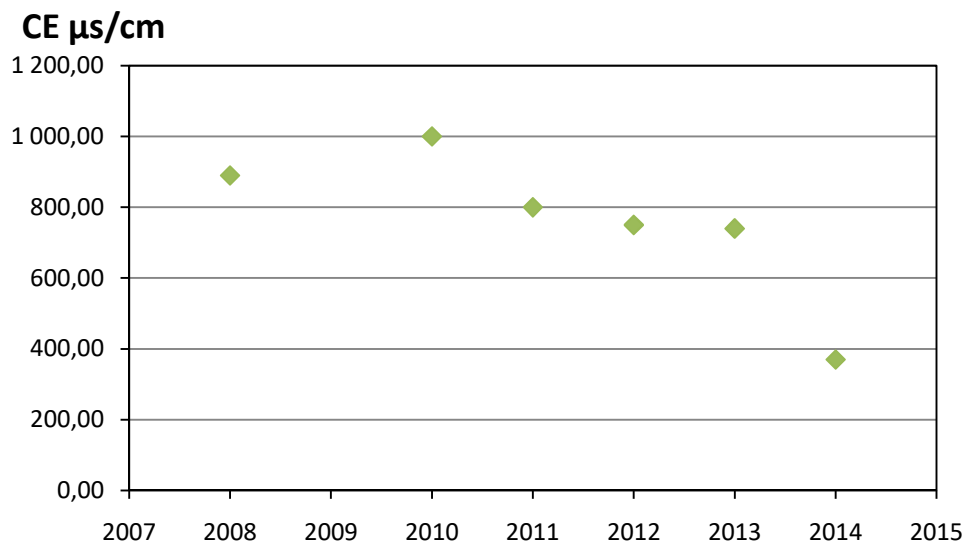
**Figure 31 : Variation de la conductivité en fonction du temps**

**-Forage w042-1003:**



**Figure 32 : Variation de la conductivité en fonction du temps**

**-Forage w042-1000:**

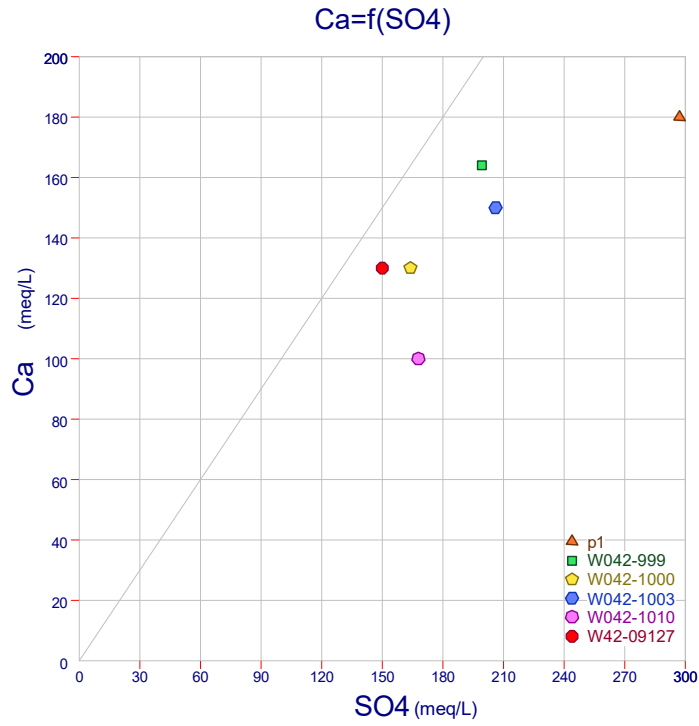


**Figure 33 : Variation de la conductivité en fonction du temps**

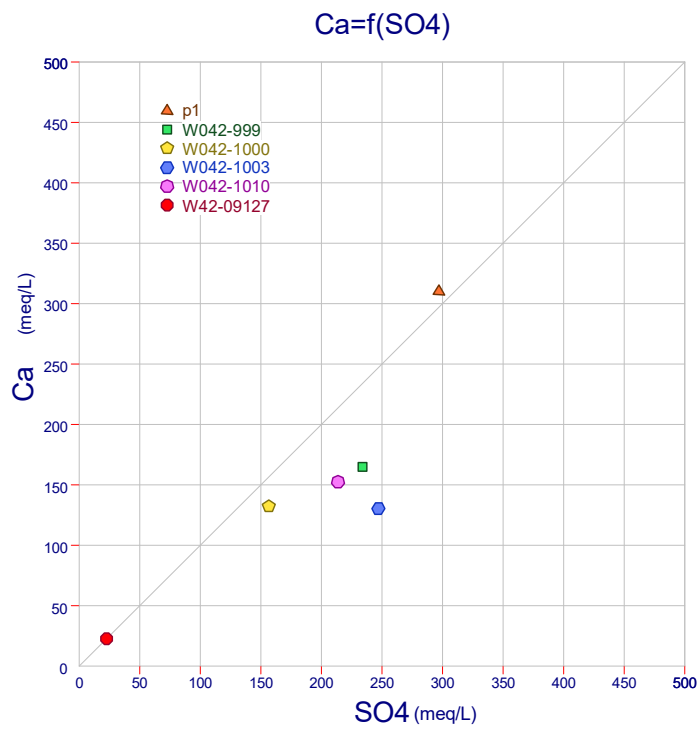
#### **d) Relation Calcium Sulfates**

Pour les différentes campagnes, les diagrammes  $\text{Ca}^{++}$  -  $\text{SO}_4$  (Fig35, 36 et 37) montrent que les points d'eaux se répartissent généralement en dessous de la droite d'équilibre (dissolution du gypse  $\text{Ca SO}_4$ ), ce qui confirme l'apport de l'oued chargé en ces éléments en provenance de l'amont ou le trias affleure sur l'Atlas Blidéen. Mise à part le point de la prise d'eau de l'oued qui montre une fluctuation (excès en sulfates) d'une campagne à une autre. Cette variation serait liée aux rejets dans l'oued en amont notamment dans la zone de Hammam Melouane

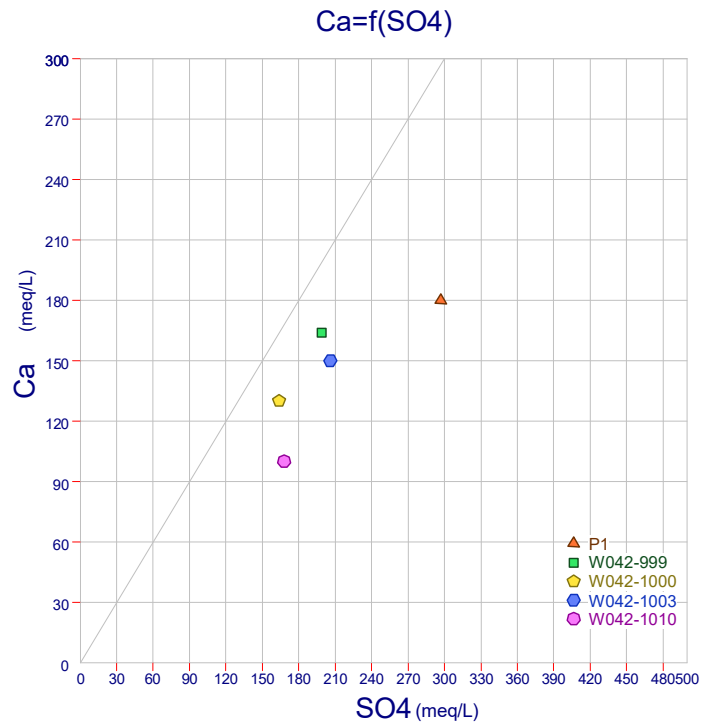




**Figure 34: Couple Ca- SO4 (période 2008)**



**Figure 35: Couple Ca- SO4 (période 2012)**



**Figure 36: Couple Ca- SO4 (période 2014)**

## Conclusion générale

La recharge artificielle des nappes est une technique émergente de développement durable qui a montré jusqu'à présent des résultats encourageant sur les plans social, économique et politique. Elle est considérée comme une solution à plusieurs des problèmes d'alimentation et de gestion des ressources en eau, surtout dans les zones arides et semi-arides. De plus, elle a été identifiée comme un facteur clé dans la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) surtout dans les zones arides. Le pourtour méditerranéen est une de ces zones où les aquifères commencent à être surexploités et les épisodes de sécheresse qui deviennent très fréquents. La nécessité donc de recourir à la recharge artificielle devenait partout une nécessité.

Ainsi, l'étude que nous avons menée sur avait pour objet l'évaluation de l'impact de la recharge artificielle par bassin d'infiltration sur le niveau piézométrique de la nappe Mitidja. Utilisée pour satisfaire les besoins en eau de divers secteurs (potable, irrigation, industrie), ce qui s'est traduit par une baisse générale du niveau d'eau. Cette situation a provoqué une dégradation en quantité et en qualité de l'eau disponible.

L'étude menée dans le cadre de ce mémoire a permis de coupler les données hydrodynamiques (variations du niveau piézométrique de la nappe du quaternaire au niveau des bassins d'infiltration sur la partie centrale de la Mitidja) aux données hydrochimiques sur un certain nombre de cycles de hautes et de basses eaux, les résultats obtenus sont :

- Les fluctuations du niveau piézométriques sur le pourtour immédiat des bassins d'infiltration sont incontestables
- Les années 2008-2010 ont été marquées par des faibles apports
- Les années 2011, 2012, 2013 et 2014 marquées par une bonne pluviométrie et par conséquent montrent clairement une augmentation du niveau piézométrique
- Sur le plan hydrochimique, l'analyse des caractéristiques chimiques ainsi que la variation du chimisme de la nappe sur la même zone a permis de mettre en relief une bonne concordance entre ces données et les données piézométriques en effet :
- Les faciès chimiques sont de tendance bicarbonaté calcique en période des hautes eaux alors que la recharge (par les eaux de l'Oued) les faciès sont plutôt chloruré sulfatés calciques
- La variation spatio temporelle de la conductivité a permis de confirmer la bonne recharge des années 2011, 2012 2013 et 2014.

- Les corrélations entre différents éléments chimiques a permis de déterminer l'origine de ces éléments et leurs modalités d'acquisition ainsi que la confirmation de la recharge durant surtout les années 2011,2012, 2013 et 2014.

Il est clair que le développement du processus de la recharge artificielle inspiré des expériences réalisées dans d'autres pays, va permettre de profiter du volume considérable des eaux de crues, mal exploité jusqu'à présent. Car la ressource doit être garantie et d'une qualité irréprochable, surtout dans l'optique de l'utilisation des eaux non conventionnelles (eau épurée, eau dessalée) dans la recharge.

Pour conclure, nous mettons l'accent sur l'importance de la recharge artificielle en Algérie pour les années avenir, pour la protection et la mobilisation de la ressource en eau, dans l'optique d'une gestion durable de l'eau dans notre pays, même si dans ce domaine nous ne connaissons pas une grande maitrise, il serait souhaitable de développer des études similaires et de les appliquer à plus grande échelle aux nappes aquifères qui connaissent des problèmes identiques de surexploitation.

# LISTE DE FIGURES

## Liste de Figures

<b>Figure 1</b> : le concept de recharge artificielle (Dillon, <a href="http://www.esiro.com">www.esiro.com</a> ).....	4
<b>Figure 2</b> : Bassin d'infiltration.....	20
<b>Figure 3</b> : Puits d'injection profonde.....	22
<b>Figure 4</b> : les trois types de systèmes de recharge des aquifères : infiltration surfacique (À gauche), puits en zone insaturé (au milieu) Et puits d'injection (à droite).....	23
<b>Figure 5</b> : bassins d'Infiltration avec couche de colmatage.....	24
<b>Figure 6</b> : Situation géographique des différentes expériences de recharge Au niveau de la Mitidja.....	31
<b>Figure 7</b> : Bassins d'infiltration (photo Google Earth) .....	32
<b>Figure 8</b> : Schéma du système d'adduction des bassins de la recharge .....	34
<b>Figure 9</b> : Amenée d'eau et bassin de décantation .....	35
<b>Figure 10</b> : Bassin d'infiltration .....	36
<b>Figure 11</b> : Echelle limnométrique au niveau d'un bassin d'infiltration.....	36
<b>Figure 12</b> : Situation de la plaine de la Mitidja.....	41
<b>Figure 13</b> : Découpage cartographique de la plaine de la Mitidja (source ANRH).....	42
<b>Figure 14</b> : Carte géologique simplifiée de la plaine de la Mitidja (source ANRH) .....	44
<b>Figure 15</b> : Fonctionnement des nappes de la Mitidja.....	46

## LISTE DE FIGURES

<b>Figure 16:</b> Pluviométrie moyenne interannuelle (Période 1979- 2012).....	49
<b>Figure 17 :</b> Carte de situation géographique des piézométrique et points d'eau des bassins d'infiltration.....	53
<b>Figure 18:</b> localisation des points du réseau piézométrique de la plaine de la Mitidja (source ANRH).....	54
<b>Figure 19:</b> variations des niveaux de la nappe dans le bassin Harrach-Hamiz en périodes de hautes eaux (2001 à 2013) .....	55
<b>Figure 20:</b> Tendance des niveaux statiques mesurés entre 2011 et 2013 dans le bassin d'El Harrach-Hamiz(basses eaux).....	56
<b>Figure 21 :</b> Variations des niveaux de la nappe dans le bassin Harrach-Hamiz en périodes de basses eaux (2001 à 2013).....	57
<b>Figure 22:</b> fluctuation de la nappe de Mitidja dans la région de T bainat à l'aval des bassins d'infiltration.....	58
<b>Figure 23:</b> Evaluation de la profondeur de la nappe de Mitidja en aval des BV.....	59
<b>Figure 24:</b> carte des faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja (mai, 2010) .....	61
<b>Figure 25 :</b> carte des faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja (novembre, 2010).....	62
<b>Figure 26 :</b> Evolution des faciès chimiques des eaux de la nappe du quaternaire au niveau des bassins d'infiltration (période Mai 2008 et 2010)	64
<b>Figure 27 :</b> Evolution des faciès chimiques des eaux de la nappe du quaternaire au niveau Des bassins d'infiltration (période Mai 2012 et 2014).....	65
<b>Figure 28:</b> Couple Na- Cl (période 2008).....	67
<b>Figure 29:</b> Couple Na-Cl (période 2012) .....	67
<b>Figure 30:</b> Couple Na- Cl (période 2014).....	68
<b>Figure 31 :</b> Variation de la conductivité en fonction du temps.....	70
<b>Figure 32 :</b> Variation de la conductivité en fonction du temps .....	70

## LISTE DE FIGURES

<b>Figure 33:</b> Variation de la conductivité en fonction du temps.....	71
<b>Figure 34:</b> Couple Ca- SO4 (période 2008) .....	72
<b>Figure 35:</b> Couple Ca- SO4 (période 2012).....	73
<b>Figure 36:</b> Couple Ca- SO4 (période 2014).....	73

## LISTE DES TABLEAUX

### Liste des Tableaux

<b>Tableau 1:</b> Objectifs et régimes adoptés pour La Recharge artificielle des nappes.....	27
<b>Tableau 2:</b> Potentiel aquifère de la Mitidja.....	47
<b>Tableau 3:</b> Température mensuelles et annuelle dans la station de Soumaa (ANRH-Période : 1993-2003) .....	50
<b>Tableau 4 :</b> Humidités relatives moyennes mensuelles (%) à la station d'El Harrach.....	50
<b>Tableau 5:</b> ETP mesurée en mm/an (1970-1971).....	51



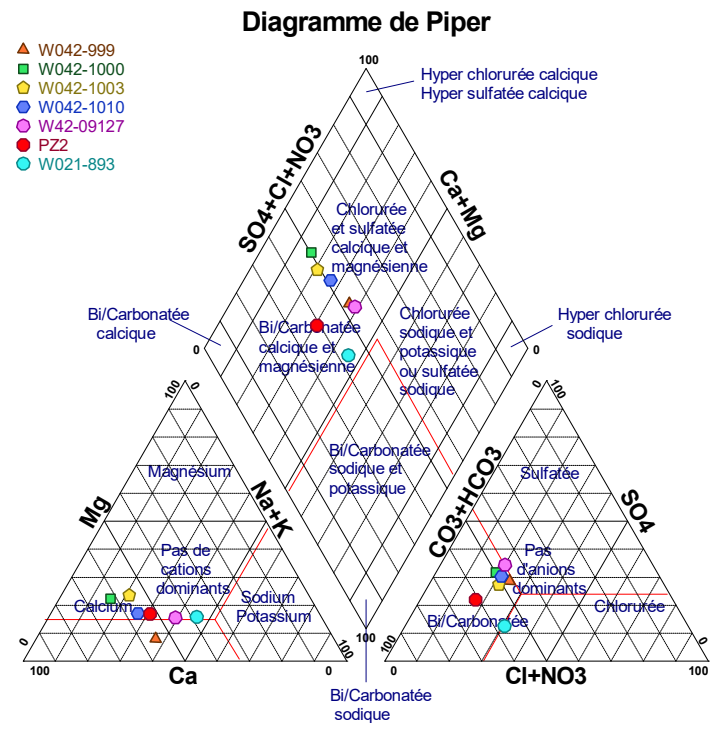
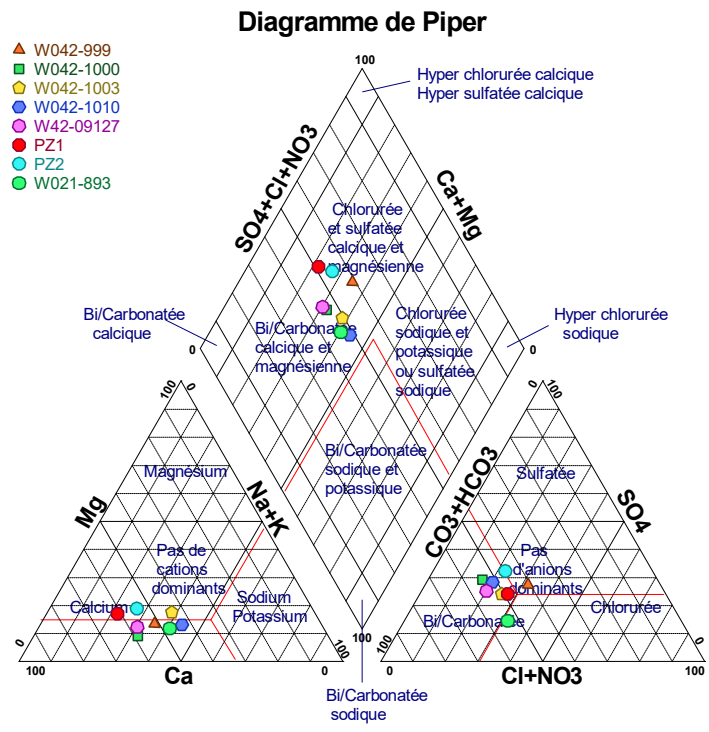


Figure 26 : Evolution des faciès chimiques des eaux de la nappe du quaternaire au niveau des bassins d'infiltration (période Mai 2008 et 2010).

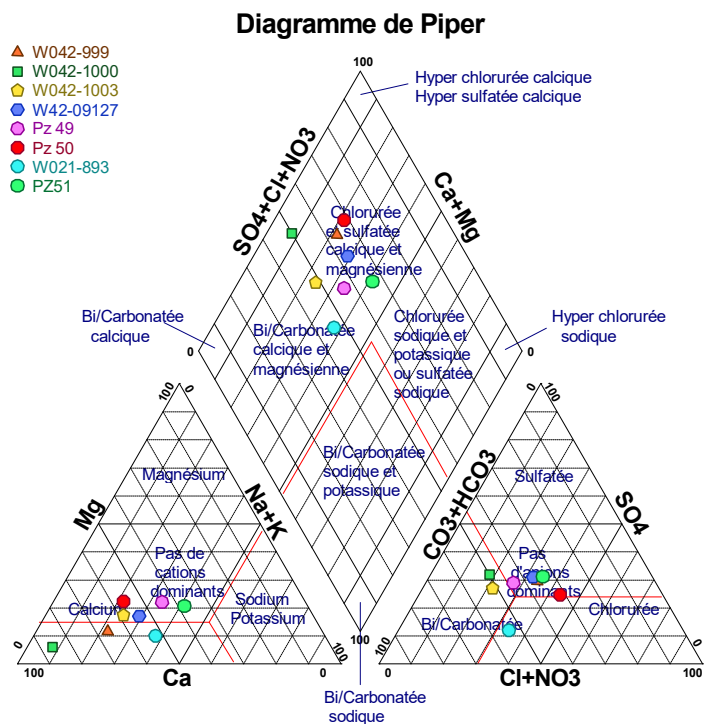
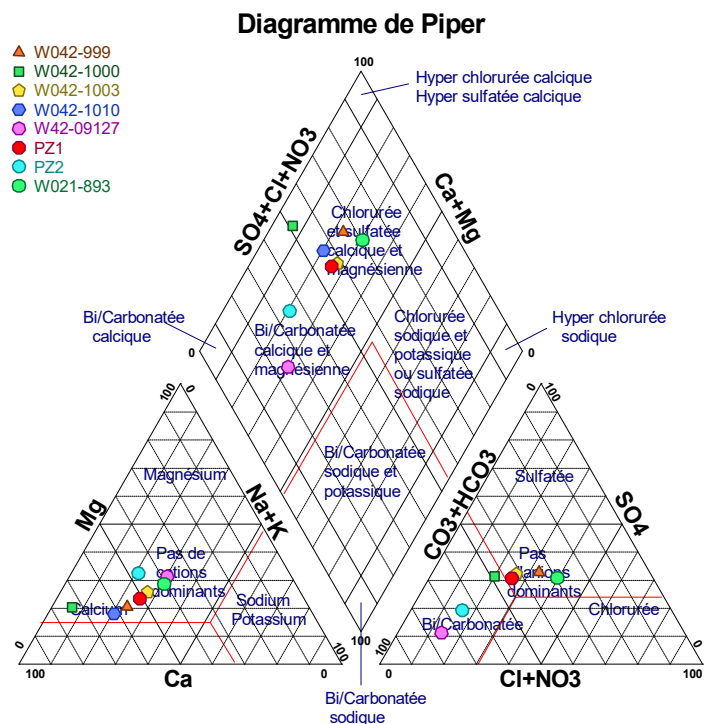


Figure 27: Evolution des faciès chimiques des eaux de la nappe du quaternaire au niveau des bassins d'infiltration (période Mai 2012 et 2014).

# SOMMAIRE

1

## SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I: recharge artificielle de nappe.....	3
1. Aspect bibliographiques.....	3
Introduction.....	3
1.1.Définition de la recharge artificielle.....	3
1.2.recharge planifiée et non planifiée.....	4
1.2.1. Recharge planifiée.....	4
1.2.2. Recharge non planifiée .....	5
1.3.objectifs historique et inconvénients de la recharge artificielle.....	5
1.3.1.objectifs.....	5
1.3.2.Historique .....	6
1.3.3.Inconvénients de recharge artificielle de nappe.....	8
1.4.Facteurs de la recharge .....	9
1.5.Facteurs hydrologiques .....	10
1.6.Facteurs Topographiques.....	11
1.7.Facteurs Géologiques et Hydrogéologiques .....	12
1.8.5.Moyens de recharge artificielle des nappes.....	12
19	
1.8.5.1.Recharge directe depuis la surface .....	13
1.8.5.2.Recharge directe de subsurface .....	13
22	
1.8.5.3.Le choix des différents moyens utilisé pour la recharge artificielle des Nappe ...	13
1.8.5.3.1.Recharge directe depuis la surface.....	13
1.8.5.3.2. Recharge directe de subsurface .....	14
26	
1.8.5.4. Description de quelques méthodes de recharge artificielle .....	14
1.8.5.4.1. Recharge par injection directe dans les forages ou les puits pour atteindre la nappe.....	14
1.8.5.4.2. Recharge depuis la surface par infiltration des eaux à travers les filtres naturelle du sol.....	14

1.1.5.4.3. Recharge depuis la surface en utilisation des eaux usées pour réalimentation ...	15
1.1.5.4.4. Recharge depuis la surface par l'aménagement des cours d'eau .....	15
1.1.6. Méthodes d'estimation de recharge des nappes .....	15
1.1.6.1. Méthode du bilan hydrologique .....	15
1.1.6.2. Techniques géochimiques.....	17
1.1.6.2.1. Technique des isotopes radioactifs.....	17
1.1.6.2.2. L'estimation de la recharge en utilisant le bilan de masse du Cl <sup>-</sup> (chlorure).....	18
1.1.6.2.3. Technique des isotopes stables .....	18
1.1.6.2.4. Comparaison entre les trois méthodes géochimiques.....	19
1.1.6.3. Méthode hydrodynamique .....	19
1.1.6.4. L'estimation de la recharge par des modèles numériques .....	19
1.1.7 Types de recharge artificielle .....	19
1.1.7.1. Ouvrages de Recharge Superficielle (infiltration de surface) .....	19
1.1.7.1.1 Bassins d'infiltration.....	19
1.1.7.1.2 Amélioration du Lit des Cours d'Eaux.....	20
1.1.7.1.3 Fosses et Canaux.....	21
1.1.7.1.5 Epanchage de Crues.....	21
1.1.7.1.4 Gravière .....	21
1.1.7.1.6 Sur-irrigation .....	21
1.1.7.2 Ouvrages de Recharge Profonde.....	21
1.1.7.2.1 Puits, tranchées et Forages d'injection.....	22
1.1.7.2.2 Drains.....	23
1.1.7.3 Aspects de la gestion.....	24
1.1.7.3.1 Le colmatage .....	24
1.1.7.3.2 Le taux d'infiltration .....	25
1.1.7.3.3 Contrôle du colmatage .....	25
1.1.7.4. Expérience internationale dans le domaine de la recharge.....	27
1.1.7.4.1. Recharge artificielle au Pays-Bas .....	27
1.1.7.4.2. Injection et la récupération dans les mêmes puits (IER) .....	27
1.1.7.4.3. Applications de la recharge artificielle dans la région du golfe .....	28
1.1.7.4.4. Recharge artificielle en Palestine .....	28
1.1.7.4.5. Application de la IER en Royaume-Uni .....	29

Conclusion.....	30
I.2. Technique de recharge par les bassins d'infiltration.....	30
I.2. 1. Les expériences L'ANRH sur la plaine de la Mitidja.....	30
4	
I.2. 2. Projet pilote de recharge artificielle par bassins d'infiltration.....	32
I.2. 2.1 Situation géographique du site .....	32
I.2. 2.2. Objectifs visés par l'ANRH.....	33
I.2. 2.3. Dispositif d'infiltration .....	33
I.2. 2.4. Dispositif d'adduction des bassins et équipements utilisés dans l'expérimentation ....	33
I.2. 3. Etat piézométrique de la nappe du quaternaire à l'échelle de la Mitidja (février et août 2001).....	36
I.2. 3.1. Caractéristiques piézométriques.....	36
I.2. 3.2. Suivi Piézométrique.....	38
Conclusion.....	38
15	
Chapitre II : présentation de la région d'étude.....	39
II. 1.1 Situation géographique .....	39
18	
II.2.1 Délimitation de la zone d'étude .....	41
II.2.2 Contexte géologie et hydrogéologie .....	42
II.3.1 Contexte Hydrogéologique .....	44
II.3.2 Aquifère quaternaire (alluviale) .....	45
II.3.3. Aquifère de l'Astien.....	47
II.4.1 Contexte Hydroclimatique.....	47
II.4.2 Pluviométrie .....	47

II.42. la temperature.....	48
II.43. Humidité .....	49
II.44. le Vent.....	49
II.45. Evapotranspiration (ETP).....	49
Chapitre III : discussion et interprétation des résultats.....	52
III. A L'ECHELLE DE LA PLAINE DE LA MITIDJ.....	52
III.17 Méthodologie .....	52
III.2 Evolution piézométrique.....	54
III.21. Variation du niveau piézométrique de la nappe la Mitidja.....	54
III.20. Évolution de la profondeur de la nappe en période des hautes eaux dans le Bassin Harrach-Hamiz.....	54
III.22. Évolution de la profondeur de la nappe en période des basses eaux dans le Bassin Harrach-Hamiz,Secteur du Hamiz.....	56
III.23. 1 Historique.....	57
III.23. 2 Période de hautes eaux bassin eaux .....	58
III.23. 3.Essai d'estimation du volume infiltre .....	59
III.41 Evolutions hydro chimiques.....	60
III.43. Variation du chimisme à l'échelle de la nappe la Mitidja.....	60
III. A9 L'ECHELLE DES BASSINS D'INFILTRATIONS.....	62
III.40. Variation du chimisme à l'échelle des bassins d'infiltration .....	62
Introduction .....	62
III. 42.1 Faciès chimiques.....	63
-Campagne hautes eaux (Mai 2008-2010-2012-2014) .....	63
III.42.2.corrélation entre les éléments chimiques.....	63
a) Relation chlorure-sodium (différentes campagnes).....	63
b) Relation $\text{Na}^+$ -Cl .....	64
c) Variation Spatio-Temporelle de la conductivité.....	66
d) Relation Calcium Sulfates.....	67

Conclusion générale.....72

- 2
- 3
- 4
- 5

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]: **BOUWER, H.** 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering.
- [2]: **MAX A. SAINT-PÉ.** 1971. Alimentation Artificielle Des Nappes, International Association of Scientific Hydrology. Bulletin, 16:2, 7-25.
- [3]: **BOUWER H.** 2000 .Integrated water management, J Agric Water Manage 45:217–228
- [4]: **DVORACEK, M.J. AND PETERSON.** 1970. S.H. Artificial Recharge in Water Resources Management, ASCE National Water Resources Engineering Meeting, 27 pages
- [5] :**MAXA.SANTE- PE** : Alimentation artificielle des nappes ; colloque international sur les eaux souterraines ; Décembre 1970. Taylor & Francis.
- [6] : **AEK ABADA** : l'étude de l'intrusion marine ; thèse de MAGISTER, centre universitaire de khemis melyana ; 2007.P67, 82,
- [7] : **NELSON ACEVEDO** : Méthode d'étude d'un aquifère à nappe libre école polytechnique de Montréal ; décembre 1996. P51, 78, 90,101
- [8] : **MOHAMEDOU LD BABA SY** : Recharge et paléo recharge du système aquifère du Sahara septentrional. Thèse de DOCTORAT en géologie université de Tunisie El Mannar ; janvier 2005
- [9] : **M.GUENDOZ A(2005)** : Applications des techniques géochimique et isotopique à l'étude du système aquifère saharien thèse doctorat d'état [2005] ,243page université de Blida.
- [10]: **EDMUNDS, GUENDOZ.A, MOULLA, ZOUAR SHAND:** P [1997] hydrochemistry and isotopes characteristics of the Sahara system aquifer of sahara-avicenne report (70)-BGS WALLING FORDS
- [11]: **Sumner, M. E, and B. A. Stewart.** 1992. Soil Crusting: Chemical and Physical Processes,
- [12]: **INTERNATIONAL RESOURCES GROUP.** june 2010. Integrated Water Resource Management  
Feasibility of Wastewater Reuse, p172
- [13]: **PETERS, J.** 1998. Artificial recharge of groundwater, Proc Third Int Sump Artificial Recharge of Groundwater, Amsterdam. AA Balkema, Rotterdam, the Netherlands, 474 pp
- [14]: Impacts of wastewater use and disposal on groundwater. British Geological Survey, Hydrogeology Group, technical report WD/94/55, 2000.
- [15]: **BOUWER H.** 1978. Grndwater hydrology. McGraw-Hill, New York, 480 pp.



[16] : **A. AYAD et MESRATI**, ANRH 2005 Expérimentation de la technique de recharge artificielle en zone pilote (Nappe de la Mitidja- Algérie) .ANRH.

[17] : Etude de M.Engalenc – Géohydraulique. 1971

[18] : Rapport Binnie et Partners. 1983

[19] : Rapport Géohydraulique. 1973

[20]: **BAVEYE, VANDEVIVERE**. 1998. Environmental impact and mechanisms of the biological clogging of saturated soils and aquifer materials. Crit Rev Environ Sci Technol, CRC Press 28(2): 123–191

[21] : Etude de Mac Donald. 1992

[22] **ANRH (2013)** : Note sur la recharge artificielle par les bassins d'infiltration de Mitidja (BELAIDI.M, MEKIDECHE.D,BERDJA.f).



# ANNEXES

## ANNEXES

### Résultats des analyses chimiques des points période (compagne Mai 2014):

Point d'eau	Année	Mois	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	OH	NO <sub>3</sub>	pH	CE μ/cm	Résidu Sec	TH	TAC
PZ49	2 014	5	80	40	58	3	138	152	229	0	4	8.3	1070	757	37	19
PZ50	2 014	5	190	75	70	3	365	226	290	0	37	8	2 200	1 426	79	24
PZ51	2014	5	72	39	75	3	164	155	168	9.6	7,2	1 045	603	33	14	

### Résultats des analyses chimiques des points période (compagne Sept 2014) :

Point d'eau	Année	Mois	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	OH	NO <sub>3</sub>	pH	CE μ/cm	Résidu Sec	TH	TAC
P1	2 014	9	180	53	310	4	700	297	226	0	2.6	7,4	2850	1788	67	19
P2	2 014	9	141	61	82	3	265	210	275	0	28.8	7.1	1580	1044	61	23
P3	2 014	9	72	48	79	3	156	160	259	0	9.1	7.2	1126	686	38	21
P4	2 014	5	72	39	75	3	164	155	168	0	9.6	7,2	1045	603	33	14

**P1** : prélèvement au niveau du de déviation.

**P2** : prélèvement forage mosquées en aval du bassin principale à de 200m du PZ50.

**P3** : prélèvement forage en aval du bassin principal.

**P4** : prélèvement forage en aval du bassin principal du PZ51. Les positions des points d'eau et

### Leur évolution de la profondeur en période des hautes eaux :

N°BIRH	N° CATALOGUE	NATURE DE POINT	X	Y	Région	juin-13	mai-14
W041-Pz 49	E007-17432	PIEZOMETR	530750	360400	Mitidja Est	PZ Coupe	46.12
W041-Pz50	E007-17433	PIEZOMETR	530100	360550	Mitidja Est	56.45	56.95
W042-Pz 51	E007-17435	PIEZOMETR	531750	361500	Mitidja Est	44.90	42.22
W042-Pz 7 Tabainet		PIEZOMETR	532375	359550	Mitidja Est	37.02	35.43

## ANNEXES

### Leur évolution de la profondeur en période des Basses eaux:

N°BIRH	N° CATALOGUE	NATURE DE POINT	X	Y	Région	09-13	09-14
W041-Pz 49	E007-17432	PIEZOMETR	530750	360400	Mitidja Est	PZ Coupe	49.96
W041-Pz50	E007-17433	PIEZOMETR	530100	360550	Mitidja Est	56.60	61.50
W042-Pz 51	E007-17435	PIEZOMETR	531750	361500	Mitidja Est	42.40	64.90
W042-Pz 7 Tabainet		PIEZOMETR	532375	359550	Mitidja Est	38.90	

### Résultats des analyses chimiques des points période bassin d'infiltration (compagne Sept 2014):

Point d'eau	Année	Mois	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	pH	CE μ/cm	Résidu Sec	TH	TAC
Bassin 1	2 014	5	98	45	120	5	231	238	229	4	8.3	1700	1149	43	19
Bassin 2	2 014	5	102	43	128	5	262	238	214	1.1	8.1	1700	1133	43	18
Bassin 3	2 014	5	99	48	135	5	254	244	252	1.2	8.3	1800	1151	45	21

### Résultats des analyses chimiques des points d'eaux pour 2008 :

Point d'eau	Année	Mois	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	Résidu Sec	CE μ/cm	pH	TH	TAC
W042-999	2008	10	164	43	110	2	208	199	300	24,0	1,64	1 015	7,3	59	24
W042-1000	2008	10	130	20	70	1	41	164	305	54,0	1,06	658	7,4	41	25
W042-1003	2008	10	150	60	130	1	142	206	433	74,0	1,72	1 065	7,3	63	35
W042-1010	2008	10	100	30	100	1	121	168	305	0,0	1,02	630	7,0	38	25
W042-09127	2008	5	130	28	69	0	104	150	326	16,0	1,89	1 172	7,4	63	17
PZ1	2008	5	150	42	54	0	115	159	320	63,0	1,22	756	7,4	55	26
PZ2	2008	5	121	42	60	0	129	195	275	7,0	1,15	713	7,4	47	22
W021-893	2008	10	208	51	177	0	290	143	529	26,0	2,30	1 427	7,1	73	43

## ANNEXES

### Résultats des analyses chimiques des points d'eaux pour 2010 :

Point d'eau	Année	Mois	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	pH	CE μ/cm	Résidu Sec	TH	TAC
W042-999	2010	11	142	20	93	1	150	178	293	0,0	8,2	1 320	876	44	24
W042-1000	2010	11	100	36	25	1	45	145	229	40	8	505	499	40	18
W042-1003	2010	11	164	70	60	2	130	232	433	54,0	8	1 800	1 197	70	35
W042-1010	2010	11	136	41	64	1	103	188	302	27,0	8	1 400	826	51	24
W042-09127	2010	5	182	62	157	0	167	348	465	34,0	9	2 300,0	1 293,0	71,0	37,0
PZ2	2010	5	179	57	94	11	148	200	558	8,0	7,200	1900	1 324,0	69,000	45
W021-893	2010	5	160	65	180	9	276	122	555	25,0	7	1 914	1 288	67	45

### Résultats des analyses chimiques des points d'eaux pour 2012 :

Point d'eau	Année	Mois	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	pH	CE μ/cm	Résidu Sec	TH	TAC
W042-999	2012	6	165	60	66	2	204	234	244	33,0	7,6	1 800	1 180	66	20
W042-1000	2012	6	133	37	10	2	41	157	244	59,0	7,5	1 000	660	48	20
W042-1003	2012	6	130	70	72	2	133	247	320	69,0	7,8	1 500	924	62	26
W042-1010	2012	6	152	44	49	2	128	214	305	52,0	7,6	1 500	984	57	25
W042-09127	2012	5	23	19	16	3	27	23	153	0,2	7,7	384	256	14	13
PZ1	2012	5	149	69	74	2	150	213	305	28,0	7,5	1 500	877	66	25
PZ2	2012	5	73	50	30	2	48	81	275	20,0	7,6	727	696	39	23
W021-893	2008	6	190	134	140	2	430	410	397	100,0	7,7	2 800	1 814	103	33

## ANNEXES

### Résultats des analyses chimiques des points d'eaux pour 2014 :

Point d'eau	Année	Mois	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	pH	CE μ/cm	Résidu Sec	TH	TAC
W042-999	2014	10	182	32	59	2	195	198	244	34,0	7,8	1 760	1 005	59	20
W042-1000	2014	10	132	9	10	2	43	145	229	40,0	7,6	1 010	613	37	19
W042-1003	2014	10	169	50	67	2	102	216	412	72,0	7,6	1 780	999	63	34
W042-09127	2014	10	181	57	95	3	226	281	336	65	7,8	1 980	1 232	69	28
PZ49	2014	10	80	40	58	3	138	152	229	4,0	8,3	1 070	767	37	19
PZ50	2014	5	190	75	70	3	365	226	290	37,0	8,0	2 200	1 426	79	24
W021-893	2014	5	212	41	145	8	312	122	549	36,0	7,4	2 480	1 423	70	45
PZ51	2014	5	72	39	75	3	164	155	168	9.6	7,2	1 045	603	33	14

## ANNEXES



## ANNEXES