



**Ministère de l'Enseignement
Supérieur et la Recherche
Scientifique**



UNIVERSITE Saad DAHLAB - BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement

MEMOIRE DE MASTER

Filière: Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydrauliques

Thème:

Approche hydrodynamique et hydrochimique

de la relation Oued/Nappe

Cas d'Oued HAMIZ (Champ Captant)

Cadre -contrat de nappe (AGIRE)-

Présentée par :

OUARDI Amira

Devant le jury composé de :

Mme.TAIBI.S

M.C.B

USD Blida 1

Présidente

Mme.BOUZOUIDJA.S

M.A.A

USD Blida1

Examinatrice

Pr.Guendouz Abdelhamid

Professeur

USD Blida 1

Promoteur

Promotion 2019/2020

Remerciement

J'adresse mes sincères remerciements à mon Dieu le grand créateur qui m'a guidé dans mes travaux pour aboutir à ces résultats.

Je remercie en particulier Mr GuendouzA.hamidpour m'avoir suivi et encadré efficacement pendant cette année, sa disponibilité de tous les jours et ses nombreux et fructueux conseils ont fortement contribué à créer l'excellence des conditions de travail.

Je ne peux jamais oublier les gens avec lesquels j'ai partagé les merveilleux moments durant le cycle de formation: je leur dis un grand merci pour les bons moments passés ensemble et aussi pour leur soutien durant tous les moments difficiles en particulier

Mme Bouzouidja Souad

Je voudrais également remercier nos enseignants et tout le personnel du département Science de l'Eau et Environnement pour leurs contributions à ma formation.

Je remercie toute personne, qui de près ou de loin ayant généreusement contribué à L'élaboration de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail A

Mon père et ma mère, Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessés de consentir pour mon instruction, ma réussite et mon bien-être. Vous m'avez appris à travailler dans le respect de soi et de l'autre, dans la dignité, la droiture et la persévérance. C'est à travers vos encouragements que j'ai eu le courage, et c'est à travers vos critiques que je me suis réalisée. J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi. Je vous rends hommage par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance éternelle et de mon infini amour. Que Dieu Tout Puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longévité afin que vous demeuriez le flambeau illuminant le chemin de vos enfants.

Mon frère et mes sœurs ,ma richesse sur cette terre Mohamed Amir,Wissam et bouchra pour leur soutien constant

Mes neveux et ma nièce Hani, Manil et Anais

Mes beaux-frères Aziz et Hichem.

A la mémoire de mon très cher oncle maternelle Boualem, que dieu ait son âme dans sa sainte miséricorde.

Mes amies

Et à tous ceux et toutes celles qui m'ont accompagné et soutenu durant ma formation.

Résumé :

Le présent travail consiste à l'étude hydrodynamique et hydrochimique pour déterminer la relation entre la nappe et l'oued. Il porte sur la zone d'étude du champ de captage de Hamiz, sélectionnée par l'AGIR dans le cadre de son projet de contrat de nappe. Nous avons établi des cartes piézométriques numérisées (ArcGis) et des diagrammes géochimiques à partir des données recueillies auprès des organismes. Ces deux procédés nous ont permis d'observer que le sens de l'écoulement se fait de la nappe vers l'oued. Quant au faciès chimique, il atteste que les réactions sont plutôt dues à des réactions liées à la structure géologique souterraine. Par ailleurs, nous avons complété l'étude par une évaluation de la qualité des eaux des forages AEP.

Mots clés : Nappe, Oued, Champ de captant, Piézométrie Hydrodynamique, faciès chimique, ArcGis.

ملخص:

يتكون العمل الحالي من دراسة هيدروديناميكية وهيدروكيميائية لتحديد العلاقة بين منسوب المياه الجوفية والوادي. يتعلق بمنطقة الدراسة لحقل بئر حامييز ، التي اختارها AGIR كجزء من مشروع عقد المياه الجوفية. لقد أنشأنا خرائط بيوزومترية رقمية (ArcGis) ومخططات جيوكيميائية من البيانات التي تم جمعها من المنظمات. سمحت لنا هاتان العمليتان بملاحظة أن اتجاه التدفق يكون من منسوب المياه الجوفية باتجاه الوادي. أما بالنسبة للسماوات الكيميائية ، فيثبت أن التفاعلات هي بالأحرى نتيجة تفاعلات مرتبطة بالبنية الجيولوجية تحت الأرض. بالإضافة إلى ذلك ، أكملنا الدراسة بتقييم لنوعية المياه في آبار

الكلمات المفتاحية: منسوب المياه، واد ، حقل المستجمعات ، قياس الضغط الهيدروديناميكي ، السلالات الكيميائية ، ArcGis.

Abstract

The present work consists of the hydrodynamic and hydrochemical study to determine the relationship between the water table and the wadi. It concerns the study area of the Hamiz well field, selected by AGIR as part of its groundwater contract project. We have established digitized piezometric maps (ArcGis) and geochemical diagrams from data collected from organizations. These two processes allowed us to observe that the direction of flow is from the water table towards the wadi. As for the chemical facies, it attests that the reactions are rather due to reactions linked to the underground geological structure.

In addition, we completed the study with an assessment of the water quality.

Keywords: Water table, Oued, Well field, Hydrodynamic piezometry, chemical facies,

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Introduction Générale	1

**Chapitre I :
Présentation de la zone d'étude**

1. Introduction	2
2. Situation géographique de la Mitidja	2
3. Contexte géologique et hydrogéologique à l'échelle de Mitidja	3
3.1 Contexte géologique	3
3.1.1 Succession litho stratigraphiques de la Mitidja Est	4
3.2 Contexte hydrogéologique	7
4. Hydrographie	8
5. Présentation à l'échelle de la zone d'étude : champ captant Hamiz	9
5.1 Choix de la zone d'étude et contexte administratif	9
5.2 Caractéristiques Climatologiques de la zone	10
5.2.1 Précipitations	11
5.2.2 Température	13
5.3 Occupation du sol	14
5.4 Agriculture	15
5.5 Population	15
5.6 Assainissement	15
5.7 Ressources en eau	16
Conclusion	16

**Partie II :
Généralité et aspects théorique sur les relations entre oued/nappe**

1. Introduction	18
2. Quelques définitions	19
3. Considérations générales sur les relations Oued –Nappe	20
3.1 Relations quantitatives	20
3.1.1 Les facteurs géologiques et morphologiques	20
3.1.2 Les facteurs hydrodynamiques	21
3.1.3 La composante du débit et du cours d'eau	24
3.1.4 D'autres facteurs réagissent les conditions d'échanges	25
3.2 Relations qualitatives	27
3.2.1 Echanges entre eau de surface et eau souterraine	27
3.2.2 Les risques de contamination entre la nappe et le cours d'eau	29
3.2.3 Les sources de pollutions	29
3.2.4 Ouvrages de captages et périmètre de protection	30
4. Outils d'évaluation des échanges entre eau souterraine et eau de surface	31
4.1 Méthode Géochimique	32
4.2 Méthode hydrodynamique	33
Conclusion	34

**Partie III :
Discussion et interprétation des données**

Introduction	35
Inventaire des données	35
Analyse des données	35
Créations de la base de données	35
Numérisation des données	36
Logiciel Arc-gis	36
Diagramme	37
Apport Hydrodynamique	37

Evolution de la piézométrie le long d'Oued et la nappe (Oued Hamiz/Nappe Mitidja	37
Variation des niveaux piézométriques.....	40
Evaluation de la production des forages du champ captant Hamiz	41
Apport Hydrochimique	42
Représentation graphique des faciès hydro chimiques	43
Etude de rapport caractéristique	48
Evaluation de la qualité des eaux.....	48
Présentation des résultats d'analyse AEP.....	48
Concentrations des paramètres analysés par période	48
Conclusion générale	50
Liste des figures et tableaux	52
Bibliographie	
Annexes	



Introduction Générale

Introduction Générale

Les eaux souterraines et eaux de surfaces sont deux états de la ressource en eau, deux phases du cycle de l'eau, elles présentent des relations et une interdépendance hydrologique si étroite qu'en fait, toutes les deux constituent une source unique.

Les liaisons entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines jouent un très grand rôle, il se définit comme un échange d'eau dans un sens ou dans l'autre entre une nappe d'eau souterraine et un cours d'eau, suivant le niveau de la ligne d'eau et les saisons. Ces interactions sont difficile à observer et à caractériser mais au cours des vingt dernière années sont devenus un important sujet en hydrogéologie où plusieurs outils ont été élaborés afin de déterminer et évaluer les relations existantes entre ces deux masses d'eaux.

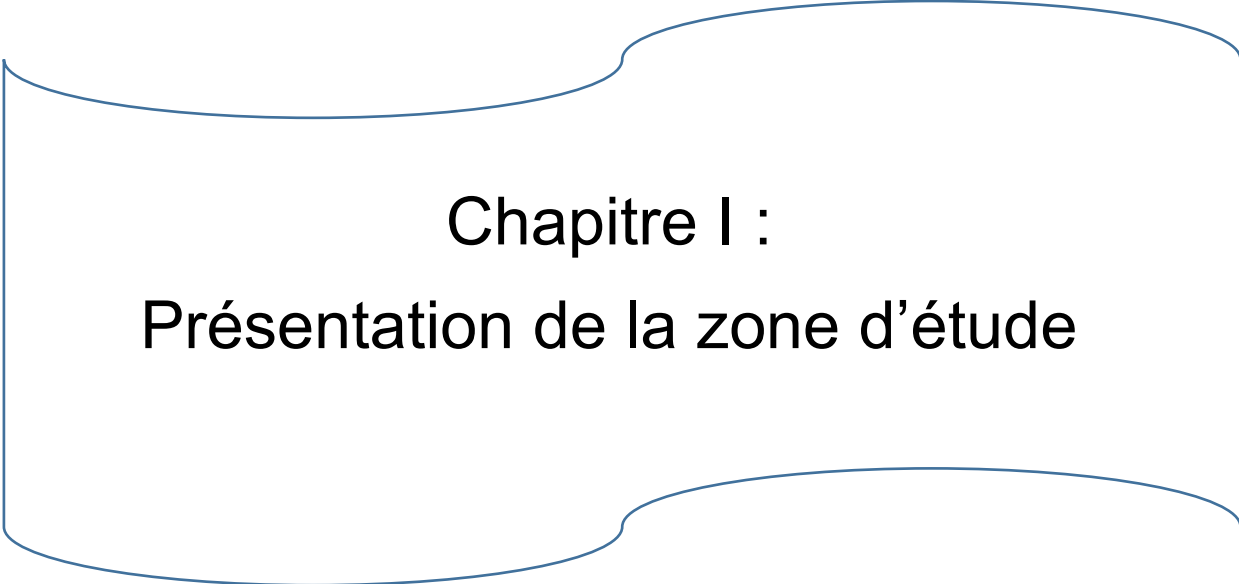
La Baie d'Alger avec ses oueds qui la traversent (Hamiz, El Harrach,...), sa nappe d'eau souterraine (Mitidja), constitue une zone tout indiquée en matière d'étude de la relation Oued-Nappe. A cela s'ajoute le champ de captage de Hamiz, subissant de fortes pressions à la fois anthropiques (prélèvements intenses) et naturelles en raison des effets des changements climatiques. Ce champ captant joue un rôle de premier rang dans l'alimentation en eau potable de l'agglomération d'Alger et de ses annexes ainsi qu'aux besoins de son irrigation. Cette zone a été retenue par l'AGIRE (Agence de la Gestion intégrée des Ressources en Eau) dans le contexte du concept de contrat de nappe. La nappe de la Mitidja et l'oued hamiz seront nos deux supports dans le cadre de mon mémoire et qui ont pour objectif :

- Une meilleure connaissance du mécanisme relation Oued/Nappe ;
- Utilisation des outils d'évaluation des échanges hydrodynamiques et hydrochimiques.

Pour cela, le plan de travail sera présenté comme suit :

- Chapitre I: Généralités sur la zone d'étude, relative à la situation géographique, à l'hydro-climatologie, la géologie et l'hydrogéologie ;
- Chapitre II: Une approche bibliographique sur les généralités et aspects théoriques sur les relations Oued-nappe et les différents outils d'évaluation des échanges ;
- Chapitre III : Nous présentons et discutons les données recueillies pour mettre en évidence le mécanisme des échanges entre Oued – nappe.

A l'issue de ce travail nous présenterons une conclusion générale avec des recommandations issues des résultats de l'étude.



Chapitre I :
Présentation de la zone d'étude

I.1.Introduction :

La plaine de Mitidja constitue une appréciable source d'eau pour la région, tant pour la consommation humaine que pour l'irrigation agricole, à plus forte raison que la région est aussi un axe industriel stratégique tant au niveau local que national. Ce rôle qu'elle détient est dû à sa situation géographique, à la fertilisation des sols. Depuis des années, les eaux souterraines sont menacées par la surexploitation et une pluviométrie souvent défavorable, entraînant une dépréciation notable de la nappe phréatique. La baisse du niveau de la nappe a par ailleurs entraîné une détérioration de la qualité de l'eau et une augmentation de l'intrusion du biseau salé. Elle pourrait être également polluée par les rejets urbains, industriels ainsi qu'agricole notamment par les engrais et les pesticides. C'est pourquoi un intérêt particulier doit être accordé à cette nappe.

I.2.Situation géographique de la Mitidja:

Avec une superficie d'environ 1400 km², une longueur de 100 km et une largeur entre 5 et 20 km, la plaine de la Mitidja se considère comme la plaine la plus riche en Algérie que ce soit par ces terres fertiles ou par ces ressources en eau.

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 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 principaux bassins sont:

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

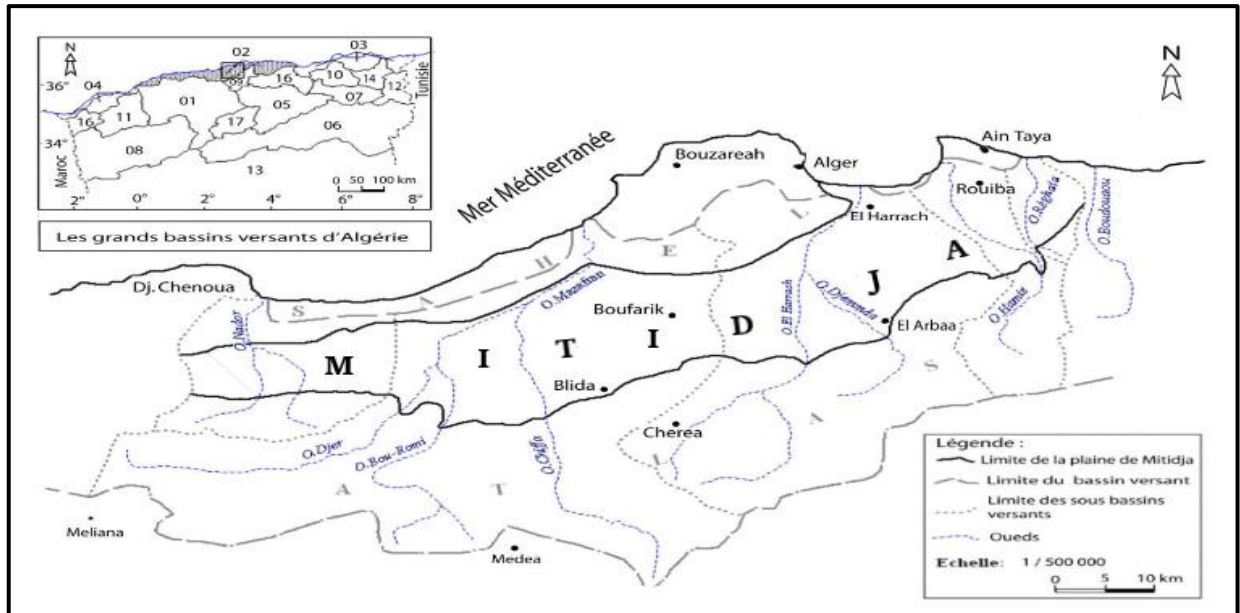


Figure.1 Situation géographique de la plaine de la Mitidja

I.3. Contexte géologique et hydrogéologique à l'échelle de Mitidja:

I.3.1. Contexte géologique:

La structure de la plaine de la Mitidja est celle d'un synclinal remblayé par des alluvions. Les dépôts du Miocène, du Pliocène et du Quaternaire ont réagi comme une couverture flexible durant l'affaissement du bassin entre les unités ascendantes de l'Atlas et du Sahel.

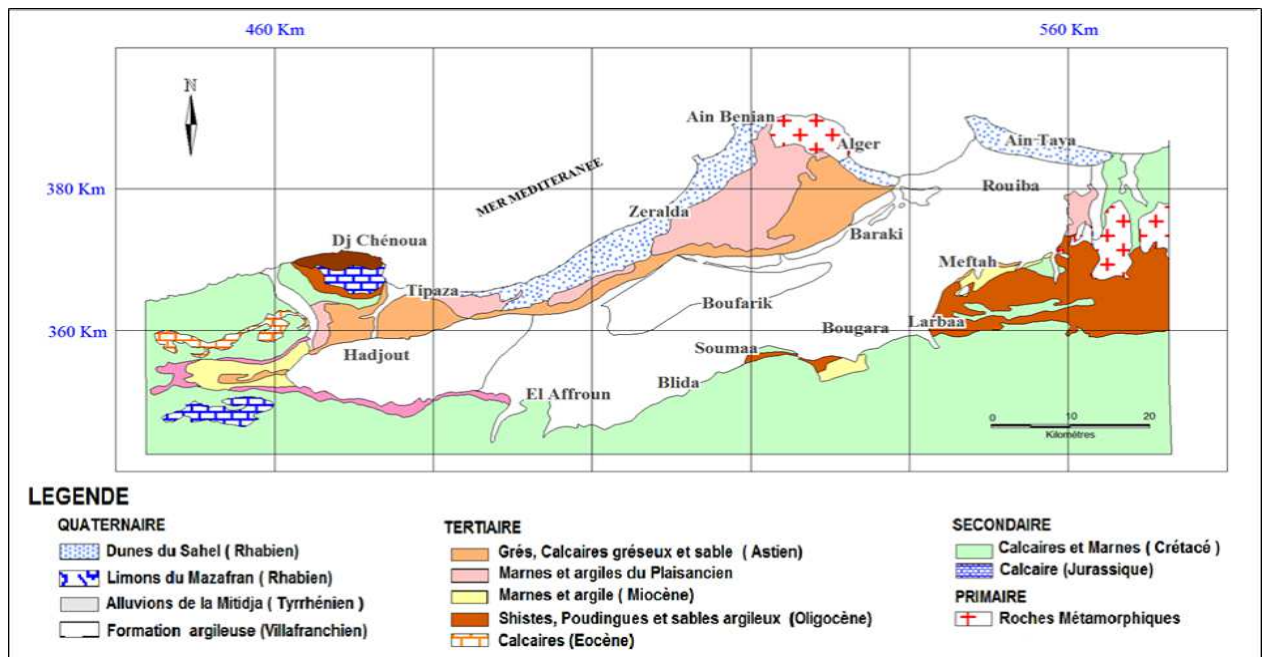


Figure.2 Carte géologique de la Mitidja [1]

Le remplissage de la plaine de la Mitidja depuis le Miocène se caractérise par une grande hétérogénéité verticale et latérale des dépôts sédimentaire sous l'action conjuguée de facteurs tectonique (jeu des failles et phénomène de subsidence) et climatique

Le bassin de la Mitidja s'est défini en tant qu'unité structurale à la fin du Miocène après que ce soient produit les principaux mouvements de la période de l'orogénèse alpine. Les phénomènes d'affaissement et de sédimentation se poursuivent pendant le Pléistocène en modifiant la forme et la distribution des dépôts.

Ces mouvements structuraux ainsi que d'importantes variations du niveau de la mer expliquent la succession des formations stratigraphiques rencontrées au droit de la plaine : au Miocène, l'affaissement du bassin s'accompagne de l'apparition de roches volcaniques en périphérie, notamment sur la bordure sud. Le Pliocène correspond à une longue période de sédimentation avec une alternance de phases de dépôts et de phases d'érosion en relation avec les fluctuations du niveau de la mer. Il se caractérise notamment par :

- Dépôt de couches épaisses de marnes bleues au Plaisancien (en mer profonde). Il constitue le substratum;
- Dépôt de marnes sableuses et de calcaires gréseux à l'Astien (en mer peu profonde) ;
- Dépôt de marnes et cailloutis au Villefranchien ;
- Dépôt de sédiments argilo.gréseux, glauconieux et coquillers au Calabrien.

I.3.1.1.Succession litho stratigraphiques de la Mitidja Est:

Les variations verticales de faciès de la base vers le sommet se présentent comme suit :

1. Le Tertiaire :

1.1. Miocènes et roches plus anciennes :

Ces roches sont présentes dans le cœur de l'anticlinal du sahel sous le bassin de la Mitidja, et affleurent par endroits dans l'Atlas sur la bordure Sud du bassin. Dans le secteur considéré, le miocène affleure le long de l'Atlas entre Meftah et Khémis El Khechna. Il est constitué de marnes contenant des lentilles de calcaire de 40 à 50 m d'épaisseur appartenant au vindobonien. Parfois par des lentilles de grés du burdigalien

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

d'épaisseur variable. Au Nord de la ville de Rouiba le miocène est présent. Les roches plus anciennes qui sont représentées par les roches volcaniques du tertiaire (rhyolites et andésites) affleurent dans les régions de Khémis El Khechna. Les roches métamorphiques du primaire du socle cristallin apparaissent sous formes de petits affleurements isolés (massif d'Alger, cap Matifou) et à l'Est de Khémis El Khechna, ils sont représentés par des schistes, micaschistes et le gneiss.

1.2. Le Plaisancien :

Constitué principalement de marnes bleues et localement de bancs de grés faiblement glauconieux, cet étage peut atteindre une puissance considérable sous le Sahel, et sous le Nord de la Mitidja. L'épaisseur de 100 m ne paraît nullement exagérée; mais elle diminue rapidement vers le sud. Les affleurements de marnes en surface sont uniquement visibles dans les Collines du Sahel, au cœur d'un plissement anticlinal et dans la zone de Khemis El Khechna, Reghaïa où ils constituent la fermeture du bassin.

1.3. Astien :

Le début de l'Astien coïncide avec un mouvement tectonique certain ; la profondeur de la mer a subitement chuté, ce qui a permis l'invasion d'une faune néritique. Les courants sous marins ont été assez violents pour provoquer le ravinement de la marne plaisancienne. La formation de l'Astien est bien développée sur le côté Sud de la Mitidja. Les lithologies les plus souvent rencontrées sont des calcaires ou calcaires sableux, des grés, des argiles, calcaires jaunes et calcaires à faciès récifal. Cette série présente une épaisseur moyenne entre 100 et 130 m, elle se trouve à des profondeurs allant de 250 à 300 m. On la rencontre particulièrement à l'est de Rouïba à de faibles profondeurs.

Le Quaternaire :

2.1. Formation d'El.Harrach : Villafranchien (Calabrien)

La formation d'El.Harrach est représentée par une séquence relativement uniforme d'argiles plastiques jaunes ou grises, par endroits légèrement caillouteux et contenant un petit nombre de lentilles de graviers de 2 à 6 m d'épaisseur. A l'Est de la Mitidja, l'érosion a fait disparaître la plupart des matériaux, d'où l'absence d'argile autour de Rouïba. A

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

l'exception des affleurements d'El Harrach, cette formation est masquée par des dépôts alluviaux plus récents.

Quelquefois la formation d'El.Harrach en raison de la présence des graviers a été confondue avec la formation alluviale sus.jacente qui est essentiellement caillouteuses. Donc il est très difficile d'obtenir des informations sur les variations à l'intérieur même des dépôts de cette formation, les forages ayant pénétré dans celle.ci à une profondeur suffisante sont très rares. L'épaisseur moyenne de la formation au centre du bassin est estimée à 100 m et diminue progressivement en allant vers le sud.

2.2. Formation de la Mitidja : Soltanien.Tensiftien (Tyrrhénien)

La formation de la Mitidja est composée principalement d'alluvions grossières (graviers, galets, limons et argiles en quantités variables). La puissance des alluvions varie entre 100 et 200 m au centre et devenant de plus en plus faible en allant vers les bordures et la baie d'Alger.

2.3.Dépôts récents :Rhabien (Flandrien)

Ils ne représentent qu'une partie relativement peu importante du remplissage du bassin de la Mitidja et regroupent les dépôts de sables dunaires, les dépôts de piémont de l'atlas ainsi que les sables et les graviers provenant des lits des oueds. La baie d'Alger et la région de Reghaia sont bordées par des dépôts marins et des dunes. Cette formation est constituée de sables meubles éoliens ou de sables dunaires épais de 20 à 40 m, de graviers et de couches fossilifères consolidées ou cimentées. Le piémont de l'atlas est couvert de débris se composant de gros éléments anguleux dans une matrice de limons argileux provenant d'un cône de déjection et d'une solifluxion de matériaux du massif Blidéen.

Des couches de graviers sont également présentes (Mutin, 1977). Les alluvions récentes qui n'apparaissent que dans les lits des cours d'eau et ne font que quelques mètres d'épaisseur se composent de sable fin gris, de graviers et de galets.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Système	Etage	Lithologie	Epaisseur (m)	Hydrogéologie	
QUATERNAIRE	Holocène	Actuel/récent			
	PLEISTOCENE	Flandrien/Rharbien	Limons, argiles limoneuses	20	Perméabilité faible
			Sables consolidés à lumachelles	30	Perméabilité bonne Nappe phréatique du sahel
		Soltanien/tensifien	Alternance de gravier et d'argile	150	Perméabilité généralement élevée Ressources en eaux importantes
Calabrien/Villafranchien	Argile et cailloutis	100	Perméabilité faible. Substratum de la nappe Des alluvions de la Mitidja		
TERTIAIRE	PLIOCENE	Astien	Grès, sable, calcaires	120	Perméabilité variable Nappe libre devenant captive sous la Mitidja
		Plaisancien	Marnes et argiles bleues	200	Perméabilité faible Substratum de la nappe de l'Astien Pas d'eau
	MIOCENE	Vindobonien	Marne à lentilles de calcaire	50	Perméabilité très faible
		Burdigalien	Marne à lentilles de grès	-	Perméabilité mais ressources en eaux faibles
	EOCENE	Marnes et argiles noires			Perméabilité très faible

Figure.3 Litho stratigraphique Synthétique de la Mitidja Est [2]

I.3.2.Contexte hydrogéologique:

La litho stratigraphie de la Mitidja permet de distinguer quatre (04) ensembles lithologiques du bas vers le haut:

- Une série marneuse (Miocènes .Plaisancien) formant le substratum de l'Astien considéré comme imperméable.
- Un ensemble calcaire.sablo.gréseux correspondant à l'Astien.
- Un ensemble argileux contenant par endroit du sable et du gravier correspondant à la formation d'El Harrach.
- Un ensemble gravelo.sableux dit « Alluvions de la Mitidja ».

La coupe géologique ci-dessous montre deux aquifères: celui de l'Astien et celui de la Mitidja séparés par la formation d'El Harrach, sauf dans la partie nord de la coupe où ils sont en contact direct. Dans la plaine de la Mitidja Est on distingue deux réservoirs aquifères :

- .Les alluvions du quaternaire (formation de la Mitidja) ;
- .Les formations gréseuses ou grésocalcaire de l'Astien.

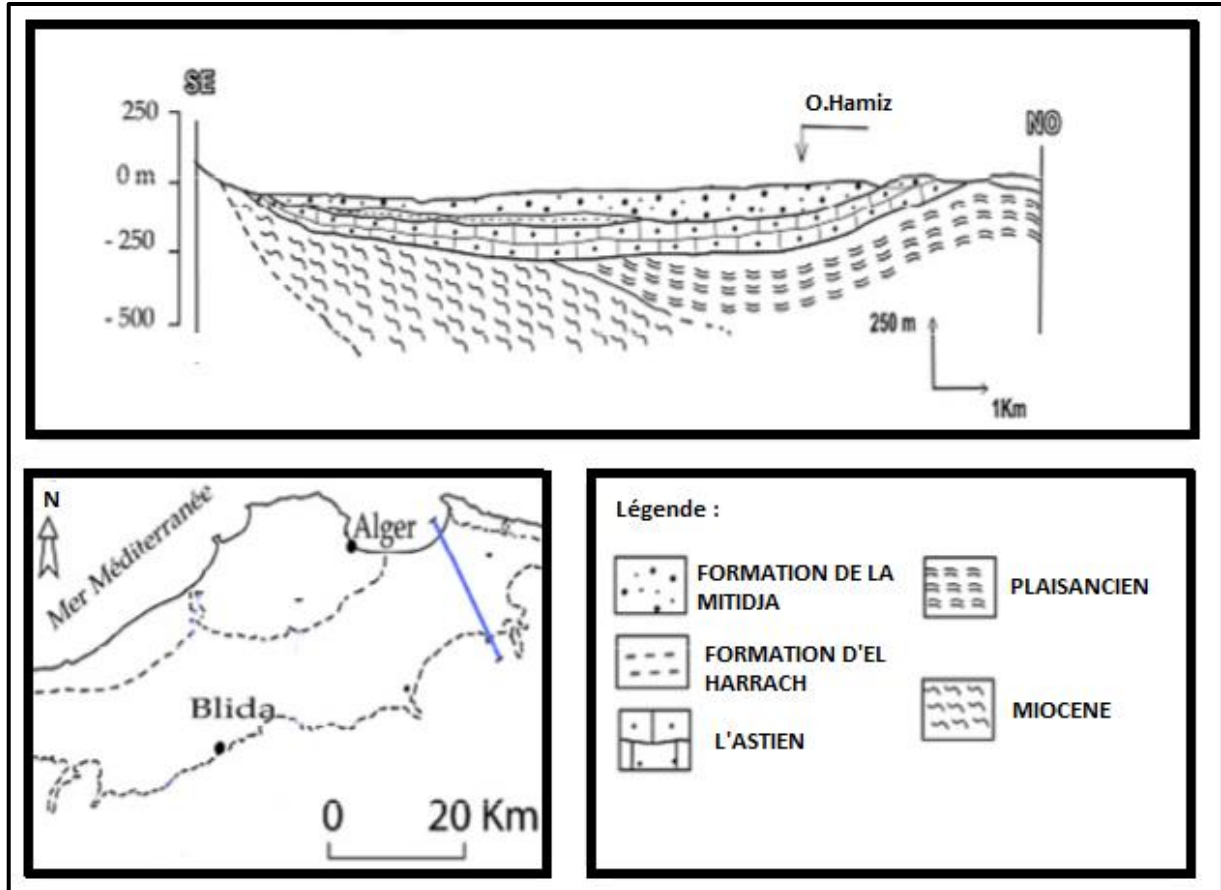


Figure.4 Coupe géologique de la Mitidja Est

I.4. Hydrographie:

La Mitidja est connue par ces cinq principaux Oueds drainent la plaine , d'Ouest à Est : Oued Nador (réunion des oueds Bou Ardoun, Meurad et Bourkika), Oued du Mazafran (résultant d'oued Djer grossi de Bou Roumi et la Chiffa avec l'oued Kébir), Oued El Harrach (reçoit sur sa rive droite l'oued Djemaa et l'oued Smar) et Oued El Hamiz et Oued Réghaïa. Ces trois derniers oueds se jettent directement dans la mer sans rencontrer d'obstacles de relief.

La plaine de la Mitidja Est se compose de trois sous bassins :

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

-Le sous bassin d'Oued El Harrach : Avec une superficie de 1260 km² et une longueur de 67km, l'Oued El Harrach se classe parmi les principaux oueds qui sillonnent la Mitidja. Il est formé par la confluence de deux principaux Oueds : Oued Okacha et Oued Mekka au Sud.Ouest de Hammam Melouane.

-Le sous bassin d'Oued Hamiz est situé à l'Est de la plaine.

-Le sous bassin de Réghaia est située à la limite au Nord.Est de la plaine de la Mitidja.

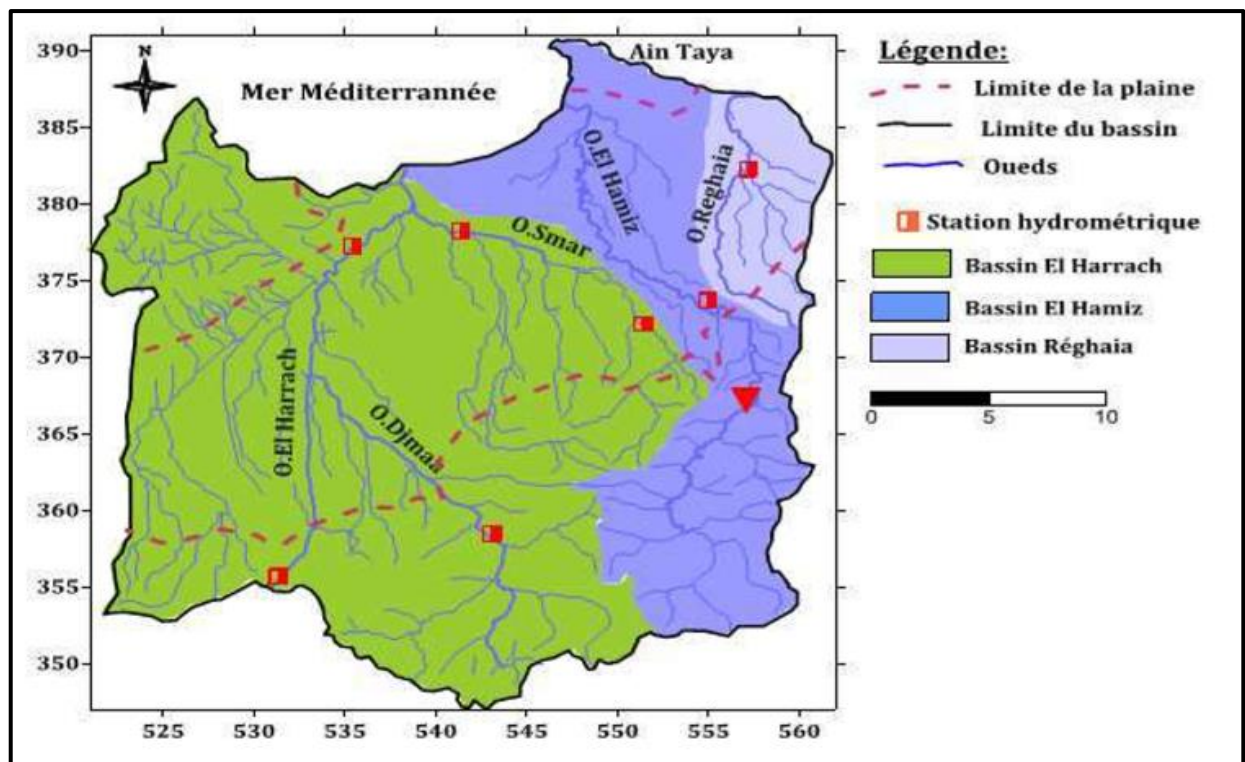


Figure.5 Les sous bassins versants de la Mitidja Est [2]

I.5.Présentation à l'échelle de la zone d'étude : champ captant Hamiz

I.5.1 Choix de la zone d'étude et contexte administratif :

La zone d'étude choisie correspond à la partie du champ de captage Hamiz, les ouvrages d'exploitation au niveau de ce secteur est de 20 au total avec une production annuelle de 11hm³, jouant un rôle important dans l'alimentation en eau potable de l'agglomération d'Alger et de ses annexes. Cette zone est sujette à la surexploitation de la ressource et de la pollution, vu l'expansion urbaine, industrielle et surtout agricole.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Le secteur d'étude est bien connu puisque la région a fait l'objet de plusieurs études, pour cela nous avons choisi Hamiz comme terrain d'étude qui est inscrit dans le concept du contrat de nappe afin de déterminer la relation existant entre la nappe de Mitidja et l'Oued Hamiz.

La région est une partie intégrante du sous bassin versant de l'Oued El Hamiz. Elle couvre une superficie de 10 Km² et comprend 2 communes Rouiba et Dar el Beida, elle est limitée :

- Au Nord par la commune d'Ain Taya ;
- Au Sud par la commune de Hammadi ;
- A l'Ouest et à l'Est par deux affluents de l'Oued El.Hamiz.

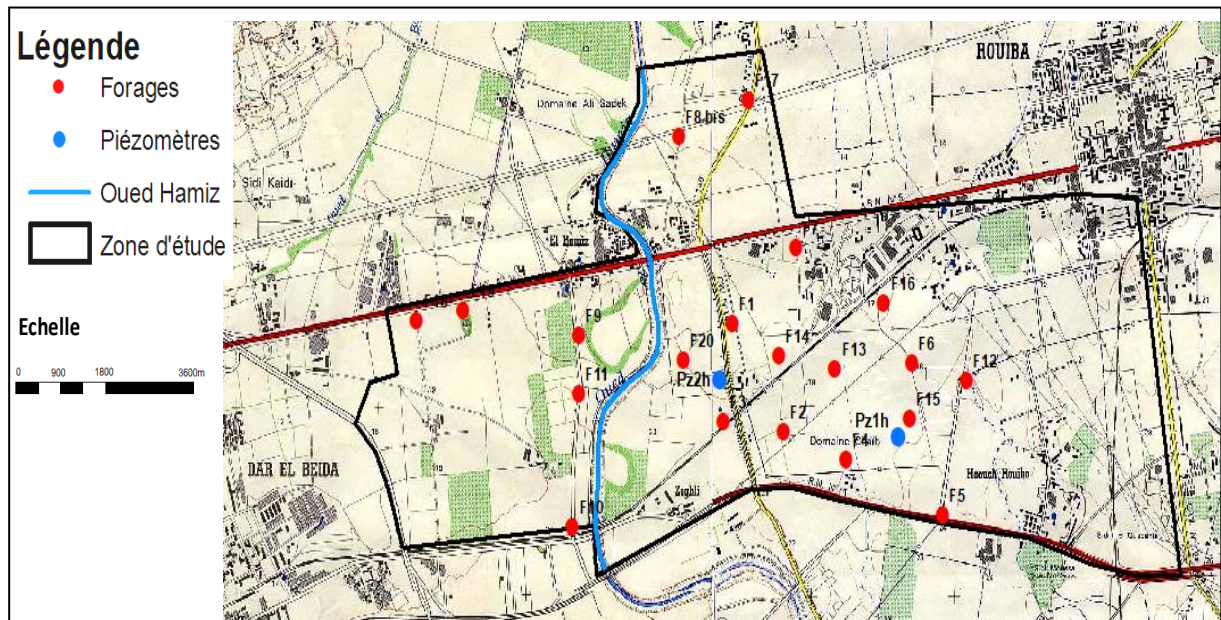


Fig.6 Carte de zone d'étude

I.5.2.Caractéristiques Climatologiques de la zone :

El Hamiz se situe dans une zone à climat Méditerranéen à étage bioclimatique subhumide un hiver doux et humide et un été chaud et sec. Afin de caractériser les tendances générales des différents paramètres climatiques de la zone d'étude, on a utilisé une série de données climatiques mensuelles allant de 2000 à 2018 enregistrées au niveau des stations Barrage Hamiz, Reghaia et Dar El Beida.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Stations	Codes ANRH	Coordonnées LAMBERT		Altitude en m
		X	Y	
Barrage Hamiz	020602	558.55	367.4	130
Reghaia	020632	557.8	382.25	20
Dar El Beida	020611	547,4	379,6	24

Tableau.1 Caractéristiques générales des stations pluviométriques

I.5.2.1. Précipitations :

a) Précipitations moyennes annuelles :

Les précipitations sont très irrégulières d'une année à l'autre. Leur répartition au cours de l'année n'est pas homogène, elles dépendent de plusieurs facteurs qui sont la latitude et la continentalité. La pluviométrie moyenne annuelle pour la période (2000.2018) est de 752.44 mm ; 656.46mm et 602.35mm respectivement pour les stations Hamiz ,Reghaia et Dar el beida. D'après le tableau 2 et figure 6; le mois le plus pluvieux est Novembre pour les stations de Dar El Beida et Reghaia, et le mois de décembre pour la station de Hamiz. Les plus faibles précipitations sont enregistrées au mois de Juillet et Août au niveau des trois stations.

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuelle
HamizBge	26	58	111	117	110	103	82	75	53	12	1	5	752
Reghaia	27	49	119	100	97	85	65	53	49	6	1	6	656
Dar El Beida	25	51	105	94	79	67	57	46	39	28	1	10	602

Tableau.2 Précipitations moyennes mensuelles et annuelles (2000/2018)

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

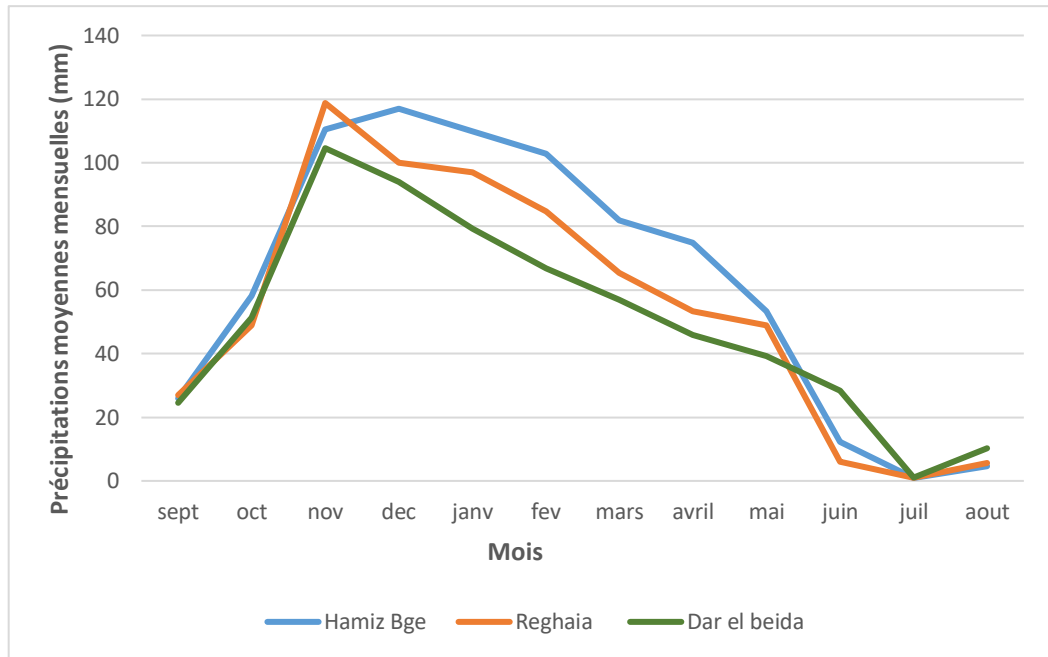


Figure.7 Variation des précipitations moyennes mensuelles (2000.2018)

b) Précipitations annuelles :

La pluviosité moyenne annuelle aux différentes stations est d'environ 600 mm, avec une valeur minimale de 316mm enregistrée en 2013 à la station de Dar El Beida, et un maximum de 1089 mm à la station de Hamiz barrage en 2011.

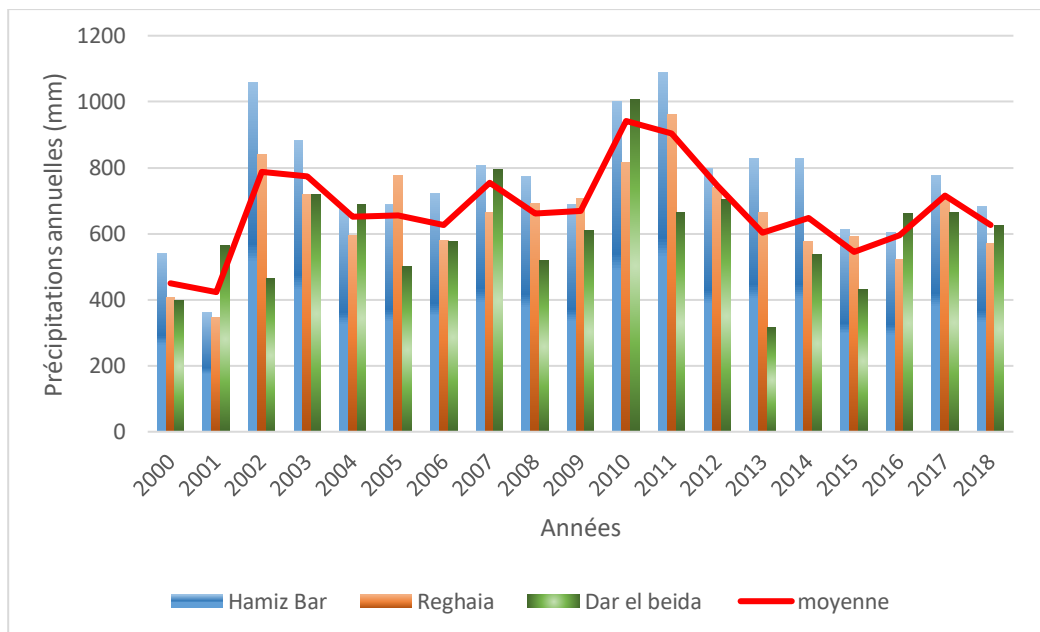


Figure 8 Histogramme des précipitations moyennes annuelles (2000/2018)

I.5.2.2.Température :

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui entre dans l'estimation du bilan hydrologique. Dans le cas de ce paramètre, les seules données obtenues dans le cadre de mon mémoire sont celles relevées au niveau de la station de Dar El Beida. Les températures ont été enregistrées entre 2000 et 2018.

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
T°C Min	18	15	10	7	6	6	8	10	13	16	20	20
T°C Max	30	27	21	18	17	17	20	22	25	29	32	33
T°C Moy	24	21	16	13	11	12	14	16	19	23	26	27

Tableau.3 Variation de la température de Dar El Beida (2000/2018)

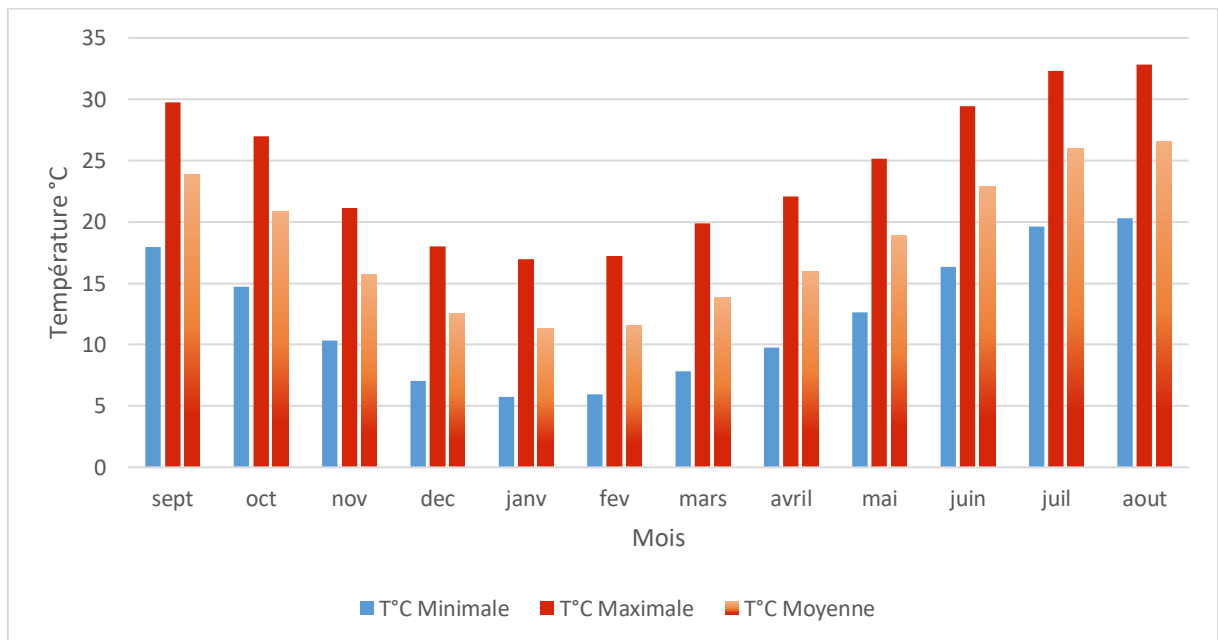
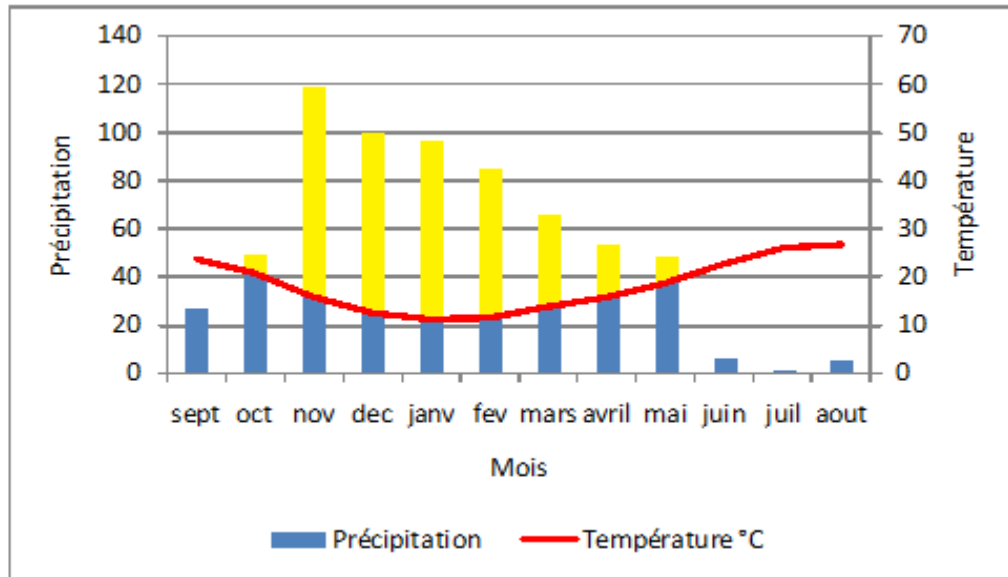


Figure.9 Histogramme des Variations de la température moyenne mensuelle Dar El Beida

La température moyenne annuelle pour cette période est de 18.3°C avec une température moyenne la plus basse enregistrée au mois de janvier est de 11.3°C, la température moyenne la plus élevée est de 26.5°C enregistrée en aout. La synthèse climatique réalisée à partir du diagramme ombrothermique, nous montre que la période

sèche se situe entre juin et septembre. Le reste de l'année est une période plus ou moins humide.



**Figure.10 Diagramme ombrothermique interannuel
2000/2018**

I.5.3 Occupation du sol :

La carte d'occupation du sol dans la zone d'étude a été constituée sur la base des données collectées sur terrain d'une part, et sur celles récupérées auprès des subdivisions agricoles de Rouiba et Dar El Beida d'autre part.

Deux zones urbaines principales sont observées au nord. L'agriculture constitue l'activité économique utilisant la plus grande superficie (72%) cumulée d'occupation du sol dans la zone d'étude.

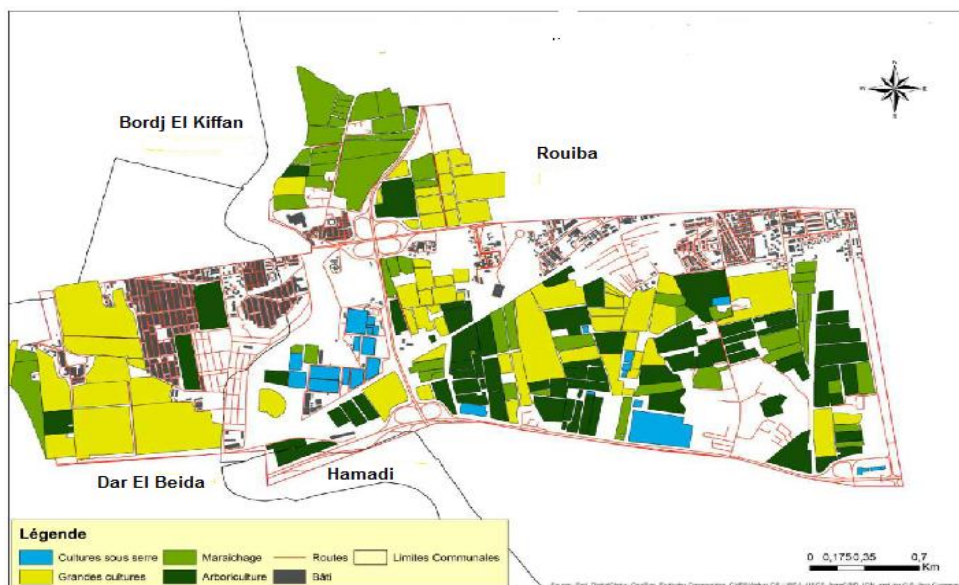


Fig.11 Carte d'occupation du sol (Source AGIR 2018)

I.5.4 Agriculture :

L'agriculture constitue l'activité économique la plus importante au niveau de la zone d'étude. Les principales cultures sont : la céréaliculture, le maraîchage et l'arboriculture. La superficie irriguée est de 460 ha sur une superficie agricole utile de 632 hectares. En parallèle des cultures, l'élevage est aussi pratiqué. Les bâtiments d'élevage sont situés pour l'essentiel au centre du champ captant et à proximité de prises d'eau.

Dans la zone d'étude les agriculteurs utilisent aussi bien les forages implantés dans le champ captant que les eaux issues du barrage Hamiz.

I.5.6 Population :

La population évaluée entre 2008 et 2018 dans la zone d'étude est passée de 62000 à 74000 habitants soit une augmentation en espace de 10 ans de 19%. La population passera à 90000 en 2035 soit une augmentation de l'ordre de 21%.

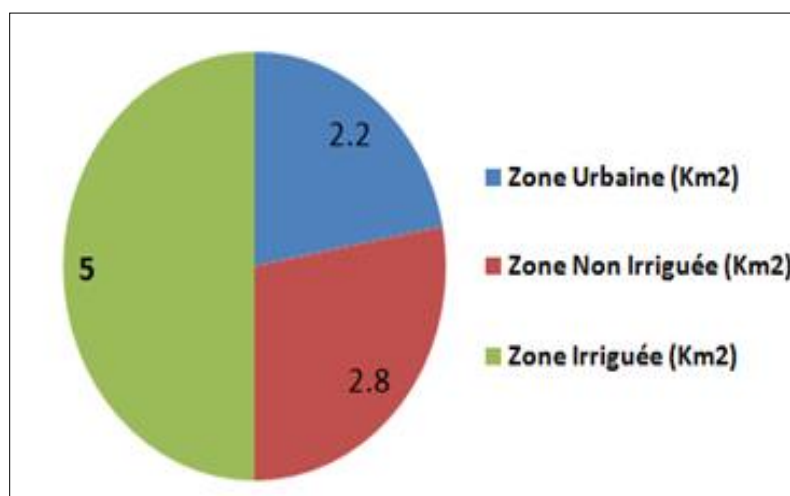


Fig.12 Répartition de l'occupation du sol [1]

I.5.7 Assainissement

Le régime d'assainissement des eaux usées adopté, dans la zone pilote, est collectif et unitaire. Il semble de prime abord que toutes les habitations localisées dans la zone d'étude sont raccordées au réseau d'assainissement, ce taux de raccordement serait donc 100% dans la zone. Le volume d'eau usée rejetée sur la zone d'étude s'élève, à

6500 m³/j. Ce chiffre représente 2,4 millions de m³/an. Les eaux usées collectées dans la zone d'étude par les réseaux d'assainissement sont acheminées vers la station d'épuration de Réghaia (voir annexe).

I.5.8 Ressource en eau :

Dans la zone d'étude les agriculteurs utilisent aussi bien les forages implantés dans le champ captant que les eaux issues du barrage Hamiz.

Irrigation :

Le rapport établi par l'AGIR dans le cadre du contrat nappe Indique que les besoins annuels en eau pour l'agriculture a été de 1.3 hm³/an en 2017. D'ici 2035 ils seront 1.5 hm³/an, si on estime que la superficie augmentera de 1% chaque année. Dans les estimations, il n'a pas été tenu compte des besoins en eau pour l'élevage ni la part du volume d'eau provenant du barrage Hamiz.

Type de culture	Maraichage	Arboriculture	Céréaliculture	Total
Superficie irriguée (ha)	106	147	207	460
Besoins en eau (m ³ /an/ha)	4 000	6 000	/	/
Total	424 000	882 000	/	1 306 000

Fig.13. Besoins en eau pour l'agriculture irriguée 2017 [1]

AEP :

L'alimentation en eau potable de la zone d'étude est assurée à partir de forages, captant l'aquifère de Mitidja.

Barrage Hamiz :

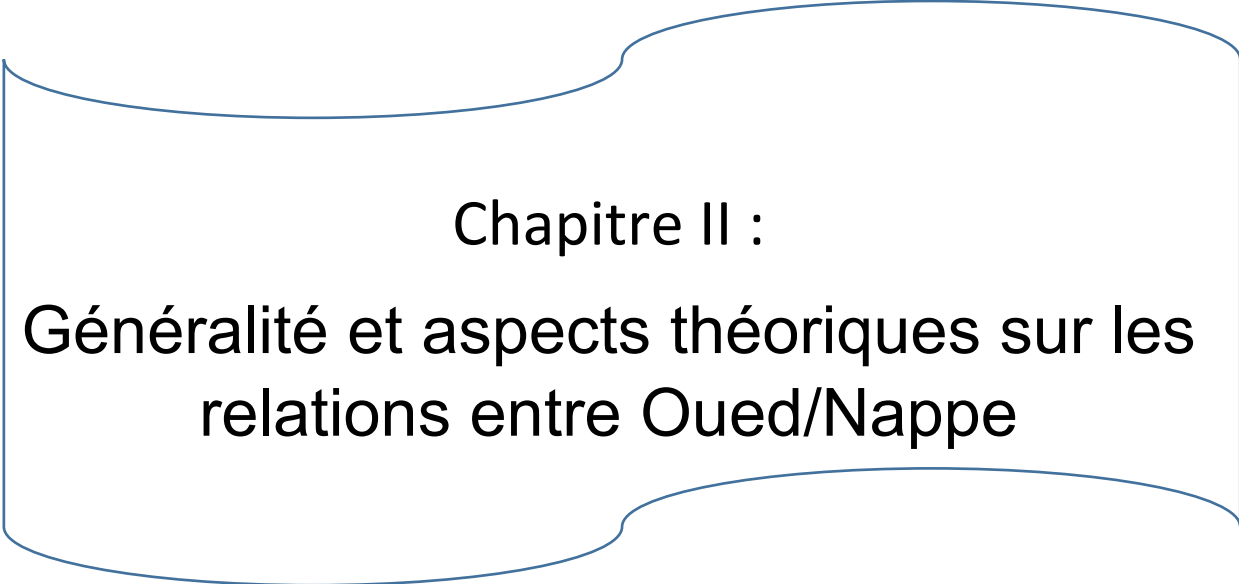
Construit sur l'oued Arbaatache, il est situé à 6 Km de Khemis El Khechna dans la wilaya de Boumerdes. Il est destiné à l'irrigation du périmètre du Hamiz dans la plaine de la Mitidja Est. De plus, depuis 1987 il dérive gravitairement ses eaux excédentaires sur le barrage de Keddara moyennant un ouvrage spécifique.

Conclusion

La zone d'étude est complexe par ses diverses problématiques. Le champ captant est soumis à des contraintes aussi bien quantitatives que qualitatives. Nous citerons deux d'entre elles. La première est de loin la plus menaçante, sont les prélèvements

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

importants sans commune mesure avec la capacité de recharge de la nappe, qui ont pour conséquence la progression dans le temps du biseau salé vers le champ captant. L'autre problématique un peu moins contraignante du point de vue gestion, c'est l'activité agricole importante sur cette zone vulnérable, où nous risquons de se retrouver avec des eaux de moindre qualité et qui est due souvent à l'utilisation abusive des engrais et des pesticides



Chapitre II :
Généralité et aspects théoriques sur les
relations entre Oued/Nappe

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

II-1 Introduction :

Les interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines ont lieu à l'interface de ces deux compartiments du cycle hydrologique et participent, au même titre que la percolation de l'eau de pluie à travers la zone non saturée, aux processus de recharge et de drainage de la nappe. Le drainage de la nappe vers les eaux de surface constitue ainsi une composante essentielle de l'alimentation des rivières en période d'étiage. De même, les eaux de surface peuvent contribuer, par l'intermédiaire de différents réservoirs (rivière, zone humide, lac, zone côtière), à la recharge de la masse d'eau souterraine

Les échanges entre les eaux souterraines et les eaux de surface sont conditionnés par des facteurs naturels (climat, topographie, hydrogéologie, facteurs biotiques) et anthropogéniques (irrigation, drainage, captage,...).

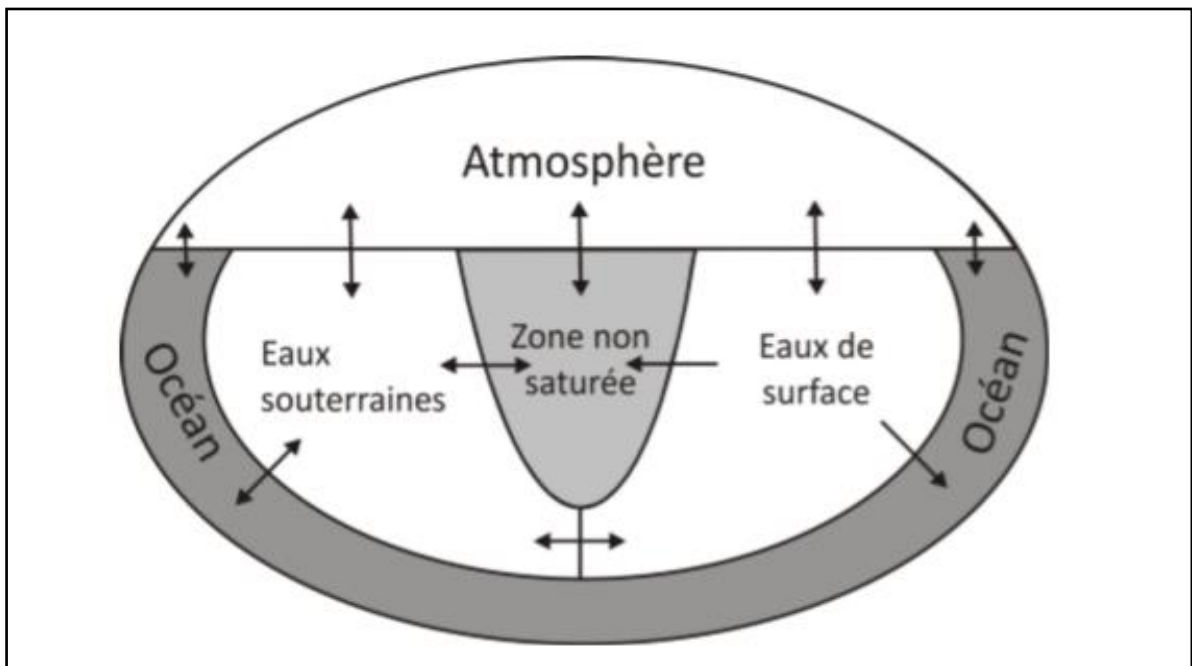


Figure. 14 Compartiments principaux du cycle hydrologique. Les flèches indiquent le sens des échanges entre les différents réservoirs

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

II-2 Quelques définition :

Eau souterraine : est une eau qui, par infiltration se trouvent sous la surface du sol et transit plus ou moins rapidement à travers des formations géologiques appelées « aquifère » ou « systèmes aquifères »

Un aquifère est un corps (couche, massif) de roche perméable, comporte une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine, pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable. Certaines roches sont suffisamment poreuses ou fissurées pour contenir de l'eau, on parle alors de roches aquifères. Cette eau contenue dans la roche prend le nom de nappe.

Une nappe est l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaisons hydraulique.

Ces aquifère sont généralement composés de deux zones :

Zone non saturée : comprenant le sol et la partie supérieure de la roche aquifère. Dans cette, l'eau ne remplit pas l'intégralité des pores de la roche.

Zone saturée : Dans laquelle les interstices de la roche sont complètement saturés d'eau.

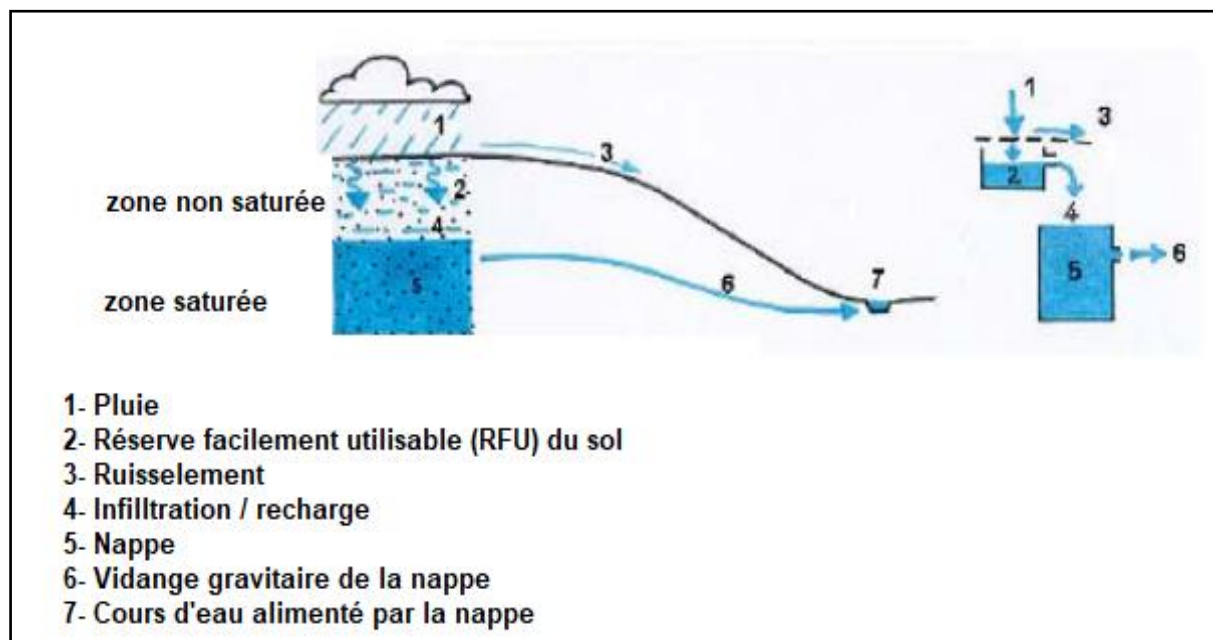


Figure .15 Schéma présentant la distribution de la pluie au sol et dans le sol [3]

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

Les nappes se groupent en trois grands ensembles :

Nappe libre : des formations sédimentaires : il s'agit de roches poreuses (sable, craie, calcaire) jadis déposées en vastes couches. Ces nappes sont dites libres parce que la surface supérieure de l'eau fluctue sans contrainte. Il n'y a pas de « couvercle » imperméable au toit du réservoir et la pluie efficace peut les alimenter par toute la surface.

Nappe captive : elles sont constituées à peu près des mêmes types de roche, mais sont recouvertes par une autre couche géologique imperméable qui confine l'eau. Celle-ci est alors sous pression et peut jaillir dans des forages dits artésiens. Les nappes captives sont souvent profondes, voire très profondes (1000 m et plus). On peut alors les exploiter pour la géothermie haute température.

Nappe alluviale : elles constituent un type particulier de nappes, formées par les grands épandages de sables et graviers des fleuves et des rivières. Elles sont le lieu privilégié des échanges entre les cours d'eau et les autres grandes nappes des coteaux (nappes libres). C'est à travers ces nappes alluviales que les grands flux issus des nappes libres rejoignent les rivières. [4]

Eau de surface, également appelées eaux superficielles, sont constituées, par opposition aux eaux souterraines, de l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes, douces, saumâtres ou salées qui sont en contact direct avec l'atmosphère.

Un cours d'eau est tout écoulement terrestre d'eau liquide entre une source et une embouchure avec un débit à module supérieur à zéro. Ce flux d'eau est souvent continu mais il peut être temporaire sur une assez longue durée. Le lieu de cet écoulement est un chenal, généralement naturel.

II-3 Considérations générales sur les relations Oued –Nappe:

II-3-1 Relations quantitatives :

II-3-1-1 Les facteurs géologiques et morphologiques:

Les structures morphologiques et géologiques sont les principaux éléments qui régissent aux échanges. Il est intéressant de distinguer :

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

- Le fond et les berges du cours d'eau permettant (ou non) les transferts d'eau selon leur nature lithologique ;
- Les réservoirs aquifères caractérisés par leur perméabilité : les alluvions sous-jacentes formant la plaine alluviale et les alluvions adjacentes disposées en terrasses perchées au-dessus de la rivière ;
- La base perméable ou imperméable des alluvions, appelé substratum.

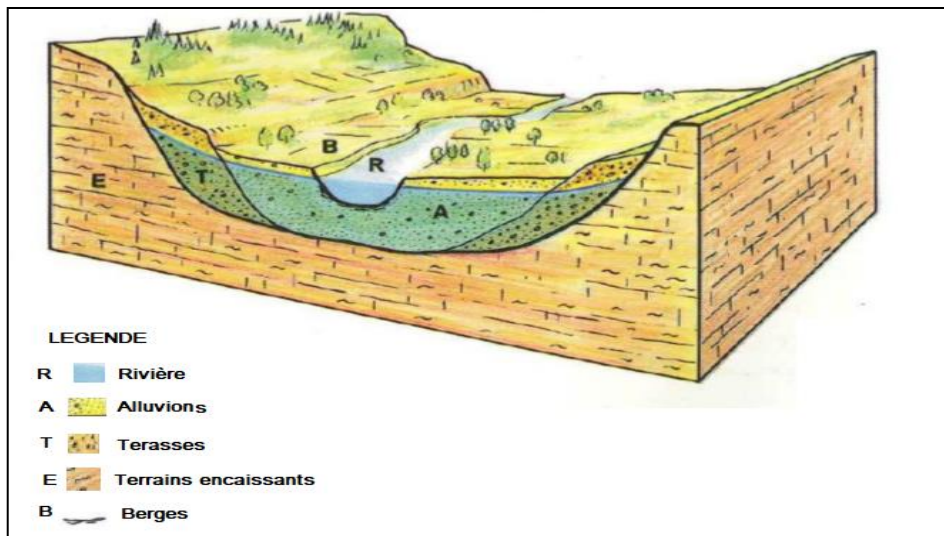


Figure.16 Coupe type d'une nappe alluviale [4]

A travers ce schéma nous pouvons déduire de différents cas suivant que les éléments R,B,T,E et A :

- existent ou n'existent pas (le substratum existe toujours) ou n'existent que sur une rive ;
- sont représentés par des formations perméables ou non ;
- où sont eux-mêmes composés de plusieurs formations lithologiques distinctes.

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

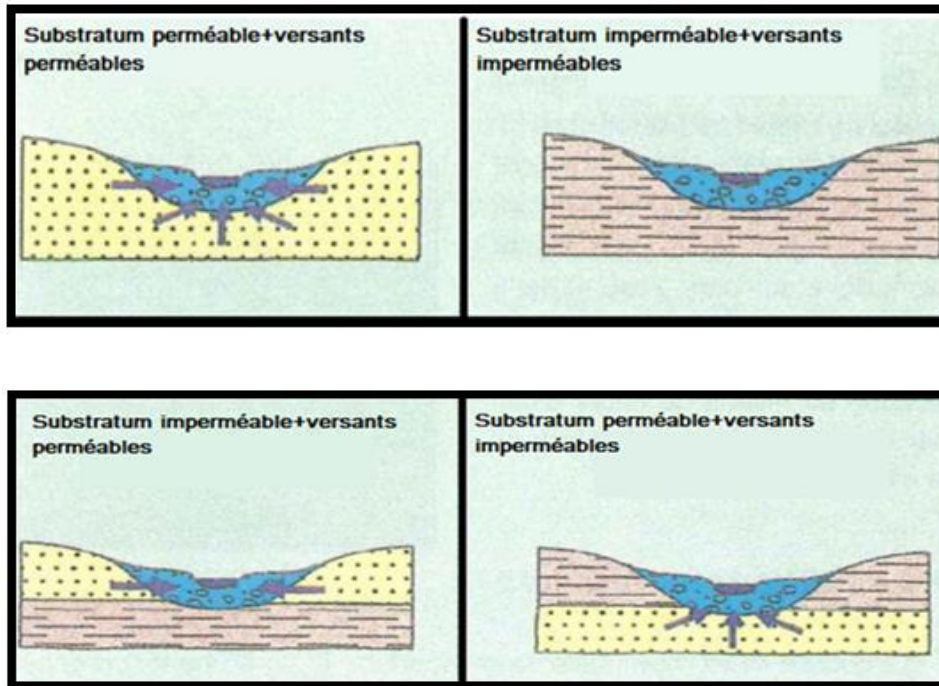


Figure.17 Relation d'une nappe alluviale avec les terrains encaissants [6]

II-3-1-2 Les facteurs hydrodynamiques:

De façon générale, on considère trois cas de relation hydrodynamique entre la nappe et la rivière :

cas.1 : La nappe est en relation avec l'oued et l'alimente ; le niveau piézométrique est supérieur à l'altitude du plan d'eau ; la rivière constitue pour la nappe une limite imposée à condition de potentiel.

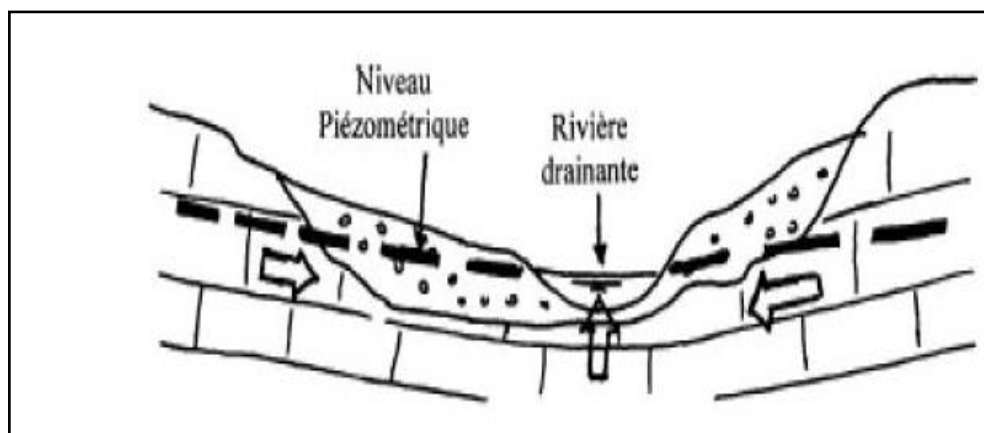


Fig.18 Secteur amont : limite à condition de potentiel

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

Cas.2 : La nappe est en relation avec l'oued et est alimentée par la rivière ; le niveau piézométrique est inférieur à l'altitude du plan d'eau ; la rivière constitue pour la nappe une limite à condition de flux.

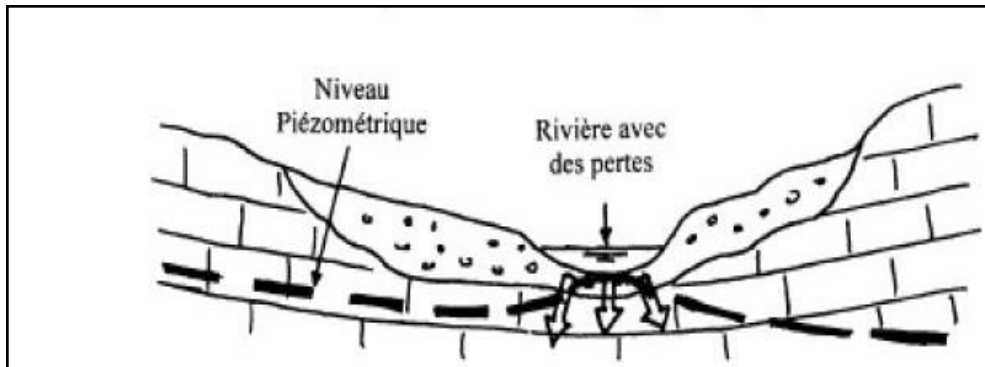


Fig.19 Secteur médian : Limite à condition de flux

cas.3 : Pas d'échange entre la rivière et l'aquifère (domaine non aquifère ou aquifère avec des berges colmatées).

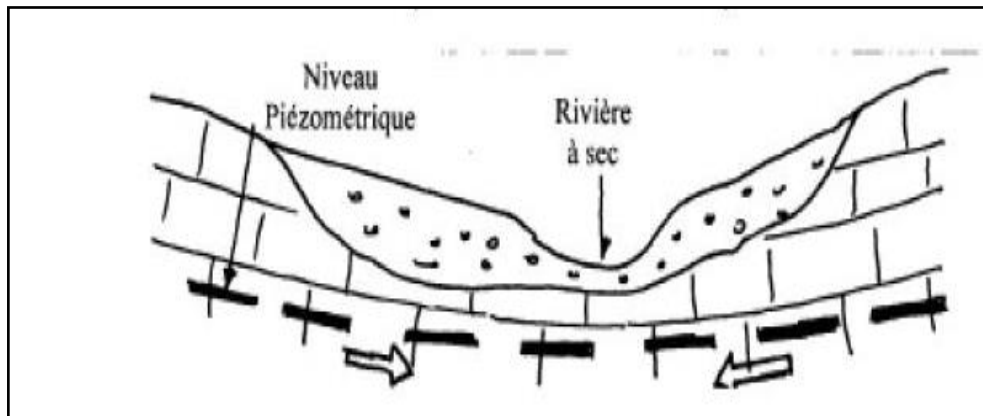


Fig.20 Secteur aval : absence de limite

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

II-3-1-3 La composante du débit et du cours d'eau:

Le débit d'un cours d'eau est le volume d'eau liquide traversant une section transversale de l'écoulement, par unité de temps.

Dans les conditions naturelles, le débit d'un cours d'eau peut être ramené à la somme des débits de deux composantes :

- une composante rapide correspondant au ruissellement superficiel (compartiment superficiel) et à la composante rapide des écoulements karstiques (compartiment souterrain);
- une composante plus lente correspondant au drainage des aquifères (compartiment souterrain) correspondant au débit de base.

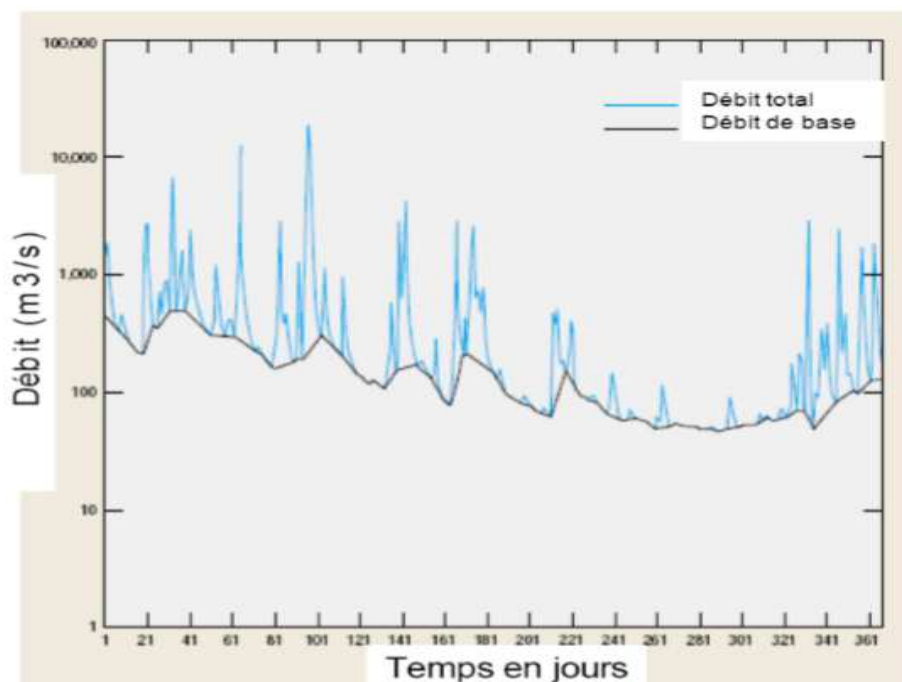


Figure.21 Composante eau souterrain du débit d'un cours d'eau [5]

II-3-1-4 D'autres facteurs réagissent les conditions d'échanges:

a-variation saisonnières:

Le débit des cours d'eau n'est pas toujours alimenté par le ruissellement, en période d'étiage, il se fait que par les eaux souterraines et/ou à la fonte des neiges dans le cas où le cours d'eau possède un bassin versant d'altitude. L'inversion du sens d'échange selon les périodes : en période de basses eaux, le cours d'eau draine la nappe et en période de hautes eaux, il l'alimente.

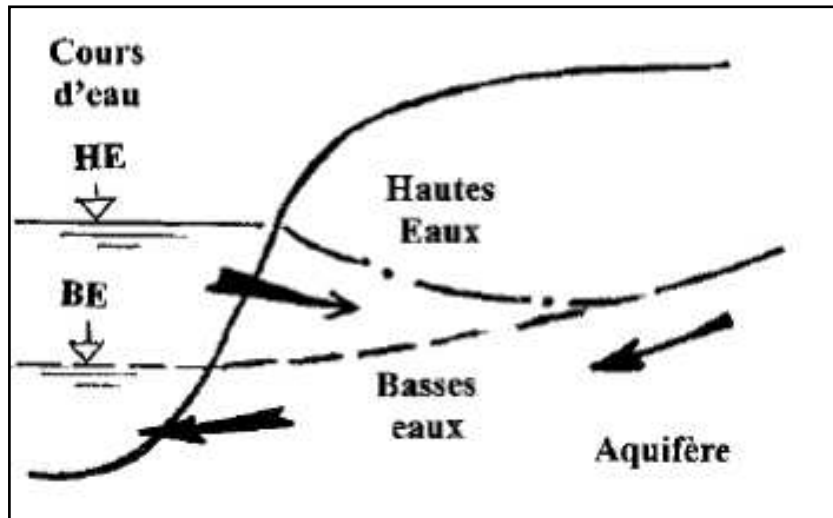
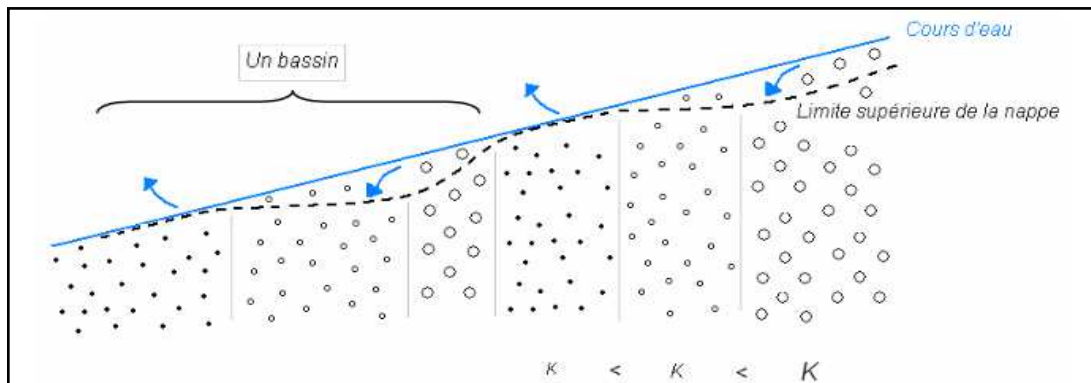


Figure.22 Variations saisonnières

b-Différence de perméabilité:

La perméabilité (K) des alluvions le long d'un cours d'eau peut influencer sur le sens des interactions entre le cours d'eau et la nappe. Dans chaque bassin, le remplissage alluvial présente presque toujours les mêmes caractéristiques : en tête sont déposés les matériaux grossiers de bonne perméabilité, ensuite viennent des cailloutis plus fins et finalement des sables et des limons peu perméables, en amont du seuil séparant ce bassin du secteur aval suivant.



**Figure.23 Différence de perméabilité liée à un grano-classement
D'amont en aval**

L'écoulement de la nappe se fait parallèlement au cours d'eau, les échanges hydrodynamiques qui se déroulent entre ces deux derniers sont similaires dans chaque bassin. En aval quand la pente de la nappe diminue et son niveau se rapproche de la surface du sol résulte un drainage, en amont le niveau de nappe est

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

nettement plus bas que celui du cours d'eau résulte l'alimentation de la nappe par le cours d'eau.

c-Influence du pompage:

La diminution du niveau de la nappe est un processus très lent comparé à l'eau de surface. La nappe d'eau souterraine ne se baisse pas dans l'ensemble de l'aquifère mais seulement aux environs du forage.

Un pompage continu à des taux élevés abaisse le niveau de la nappe, réduisant la décharge de l'aquifère vers le cours d'eau. Il peut aussi conduire à une inversion du sens d'écoulement avec le cours d'eau qui atteint le forage.

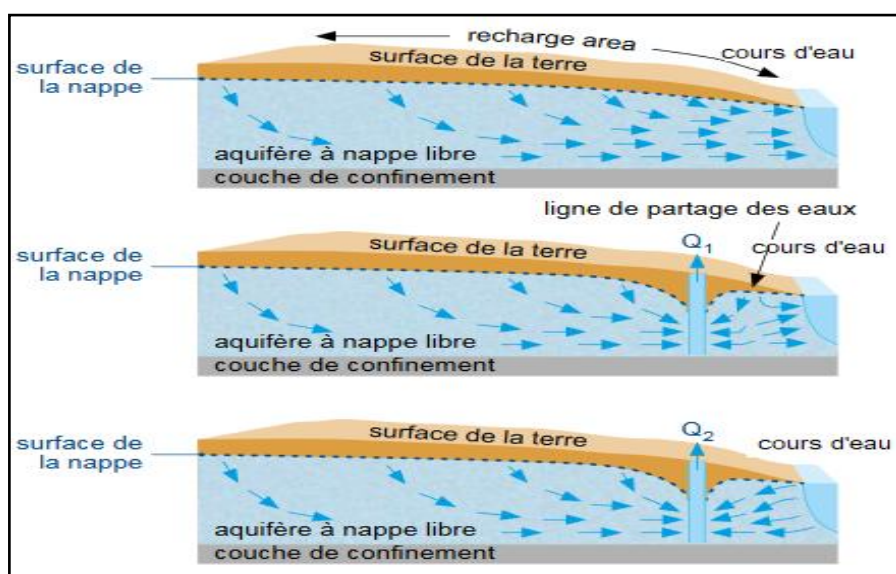


Figure.24 Influence du pompage sur le flux d'eau entre la nappe et le cours d'eau.

d-Aménagements hydrauliques:

Les constructions hydrauliques comme les barrages sont une composante essentielle de notre cadre de vie. La conception de cet ouvrage, le choix de son implantation et la définition de son mode d'interaction avec l'eau sont autant de points qui doivent être étudiés avec attention pour maximiser les performances de la structure tout en limitant ses impacts négatifs sur l'environnement.

Les barrages perturbent de différentes manières le fonctionnement des rivières: Ils modifient leur régime hydrologique, perturbent les conditions écologiques à l'amont comme à l'aval de la retenue, diminuent les capacités d'autoépuration, modifient les processus d'érosion et de transport solide, stockent les sédiments...

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

Par conséquent, naissent des perturbations au niveau piézométrique de la nappe et du régime d'écoulement souterrain qui sont à la fois complexes et différées.

II-3-2 Relations qualitatives:

Dans les conditions naturelles, souvent les masses d'eaux de surface sont connectées hydrauliquement aux masses d'eaux souterraines. Lorsque la contamination est au niveau d'un aquifère et que ce dernier est drainé par un cours d'eau peut résulter une contamination aux eaux de surface, à l'inverse les cours d'eau peuvent représenter une source majeure de contaminants pour les aquifères.

Les interactions entre eaux de surface et eaux souterraines sont difficiles à observer et à caractériser et de fait ont longtemps été ignorées. De plus, ces interactions sont largement contrôlées par des processus naturels mais elles sont également affectées par les activités humaines (pompage, aménagement des cours d'eau, ...).

En période de hautes eaux ou suite à des pompages intenses aux environs du cours d'eau, le gradient hydraulique peut être dirigé du cours d'eau vers l'aquifère. Dans ce cas les substances présentes dans le cours d'eau trouvent une facilité à se transférer vers la nappe, la situation inverse se produit en période d'étiage.

II-3-2- 1 Echanges entre eau de surface et eau souterraine :

La chimie d'une eau souterraine et la chimie d'une eau de surface ne peuvent être traitées séparément à partir du moment où les deux systèmes interagissent. Le type d'interface entre la nappe et le cours d'eau (zone hyporhéique, voir annexe) joue alors un rôle très important tant du point de vue des relations quantitatives (berges plus ou moins colmatées ou perméables, fissures ou conduits karstiques) que qualitatives (teneur en matière organique, activité microbiologique, teneur en argile, etc.). C'est dans cette zone que vont se produire différentes réactions :

a-réactions physico-chimique :

Les échanges en phase aqueuse :

Les conditions chimiques du milieu aqueux au niveau des berges peuvent être à l'origine de réactions entre les composés.

-Les réactions d'oxydo-réduction déterminent la distribution des électrons dans le système et donc l'état d'oxydation des différents composés présents. Elles concernent surtout les éléments qui ont plusieurs états d'oxydation (Fe^{2+} et Fe^{3+} ,

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

Mn²⁺ et Mn³⁺). Dans le cas des eaux, outre le fer et le manganèse, les principaux participant aux processus redox sont le carbone, l'oxygène, l'azote et le soufre.

-Les réactions de complexations jouent également un rôle important dans la chimie des eaux naturelles. Les métaux s'associent avec des molécules présentes dans le milieu : OH⁻, Cl⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, etc. Ceci peut donner lieu à la formation de composés solides par précipitation.

Les échanges liquide/solide :

Au cours de leur cheminement, les eaux sont en contact avec des matériaux solides comme les sédiments, le sol et les roches. Les composés minéraux et organiques présents dans l'eau peuvent ainsi être incorporés dans une phase solide à par le biais de différents mécanismes :

-La dissolution ou précipitation, dépendant du produit de solubilité de chaque élément,

-La fixation d'un ou plusieurs éléments à la surface des solides tels que les argiles ou les composés organiques (acides humiques ou fulviques). Appelée adsorption, cette réaction conduit à l'immobilisation de composés.

-Les réactions d'échanges ioniques : par ce processus, les argiles et les colloïdes organiques remplacent certains de leurs ions, de façon partielle ou totale, par des ions de même nature.

Ces réactions jouent le rôle de filtre entre les nappes et les cours d'eau, et permettent de stopper certains éléments. Par exemple les métaux Ag, Hg, Zn et Cr sont généralement éliminés avec un pourcentage supérieur à 50% [7].

b-réactions liées à l'activité biologique :

La présence de nombreux microorganismes dans les aquifères et les sédiments du lit des rivières est à l'origine de plusieurs réactions essentielles se produisant lors des transferts nappe/rivière.

Le manque de lumière dans ces milieux suppose un métabolisme particulier pour ces bactéries qui ont besoin d'une source de carbone et une source d'énergie pour leur croissance et leur reproduction. Ces bactéries puisent de l'énergie dans l'oxydation des composés minéraux réduits : elles enlèvent des électrons au substrat pour ensuite les transférer à d'autres composés chimiques. Ce phénomène crée une zone réductrice dans le sol observable sur une certaine distance à partir des berges.

L'intensité de ce phénomène dépend de plusieurs paramètres :

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

- Le temps de transfert rivière/nappe : une vitesse de circulation réduite permet aux bactéries de se fixer sur des particules plus fines et seront donc plus efficaces,
- La teneur en matière organique : l'oxydation de celle-ci permet l'apport de carbone aux bactéries,
- La quantité de sédiments sur le lit de la rivière,
- La température : ce paramètre induit une saisonnalité marquée.

II-3-2- 2 Les risques de contamination entre la nappe et le cours d'eau:

Les eaux souterraines ont pendant longtemps été synonymes « d'eau propre » répondant naturellement aux normes de potabilité. Ces eaux sont en effet moins sensibles aux pollutions, néanmoins de nombreuses nappes sont influencées par la qualité des eaux de surface, c'est le cas des nappes alluviales qui sont en relations hydrauliques avec les cours d'eau.

Une pollution du cours d'eau de longue durée peut avoir une incidence directe sur la contamination de la nappe souterraine, notamment après saturation du filtre que constitue la berge. Inversement, un pic de pollution de durée limitée dans le temps, et d'origine anthropique, du cours d'eau (chute d'un camion dans la rivière,...) n'aura souvent que peu d'incidence à priori au niveau de la pollution de la nappe, même lorsque le gradient hydraulique est dirigé de la rivière vers la nappe. Une évolution sinusoïdale de la concentration d'un produit dans la rivière peut dans ce cas se traduire par une quasi absence d'évolution au sein de l'aquifère. Le type de pollution diffuse ou ponctuelle aura donc un impact différent sur les eaux souterraines. Dans des cas où la vitesse de diffusion de la substance est grande devant la vitesse de drainage de l'aquifère, une contamination de la nappe à partir des eaux de surface peut être envisageable en basses eaux. En effet, une contamination de l'aquifère est possible à partir du cours d'eau même lorsque le toit de l'aquifère est supérieur au niveau d'eau dans la rivière [8].

II-3-2-3 Les sources de pollutions:

La superposition de bassins versant hydrographiques et hydrologiques témoigne d'une communication étroite entre l'ensemble des cours d'eaux et eaux souterraines.

Cependant, selon les saisons, les échanges entre la rivière et la nappe changent. En période d'étiage, le débit de la rivière est soutenu par le drainage de la nappe en quantité d'autant plus grande que le niveau de la rivière est bas. Mais, lors des

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

séquences pluvieuses, la tendance s'inverse et les hautes eaux de la rivière rechargent alors les nappes. C'est donc un système qui fonctionne dans les deux sens peut entraîner des contaminants allant du cours d'eau vers la nappe ou à l'inverse, de la nappe vers le cours d'eau.

Ces polluants proviennent soit d'une source ponctuelle ou d'une source diffuse. Dans le premier cas, la contamination est localisée affectant une faible proportion de la masse d'eau, cependant un impact sur les eaux souterraines et sur les eaux de surface, même à petite échelle, pourra être constaté. Dans le second cas, la pollution affecte de grande surface comme c'est le cas pour les pollutions d'origine agricole (fertilisant ou produits phytosanitaires).

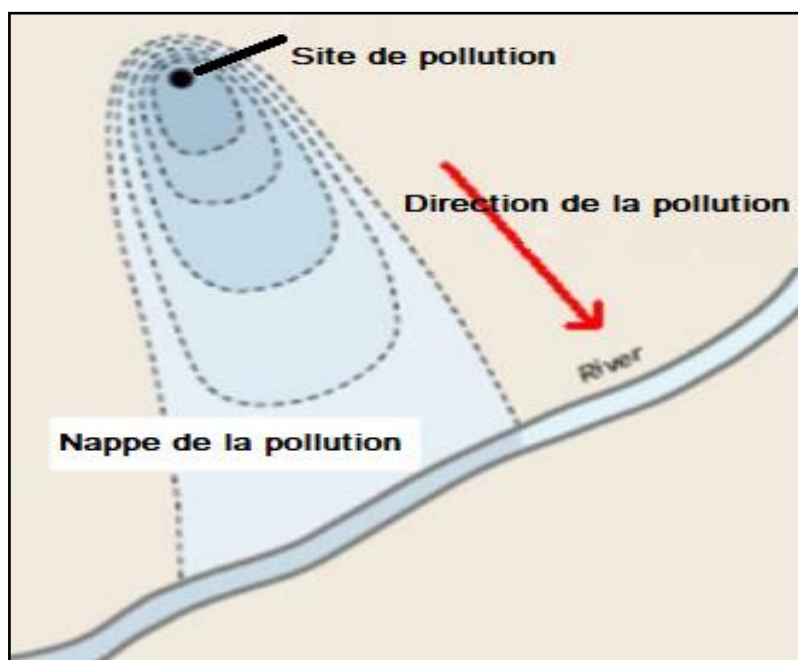


Figure.25 Propagation d'une pollution [5]

II-3-2-4 Ouvrages de captages et périmètre de protection :

Les captages d'eau ont pour fonction de permettre un approvisionnement en eau de meilleure qualité (et quantité selon le cas) possible des eaux s'écoulant dans le sous-sol, tout en limitant le plus possible les risques de pollution provenant essentiellement des cours d'eau superficiels et des eaux de ruissellement de la surface. En effets ceux-ci sont souvent pollués par un apport considérable de particules (nitrate, phosphate) entraînant une activité bactérienne conséquente et indésirable. S'ajoute à cela des pollutions chimiques et industrielles (pesticide, insecticide, hydrocarbure, métaux

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

lourd). Le captage doit donc être implanté si possible éloigné ou en amont des sources de pollution ou de cours d'eau, protégé naturellement par une couche imperméable (argile) limitant les échanges entre nappe et la surface. En fonction de la protection naturelle est alors définie l'étendue des périmètres de protection dont les types sont déterminés par la législation. [9]

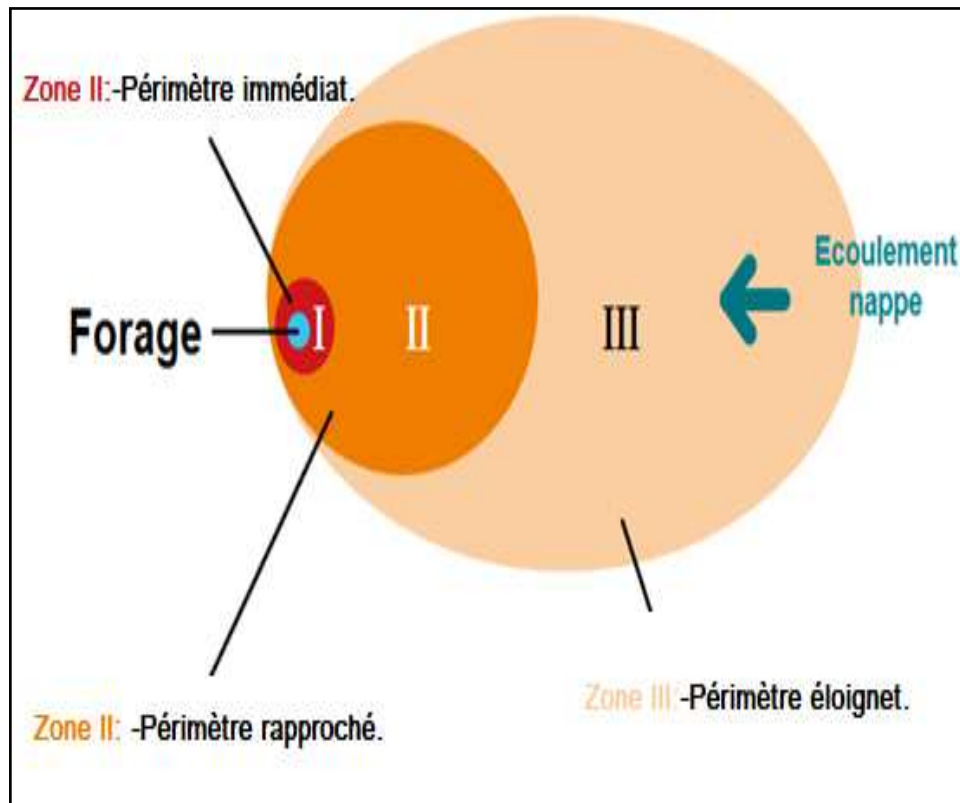


Figure.26 Zones schématiques idéalisées pour la protection d'un forage dans un aquifère libre.

II-4 Outils d'évaluation des échanges entre eau souterraine et eau de surface :

La nappe et le cours d'eau sont les composantes souterraines et aériennes d'un même écoulement. Ils échangent en permanence de l'une vers l'autre dans un sens ou l'autre. Ils existent plusieurs types d'outils afin d'évaluer ces échanges (voir tableau).

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

Intitulé de la méthode	Données nécessaires	Métriques	Diagnostic
Méthode Hydrodynamique	Hauteurs d'eau Nappe + Rivière	Gradients Sig	Sens de l'échange
Prélèvement faunistique	Invertébrés souterrains T°C+O ₂ dissous+conductivité	Nombre d'individus Stygobies	Origine de l'eau
Relevés faunistique Macrophytes	Macrophytes	Statique et indices Trophie, perturbation	Probabilité d'apport phréatique
Prélèvements d'eau Physico-chimie	Elément majeurs + T°C+pH+O ₂ dissous+Conductivité	Signature chimique	Origine de l'eau % mélange
Prélèvements d'eau Isotope	Isotopes stables Isotopes radioactifs	Signature isotopique	Origine de l'eau % mélange

Tableau outils pouvant être utilisés pour caractériser les relations entre eau souterraine et eau de surface.

II-4-1 Méthode Géochimique :

La géochimie de l'eau peut-être un outil intéressant pour discriminer des eaux d'origines superficielles ou souterraines à condition que des prélèvements et des analyses soient effectués dans chacun de ces deux composants.

Ces analyses peuvent porter sur des paramètres physico-chimiques classiques tels : (calcium Ca²⁺, magnésium Mg²⁺, nitrates NO₃⁻, phosphates PO₄²⁻, sulfates SO₄²⁻), la température, la conductivité électrique ou la teneur en oxygène dissous. En étudiant les contrastes des teneurs en éléments chimiques entre les eaux souterraines et de surface, il est possible de déterminer l'origine de l'eau et d'estimer quantitativement des mélanges. Un tel diagnostic est possible sous réserve de disposer :

Chapitre II. Généralité et aspects théoriques sur les relations entre Oued/Nappe

- d'un calage des éléments chimiques impliqués sur la base de valeurs de référence et d'une connaissance spatiotemporelle des signatures des différents systèmes concernés ;
- d'un suivi temporel des masses d'eau en présence à différents débits et différentes saisons.

II-4-2 Méthode hydrodynamique :

Les paramètres hydrodynamiques sont des indices qui définissent l'aptitude de l'aquifère à récupérer et à délivrer l'eau, de plus de ces paramètres on dispose en générale des données détaillées sous forme de cartes piézométriques, souvent en basses eaux et hautes eaux où on s'intéressera en priorité aux situations de basses eaux, qui correspondent à des périodes pour lesquelles les enjeux sont souvent importants.

Cette méthode a montré l'applicabilité et la simplicité d'utilisation toute en utilisant l'analyse spatiale sous SIG, elle présente les avantages suivants :

- Souplesse d'introduire des données acquises sur terrain dans les bases de données de SIG ;
- Connaître le niveau de la nappe, avec un niveau d'incertitude variable selon la densité de points de mesure utilisés ;
- Possibilité de déterminer les sens d'écoulement de la nappe.

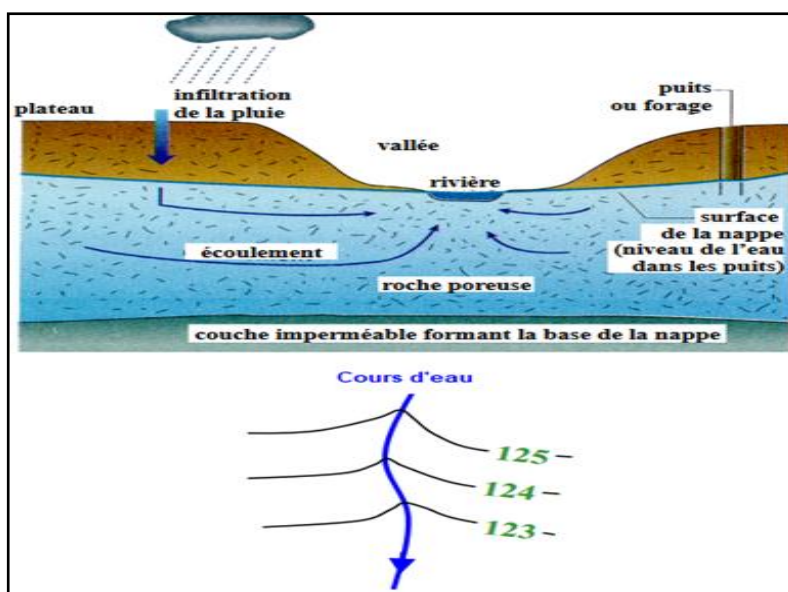


Figure.27 Cas nappe drainée par l'oued

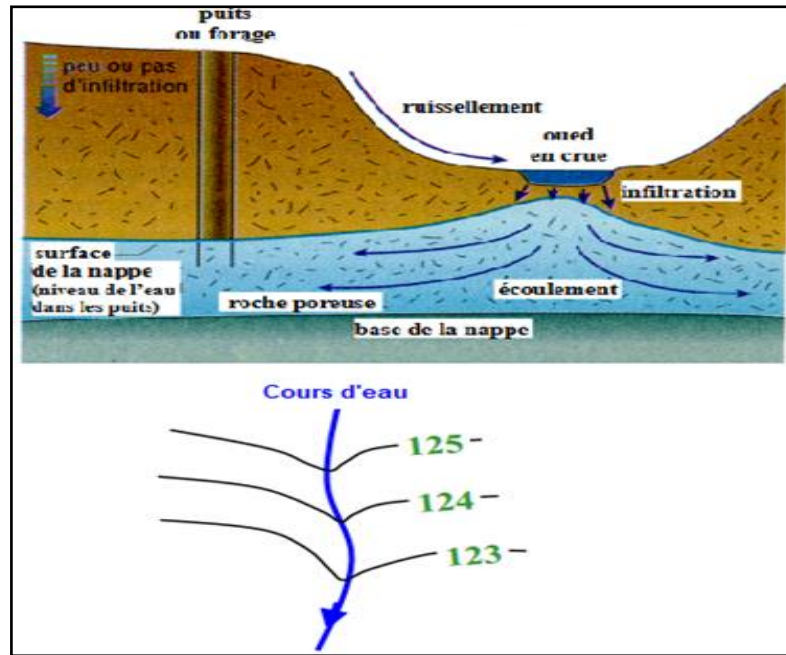
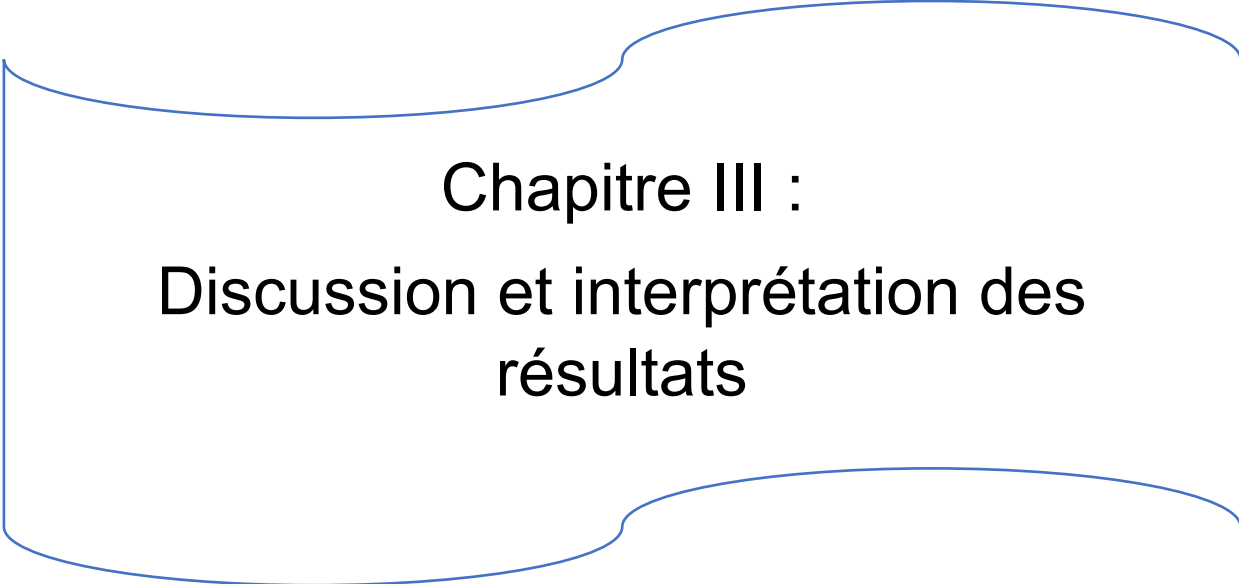


Figure.28 Cas nappe alimentée par un cours d'eau.

Conclusion :

A partir de ces généralités, on peut voir que le sens de l'échange nappe / cours d'eau est, dans une large mesure est fonction des changements hydrodynamiques saisonniers. La succession de périodes de crues et de périodes de basses eaux dans les rivières exerce en effet une influence directe sur le niveau des nappes phréatiques, justifiant leur drainage lors des basses eaux et leur reconstitution lors des crues. De même, les aménagements construits sur les cours d'eau, bouleversent leur niveau naturel, modifient également le niveau des nappes alluviales, sans oublier les prélèvements de pompage de plus en plus importants effectués dans les réservoirs. Les perturbations du régime naturel peuvent avoir un impact significatif sur les réserves d'eau souterraines, conduisant à la dégradation de leur volume et de leur qualité chimique et biologique.



Chapitre III :
Discussion et interprétation des
résultats

Chapitre III. Discussion et interprétation des résultats

III.1 Introduction:

Sur le plan méthodologique, nous avons utilisés deux principales approches pour l'étude de la relation Oued Hamiz/Nappe de la Mitidja :

- l'approche hydrodynamique par l'analyse des chroniques piézométriques ;
- l'approche hydrogéochimique par l'analyse des paramètres chimiques.

III.1.1 Inventaire des données:

L'opération d'inventaire consiste à identifier, décrire, localiser, trier et structurer les données relatives à la zone d'étude. Pour mener à bien cette tâche, d'importants efforts ont été déployés. Ceci a permis de recueillir diverses informations et documentations des différents organismes :

- Agence de la Gestion intégrée des Ressources en Eau.
- Agence Nationale des Ressources Hydrauliques Blida.
- Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger.

Les données recueillies sont :

- fichiers de forages avec leurs analyses physico- chimiques et débits mensuels et annuels ;
- fichiers de piézomètre avec leurs niveaux statiques ;
- données géologiques et hydrogéologiques du site d'étude ;
- carte géologique, carte hydrogéologique et carte d'occupation du sol.

III.1.2 Analyse de données :

L'analyse des données consiste à déterminer les documents et les données qu'on doit retenir afin d'établir nos approches hydrodynamiques et hydrochimiques. Parmi les problèmes rencontrés lors de l'analyse des données, on peut citer :

- absence des analyses physico- chimiques de certains forages ;
- absence des niveaux statiques dans certains piézomètres ;
- absence des dates de prélèvement.

III-1-3 Création de la base de données :

Les données telles qu'elles sont recueillies durant l'inventaire les analyses ne peuvent être insérées directement à la base de données. Pour leur intégration, on a procédé à:

- la préparation des données (inventaire et analyse) ;
- la numérisation et la conversion des données ;

Chapitre III. Discussion et interprétation des résultats

-l'intégration des données dans la base de données.

Les données associées sont organisées sous forme de tables. Les attributs sont introduits champ par champ selon la nature du critère à intégrer (qualitatif ; caractère ou quantitatif ; entier, flottant, virgule fixe,...).

	A	B	C	D	E	F	G	H	M	N	O	P	Q
1					oct-02	jav-2003	sept-03	mars-04	sept-05	avr-06	oct-06	juil-07	sep-oct 07
2	N° PZ	X (km)	Y (km)	cote/sol (m)	NS /RR (m)	NS /RR (m)	NS /RR (m)	NS /RR (m)	NS /RR (m)	NS /RR (m)	NS /RR (m)	NS /RR (m)	NS /RR (m)
3	PZ 32	543,550	382,250	24,007	27,50	27,10	25,53	25,4	25,35	25,00	21,15	25,35	25,45
4	PZ 36	544,500	380,500	15,074	25,58	25,70	24,1	25,65	25,72	25,43	26,17	26,70	27,10
5	PZ 38	544,750	382,350	16,547	19,85	19,50	18,25	18,1	17,85	17,70	18,43	18,60	18,80
6	PZ 39	544,900	381,850	14,765	26,25	26,20	26,55	26,2	27,10	26,61	27,63	28,43	28,70
7	PZ 41	545,375	382,750	16,377	27,00	27,60	26	25,7	26,15	25,50	25,70	26,02	25,52
8	PZ 42	545,900	382,000	20,671	32,55	32,45	32,93	32,2	33,25	32,67	33,66	34,57	34,69
9	PZ 45	546,850	382,800	14,819	26,85	26,65	27,2	26,2	27,11	26,39	27,43	27,94	28,10
10	PZ 48	546,900	383,850	11,2	21,85	21,60	21,5	20,8	21,40	20,47	21,30	21,45	21,90
11	PZ 50	547,400	382,800	13,161	25,05	24,70	22,7	24,2	25,05	23,70	21,80	25,55	25,43
12	PZ 51	547,800	382,250	14,381	27,40	27,15	18,8	24,9	25,20	19,50	18,83	24,80	24,96
13	PZ 54	548,850	385,050	7,887	19,05	19,00	17,2	17,15	16,40	15,37	16,00	15,75	16,15
14	PZ 58	549,450	386,050	10,67	18,18	16,10	14	13,3	13,00	11,55	13,20	13,91	14,20
15	PZ 59	548,300	384,650	10,576	21,42	21,05	20,5	19,6	20,10	18,90	19,70	19,23	14,12
16	PZ 60	548,150	383,900	12,106	23,70	23,30	23,25	24,2	23,10	21,89	23,00	22,53	23,05
17	PZ 61	547,650	383,750	11,279	20,70	20,42	20,1	19,2	19,80	18,48	19,30	19,25	19,73
18	PZ 62	546,150	383,250	12,104	22,43	22,20	22,3	22	22,30	21,50	18,50	22,75	23,10
19	PZ A	544,200	381,850	16,035	24,65	24,52	24,6	24,3	24,40	24,30	24,95	25,63	25,85
20	PZ B	549,350	383,600	13,38	28,20	27,30	28	26,9	26,70	26,53	28,20	28,10	28,80
21	PZ C	548,500	382,550	15,344	19,90	19,75	21,75	21,3	22,30	20,67	21,40	21,10	21,06
22	PZ D	547,000	382,000	12,594	25,30	25,22	25,1	24,5	26,60	25,65	26,90	27,44	26,46
23	PZ E	546,125	381,450	13,766	26,35	26,12	26,5	26,2	27,30	24,37	23,71	26,80	26,80
24	PZ F	549,200	384,250	12,074	25,55	25,10	25,3	23,9	24,25	22,77	22,60	23,27	23,72
25	PZ G	548,450	383,300	13,426	24,45	24,30	25,85	25,15	27,50	25,47	27,70	26,72	27,00
26	pz1 hz	550,550	380,450	22,215	38,30	37,70	37,3	36,25	39,60	37,50	41,50	41,20	41,65
27	pz2 hz	549,300	380,750	23,937	39,60	38,55	38,1	37	40,10	38,75	40,43	41,50	42,30

Figure.29 Structure de la base de données

III-1-4 Numérisation des données:

La numérisation consiste à remplacer les plans et cartes traditionnelles en papier, difficiles à manipuler et dont la mise à jour est complexe par des plans numérisés. Les logiciels utilisés dans notre projet sont : Arc-gis et Diagramme.

III-1-4-1 Le logiciel ArcGis :

Le Arc-GIS est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute, Inc.). En 1999 Esri développe le système ArcGIS (auparavant appelé ArcView GIS). Ce système est composé de différentes plateformes qui permettent aux utilisateurs SIG, qu'ils soient bureautiques, web, ou mobiles de collaborer et de partager l'information géographique. Un système de requêtes cartographiques adapté permet la conception des cartes et des bases de données cartographiques. Il est ouvert vers

Chapitre III. Discussion et interprétation des résultats

le Web et les globes virtuels ; il permet de publier sur le web des cartes réalisées sur un PC, de faire de la cartographie interactive, d'incorporer des informations des globes virtuels..(Site web Wikipedia)

III-1-4-2 Diagramme :

Dans le but de bien identifier les faciès hydro chimiques et d'avoir une indication sur l'aspect géochimique des eaux souterraines. La représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil indispensable. La réalisation de ce diagramme a été faite en utilisant le logiciel **Diagramme**, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

III-2 Apport Hydrodynamique :

Les données que nous avons obtenues, nous a permis d'établir les cartes piézométriques ci-dessous .On a fait appel à des piézomètres situés au niveau de la Baie d'Alger et les plus proches de la zone d'étude et ceux situés tout le long de l'oued, afin de renforcer notre base de données et avoir une bonne représentation de l'évolution spatio-temporelle de la piézométrie. Les cartes ont été dressées dans les périodes Hautes eaux et Basses eaux et qui correspondent aux années (2002 ; 2016 ; 2018).

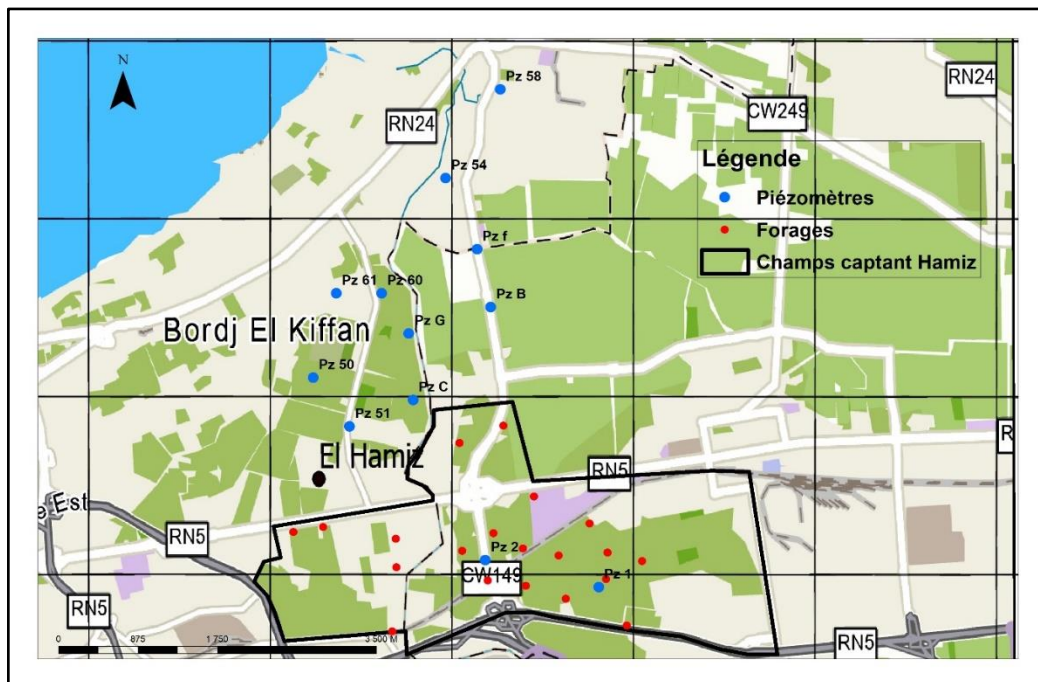


Figure.30 Carte de localisation des piézomètres.

III-2-1 Evolution de la piézométrie le long d'Oued et la nappe (Oued hamiz/nappe quaternaire Mitidja) :

✓ Carte piézométrique 2003 (Basses eaux):

La carte piézométrique 2003 période de basses eaux que nous avons établi le long de l'oued Hamiz(champs captant Hamiz-Mer)fig.31 peut être divisée en deux parties, la partie nord et la partie sud. Sur la partie nord, la forme des courbes isopièzes par rapport à l'Oued Hamiz (convergence des axes d'écoulement vers l'oued) confirme l'alimentation de la nappe qui se fait vers l'Oued .La cote piézométrique varie de -1m vers le littoral, pour atteindre -11m au niveau du Pz B, ces cotes négatives montrent un écoulement de la mer vers le continent (intrusion marine).La partie sud en allant vers le champs captant du Hamiz ,l'allure des courbes isopièzes montre toujours une convergence des directions de l'écoulement vers l'Oued ce qui confirme tous l'alimentation de ce dernier par la nappe. Sur cette partie les piézométriques varient entre -3m jusqu'à -11m, ces cotes négatives soulignent l'effet du pompage au niveau des forages du champ captant Hamiz.

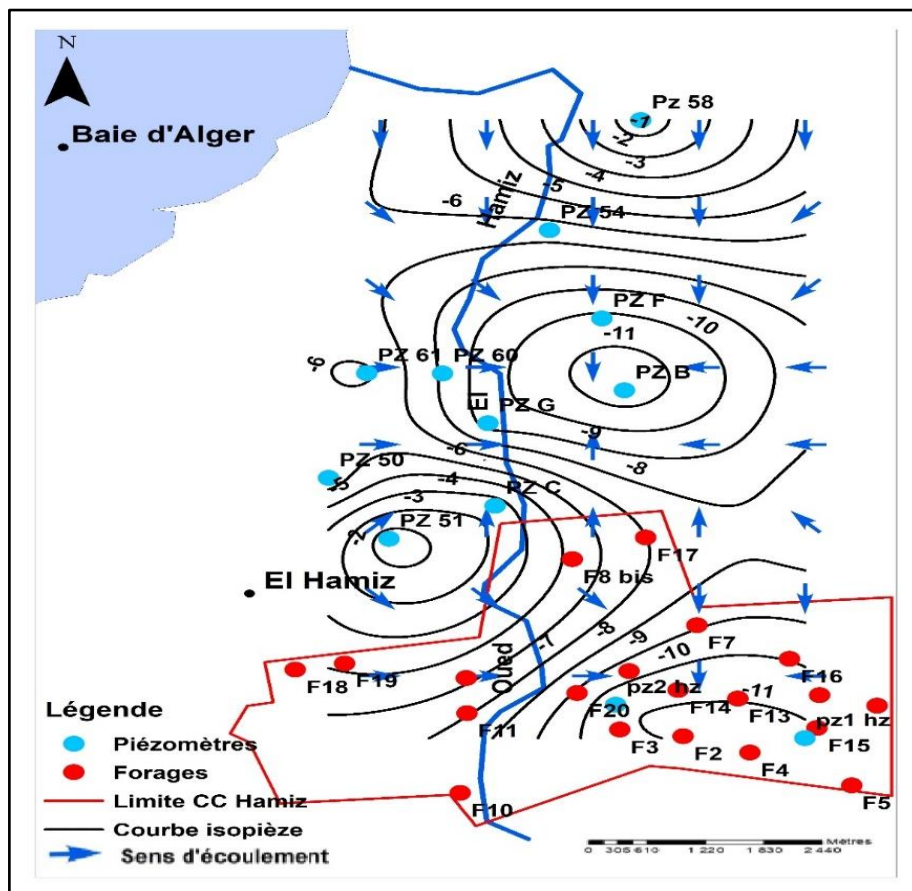


Figure.31 carte piézométrique 2003 basses eaux.

Chapitre III. Discussion et interprétation des résultats

✓ Carte piézométrique 2016(Hautes eaux):

La carte piézométrique 2016 période hautes eaux que nous avons établie confirme toujours une convergence des directions de l'écoulement vers l'oued, par conséquent la nappe draine l'oued.

Les cotes piézométriques seront divisées en deux parties au nord, elles varient entre 0 et -2m donc un écoulement de la mer vers le continent tandis en partie sud on remarque un inversement du sens d'écoulement au niveau du champ captant de Hamiz avec des cotes piézométriques qui varie entre 2 et 4 m ce qui explique une remontée au niveau de la nappe à cette zone qui est du à : à l'arrêt de quelques forages au niveau du champ captant Hamiz comme lutte à l'intrusion marine ou une bonne pluviométrie à cette période.

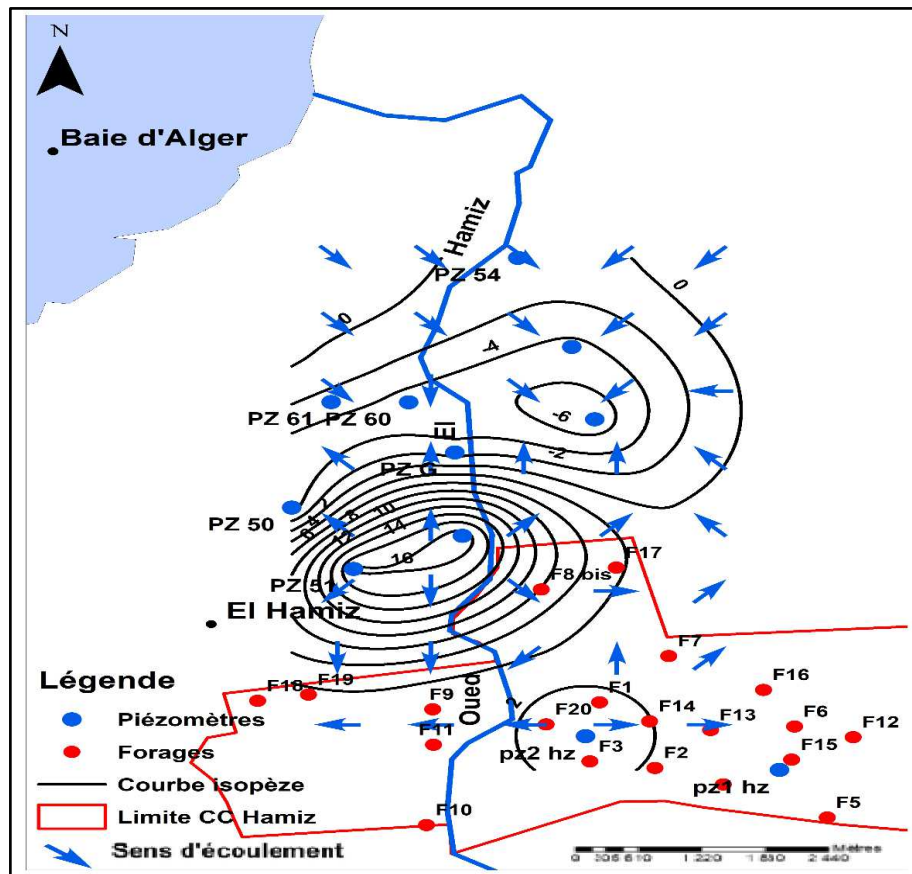


Figure.32 Carte piézométrique 2016 hautes eaux.

> Carte piézométrique 2018(Basses eaux):

En 2018, période de basses eaux, la carte piézométrique que nous avons établie confirme tous jours que l'Oued s'alimente par la nappe (convergence des directions

Chapitre III. Discussion et interprétation des résultats

de l'écoulement vers l'Oued). Les cotes piézométrique varie entre 0 en Pz 58 jusqu'à -12m en Pz1h en champ captant de Hamiz, une baisse du niveau de la nappe remarquable au niveau de cette zone qui est du sous l'effet du pompages excessive de plus le phénomène de l'intrusion marine qui s'accroît.

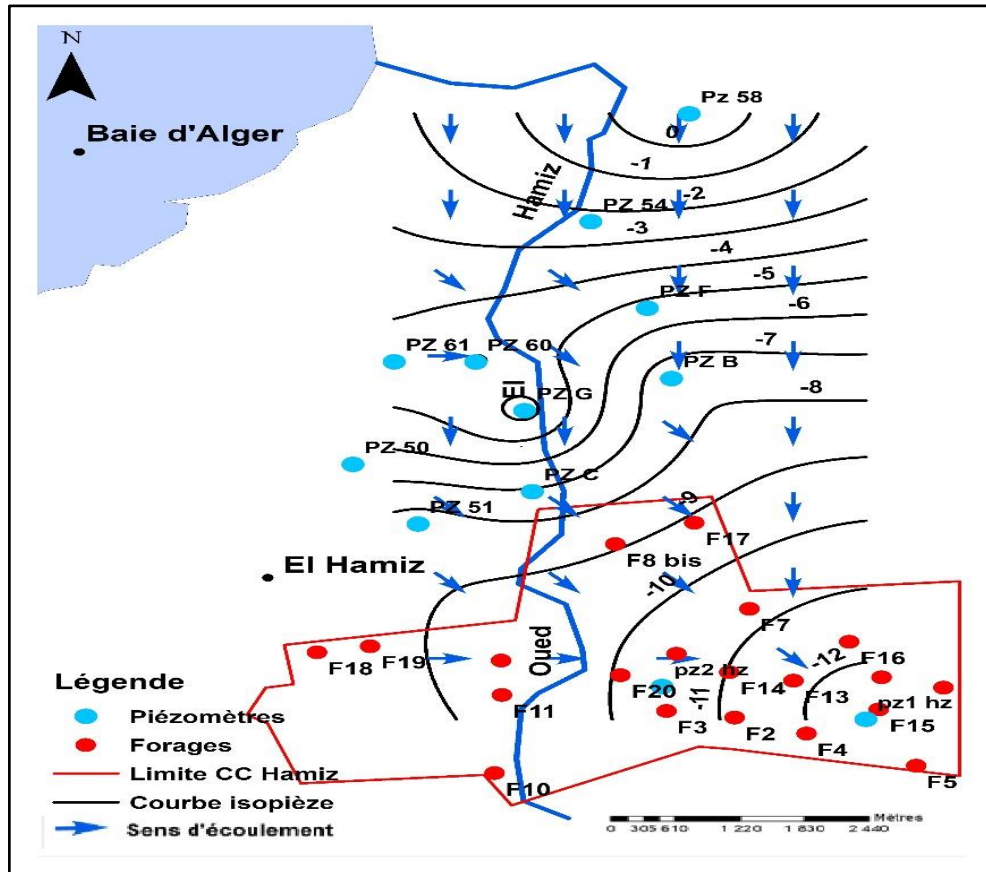


Figure.33 Carte piézométrique 2018 basses eaux.

III-2-2 Variation des niveaux piézométrique :

Les points de mesure sélectionnés correspondent aux piézomètres Pz1h et Pz2h en période Hautes eaux et Basses eaux situés dans le champ de captage de Hamiz.

L'observation du graphique établi, montre bien l'abaissement continu du niveau d'eau en hautes eaux et basses eaux qui varie entre -12m à -6m et -15m à -7m respectivement (fig 34). Cet abaissement est causé par la forte exploitation de la nappe sollicitée par des forages à différents usages.

En 2016, on remarque une remontée du niveau statique qui est dû à une diminution du volume produit causé par l'arrêt de quelques forages et ce afin de freiner l'envahissement de la salinité au champ de captage de Hamiz [1], parmi eux, on cite

Chapitre III. Discussion et interprétation des résultats

le F14 et le F20. Les années suivantes, nous avons observé de nouveau une chute remarquée du niveau statique.

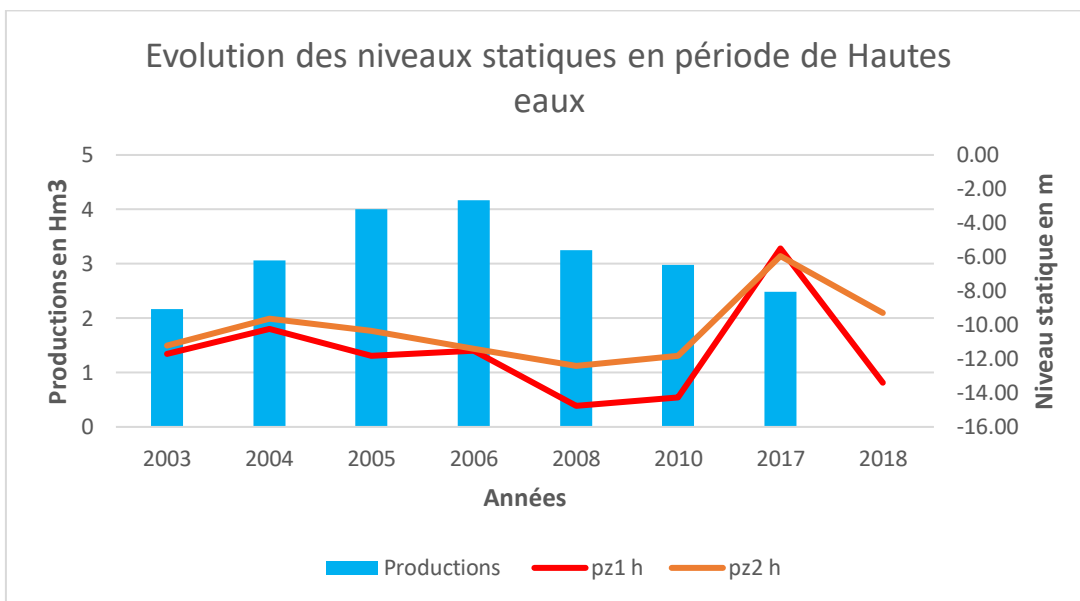
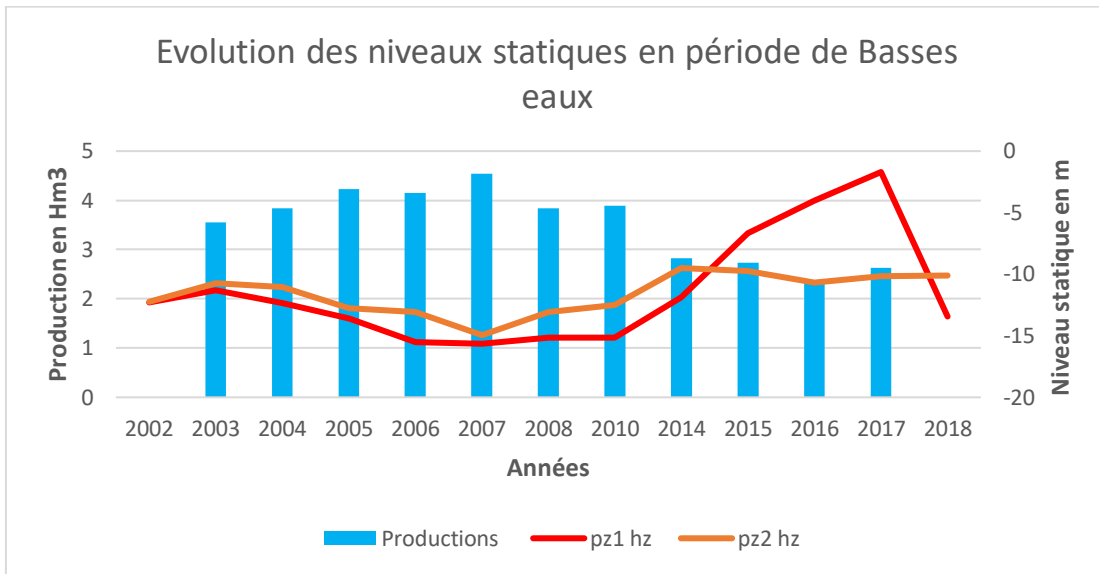


Figure.34 Graphe des niveaux statiques en période hautes eaux et basses eaux en fonction de la production annuelle.

III-2-3 Evaluation de la production des forages du champ captant Hamiz :

Le graphe suivant représente l'évolution de production annuelle et la production maximum mensuelle pour chaque année :

-Production moyenne annuelle est de 11Hm³/an de 2003 à 2017 cependant celle de 2017 était de 9Hm³.

Chapitre III. Discussion et interprétation des résultats

- production maximale est de 2Hm³/mois. Le forage F6 marque la production la plus élevée ;
- diminution de la production des forages des années 2011 à 2017 par rapport aux années précédentes. Il est dû à l'arrêt de quelques forages du champ de captage.

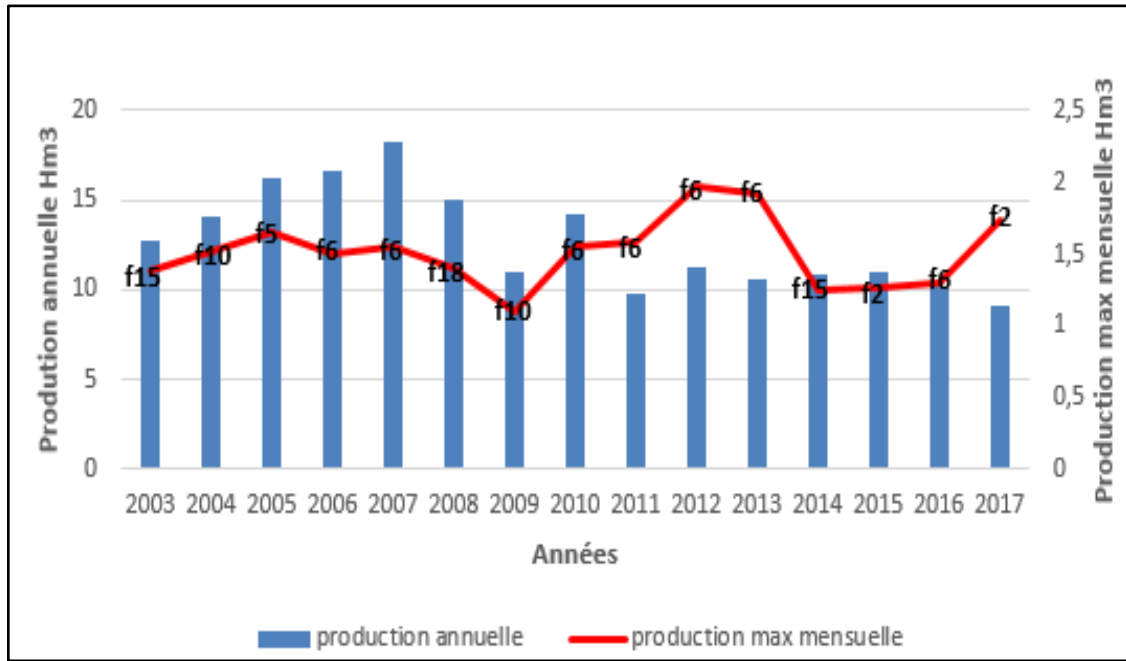


Figure.35 Graphe de production CC Hamiz 2003-2017.

III-3 Apport Hydrochimique :

Le deuxième outil utilisé pour mieux connaître l'origine de l'eau et des éléments dissous et pour caractériser la relation Oued/Nappe sont ceux de la géochimie classique.

III-3-1 Représentation graphique des faciès hydro chimiques:

Les diagrammes que nous présentons, nous permettent une meilleure identification des faciès et des aspects géochimiques des eaux souterraines ainsi que leur évolution dans le temps.

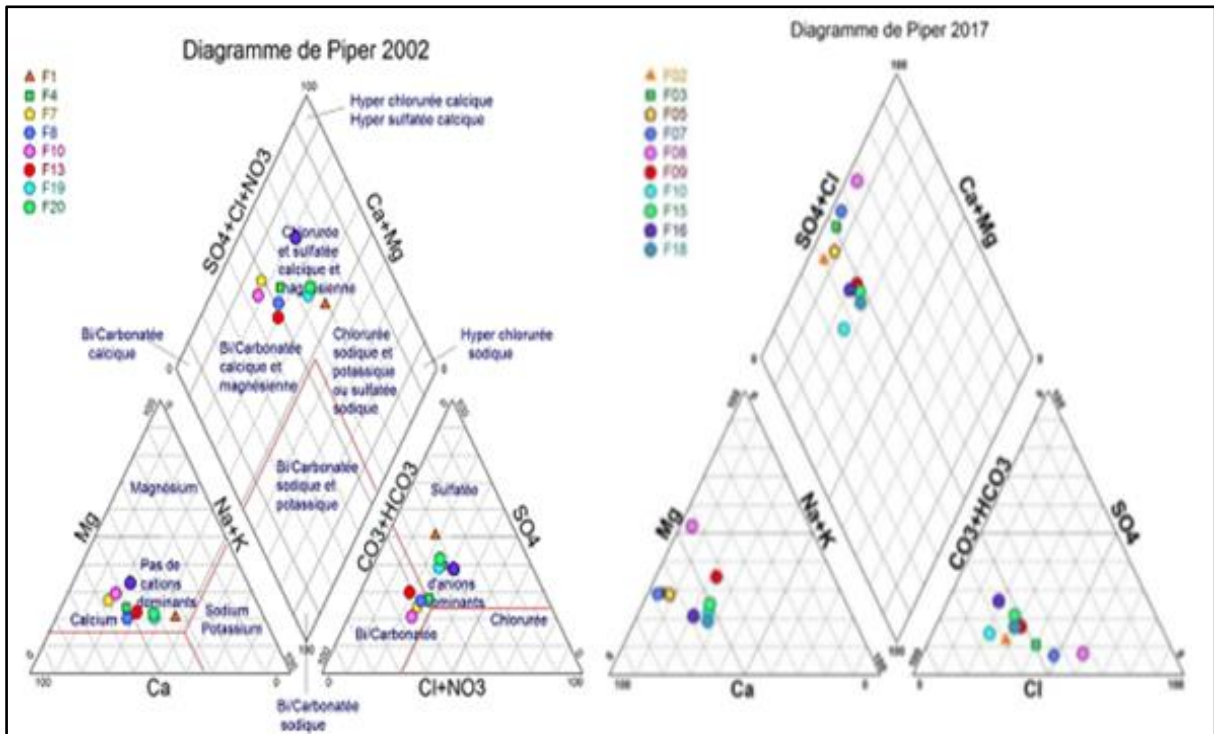


Figure.36 Diagramme de piper 2002/2017 CC Hamiz.

La représentation des résultats chimiques des eaux prélevées du champ de captage de Hamiz (2002, 2017) sur le diagramme de Piper montre que:

Le chimisme des eaux analysées est caractérisé par le faciès chlorurée et sulfatée, calcique et magnésienne et par le faciès bicarbonaté calcique et magnésien.

En 2002, 70% des échantillons tendent vers le faciès chloruré et sulfaté, calcique et magnésienne, cependant 30% présentent un faciès bicarbonaté calcique et magnésien.

En 2017, on remarque que 80% des échantillons ont une tendance de migration vers le pôle bicarbonaté calcique et que seulement 20% se caractérisent par le faciès chloruré calcique et chloruré magnésien.

III-3-2 Etude de rapport caractéristique (corrélation) :

Le deuxième moyen d'interprétation utilisé dans cette partie est constitué par les diagrammes croisés des concentrations des différents ions.

✓ Le couple Ca/Cl :

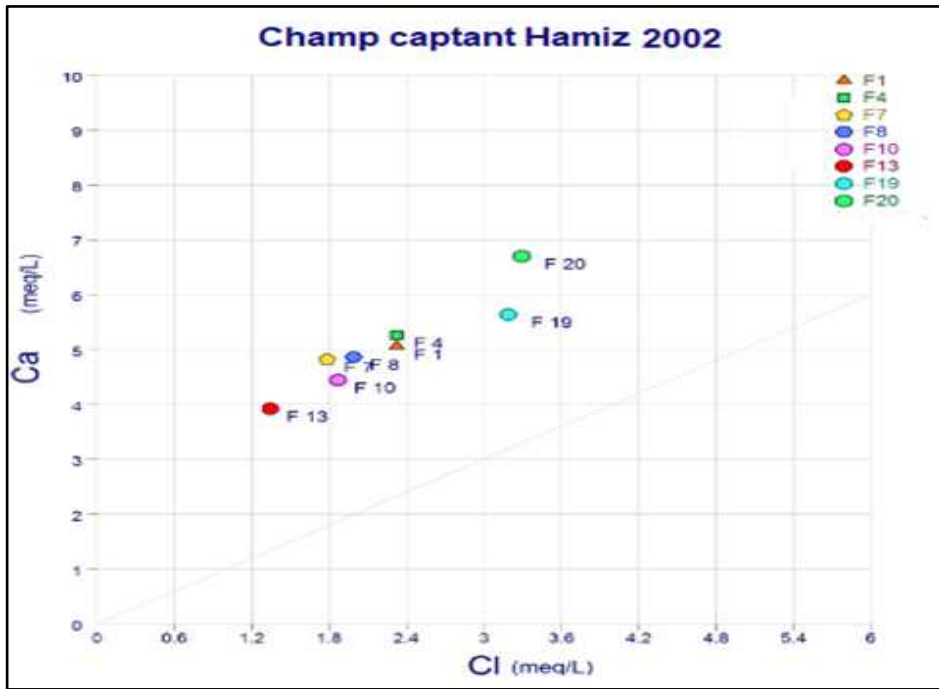


Figure.37 Relation Ca/Cl (2002).

Le graphique Ca^{++} en fonction de Cl fig37 montre que tous les points se trouvent au-dessus de la pente, donc un excès en Ca^{++} qui est dû à l'échange ionique entre l'eau et l'aquifère ; l'adsorption de Cl^- et une libération de Ca^{++} .

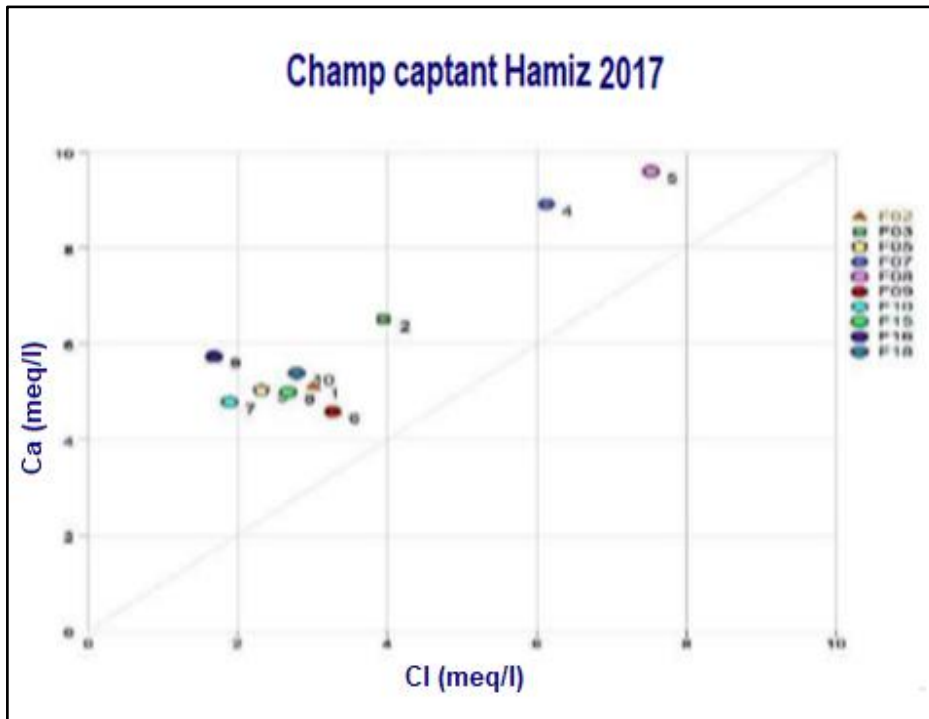


Figure.38 Relation Ca/Cl

Chapitre III. Discussion et interprétation des résultats

En 2017, la figure 38 montre la même tendance qu'en 2002 avec une légère migration des forages vers la pente 1 :1 .

✓ **Couple SO_4 -Cl :**

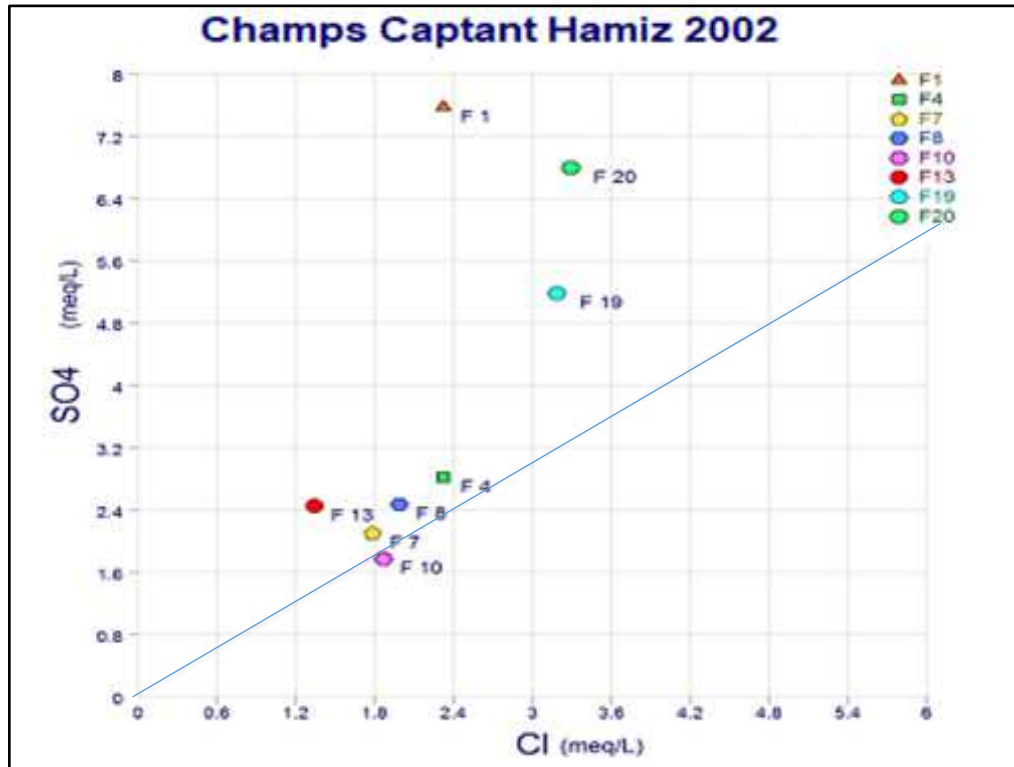


Figure.39 Relation SO_4 -Cl.

La relation entre les sulfates et les chlorures de la figure 39 de l'année 2002 montre que la majorité des points se trouvent en dessus de la pente ; cet enrichissement en sulfates est causé soit par la présence des évaporites dans les aquifères et un léger échange ionique.

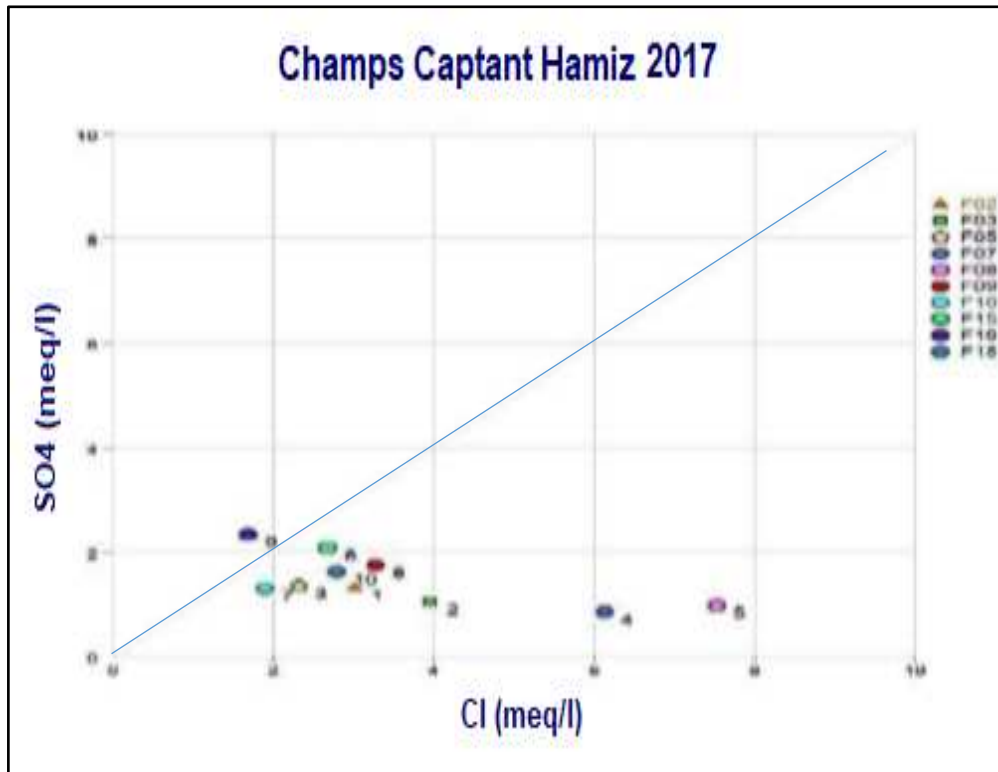


Figure.40 Relation SO_4/Cl

Par contre en 2017 nous observons que les teneurs en sulfate diminuent alors que les chlorure montre une augmentation continue par rapport à l'année 2002 qui est probablement due à la dissolution et au lessivage des niveaux évaporitiques de l'aquifère.

✓ **Couple Na/Cl :**

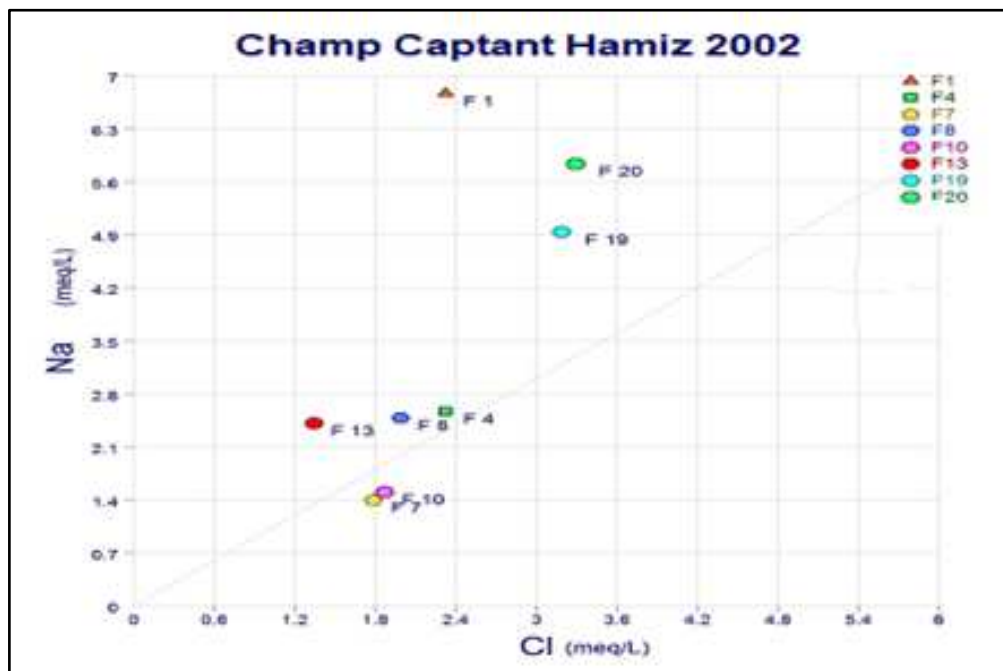


Figure.41 Relation Na/Cl

Chapitre III. Discussion et interprétation des résultats

La figure 41 de l'année 2002 montre que la majorité des points se répartissent autour de la droite expérimentale de dissolution de la halite donc qui est dû à une dissolution du sel au niveau de l'aquifère. A l'exception du F1, F19 et F20 qui possèdent un excès en Na que nous l'expliquons par le phénomène d'échange ionique entre l'eau et la roche.

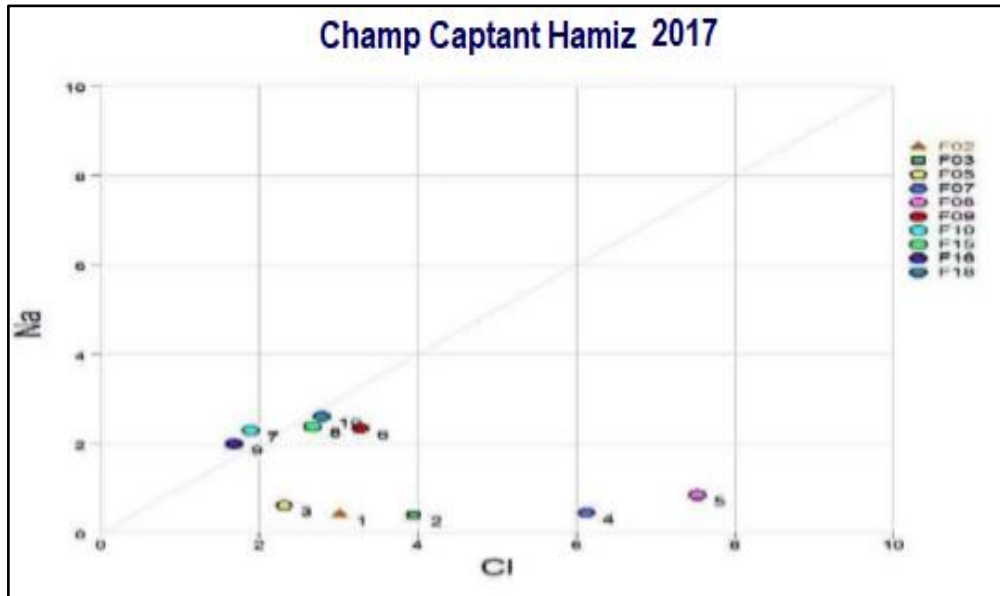


Figure.42 Relation Na/Cl.

Tandis qu'en 2017 la figure 42 ; la relation entre Na^+ et Cl^- montre que la moitié des points seulement se trouvent sur la droite ; indiquant la présence du processus de mélange eau douce - eau salée sans réactions d'échanges ioniques. Les autres points se situent au-dessous de la droite de pente indiquant un appauvrissement en sodium. Ces eaux sont contrôlées surtout par des réactions d'échange cationique. Etant donné que la teneur en Na^+ devrait équilibrer la teneur en Cl^- , le déficit en Na^+ est expliqué par le phénomène d'échange ionique inverse entre l'eau et l'aquifère et se traduisant par une adsorption de Na^+ et une libération de Ca^{2+} , cela est confirmé par les diagrammes $\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$ qui illustrent bien ceci en montrant que les points sont souvent au-dessus de la droite de pente.

Chapitre III. Discussion et interprétation des résultats

III.4 Evaluation de la qualité des eaux :

III.4.1 Présentation des résultats d'analyse AEP :

Des résultats d'analyse ont été obtenus à partir des prélèvements effectués sur des forages AEP au nombre de 20 implantés dans le champ de captage. Il nous a été donné de constater que les campagnes de prélèvement ont été irrégulières d'une part et d'autre part celles réalisés en hautes eaux, souvent n'ont pas été reprises en basses eaux. La période de prélèvement se situe entre 2002 et 2015. Le nombre de campagnes réalisées au cours de cette période était de 107 dont 30 se sont effectuées au cours de la période des basses eaux.

III.4.2 Concentrations des paramètres analysés par période.

Paramètre	Unité	Basses Eaux			Hautes eaux				
		Echantillon	Minimum	Maximum	Moyenne	Echantillon	Minimum	Maximum	Moyenne
Calcium	mg/L	30	65	130	101	73	79	150	108
Magnésium	mg/L	30	19	47	30	75	21	62	33
Sodium	mg/L	19	35	68	50	51	31	135	57
Chlorures	mg/L	24	41	101	71	74	43	151	93
Sulfates	mg/L	28	112	270	166	76	40	363	133
Nitrates	mg/L	24	1	33	17	65	6	42	19
Conductivité	µs/cm	30	624	1109	882	75	535	1760	978

Fig.43 Tableau des paramètres par période.

Ces valeurs ont été obtenues en réunissant tous les résultats de chaque élément de l'ensemble des forages. Nous observons que les moyennes des hautes eaux se rapprochent de celles des basses eaux ainsi qu'au niveau du minimum et du maximum à l'exception des sulfates et à degré moindre les chlorures. Les sulfates, leurs teneurs sont situées entre 112 mg/L et 363 mg/L avec une moyenne de 166 mg/L. En période de hautes eaux la teneur est de 40 mg/L alors que cette dernière est de 112 mg/L en période de basses eaux. Ce sont des teneurs inférieures aux normes admises. Les chlorures sont compris entre 41 et 151 mg/L avec une moyenne de 93 mg/L. Les valeurs trouvées sur l'ensemble des forages sont en dessous de la norme. Les nitrates, un marqueur essentiel de la pollution agricole et ses valeurs sont comprises entre 1 et 42 mg/L avec une moyenne de 17 mg/L. Le sodium, très peu d'analyses ont été réalisés. Sa valeur est comprise entre 31 mg/L et 135 mg/L avec une moyenne de 57 mg/L. Seuls le F1, le F20 et le F18 ont des teneurs supérieures à 100 mg/L. La dureté

Chapitre III. Discussion et interprétation des résultats

de l'eau constituée de calcium et de magnésium est comprise entre 13°F et 54°F avec une moyenne de 39°F. La plus part des forages ont des duretés inférieures à la norme admise mais sont moyennement dures. Le calcium contribue fortement à cette dernière contrairement au magnésium. La minéralisation est représentée par la conductivité exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elle est comprise entre 535 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1760 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 978 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette valeur de 1760 a été observée que dans un seul prélèvement. Mais généralement les forages, leurs valeurs sont situées très en dessous de celle-ci. Nous pouvons ainsi dire que la minéralisation dans l'ensemble des point d'eaux sont minéralisés et sont dans les normes. Des analyses de potabilité ont été également réalisées sur l'ensemble des forages. Les résultats obtenus sont au-dessous de la limite de détection des méthodes et par conséquent nous pouvons en déduire que les eaux des forages ont été préservées de la contamination durant la période étudiée. Les paramètres recherchés ont été le phosphore, l'ammonium et les nitrites.

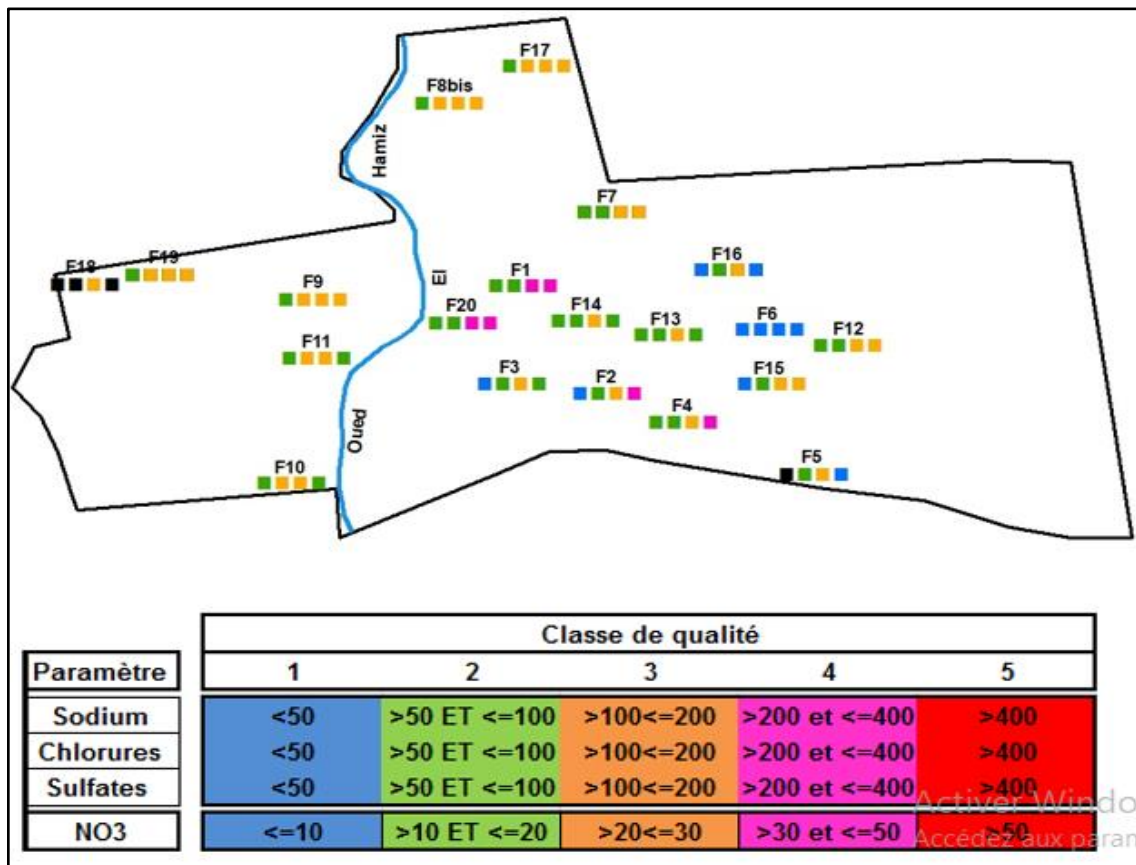


Figure.44 Représentation cartographiée des résultats d'analyses.



Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Le choix de la zone d'étude nous a été inspiré par le projet de contrat de nappe établi par l'AGIR. Ce serait un outil incontournable qui permet de rétablir le bilan de la nappe afin de sécuriser l'AEP et assurer la durabilité de l'agriculture, le poumon économique de la région. Le présent mémoire est un ensemble de données antérieures recueillies auprès des organismes d'état. Les cartes piézométriques que nous avons examinées entre 2003 et 2018 le long de l'oued Hamiz et la nappe quaternaire ont fait ressortir qu'en général c'est la nappe qui draine et alimente l'oued, confirmé par les formes des courbes isopièzes qui se convergent vers l'oued. Par ailleurs l'étude hydrogéochimique de la ressource souterraine de la Mitidja Est atteste la prépondérance des faciès chimiques bicarbonaté calcique avec une légère affinité de déplacement de faciès vers le chloruré calcique et celui du chloruré magnésien.

L'étude des rapports caractéristiques entre les éléments chimiques montre trois processus responsables de ce faciès chimique :

- la dissolution de la formation aquifère (carbonatée et évaporitiques) ;
- échange de base entre l'eau et l'aquifère ;
- le retour des eaux d'irrigation chargées en sels dans les périmètres irrigués ;
- une intrusion marine probable.

La qualité des eaux de la nappe évaluée à partir des forages AEP avec des résultats d'analyses datant de la période 2002/2015 indiquent que les éléments minéraux fondamentaux ainsi que les nitrates ont été dans les normes admises.

Recommandations :

L'optimisation d'une stratégie d'exploitation cohérente permettrait de valoriser ses eaux tout en garantissant ses potentialités à long terme. La priorité est de faire appel à des ressources non conventionnelles afin de libérer la pression excessive sur la ressource souterraine ;

La mise en place et réalisation d'une surveillance des eaux souterraines qui se traduit de l'optimisation du maillage conséquent de piézomètres complété par un réseau constitué de forages d'irrigation ;

Faire des aménagements au niveau de l'oued afin de maintenir le cours d'eau dans son profil d'équilibre et permettre l'écoulement naturel des eaux ;

Diagnostic exhaustif de la zone d'étude pour l'établissement d'une carte de source de pollution

Conclusion Générale

Développer l'outil isotopique pour une meilleure connaissance des échanges nappe/oued.
Enquêtes sur la gestion des engrais et pesticides.

Chapitre I :

Figure.1 Situation géographique de la plaine de la Mitidja.....	3
Figure.2 Carte géologique de la Mitidja (ANRH).....	3
Figure.3 Litho stratigraphique Synthétique de la Mitidja Est.....	7
Figure.4 Coupe géologique de la Mitidja Est.....	8
Figure.5 Les sous bassins versants de la Mitidja Est.....	9
Figure.6 Carte de zone d'étude	10
Figure.7 Variation des précipitations moyennes mensuelles (2000.2018).....	12
Figure.8 Histogramme des précipitations moyennes annuelles (2000.2018).....	12
Figure.9 Histogramme des Variations de la température moyenne mensuelle Dar El Beida.....	13
Figure.10 Diagramme ombrothermique interannuel.....	14
Figure.11 Carte d'occupation du sol.....	14
Figure.12 Répartition de l'occupation du sol.....	15
Figure.13.Besoins en eau pour l'agriculture irriguée 2017.....	16

Chapitre II :

Figure.14 Compartiments principaux du cycle hydrologique. Les flèches indiquent le sens des échanges entre les différents réservoirs	18
Figure .15 Schéma présentant la distribution de la pluie au sol et dans le sol	19
Figure.16 Coupe type d'une nappe alluviale.....	21
Figure.17 Relation d'une nappe alluviale avec les terrains encaissants	22
Figure.18 Secteur amont : limite à condition de potentiel.....	22
Figure.19 Secteur médian : Limite à condition de flux.....	23
Figure.20 Secteur aval : absence de limite.....	23
Figure.21 Composante eau souterrain du débit d'un cours d'eau.....	24
Figure.22 Variations saisonnières	25
Figure.23 Différence de perméabilité liée à un grano-classement d'amont en aval.....	25
Figure.24 Influence du pompage sur le flux d'eau entre la nappe et le cours d'eau.....	26
Figure.25 Propagation d'une pollution.....	30
Figure.26 Zone schématiques idéalisées pour la protection d'un forage dans un aquifère libre.....	31
Figure .27 Cas nappe drainée par l'oued.....	33
Figure .28 Cas nappe alimentée par un cours d'eau.....	34

Chapitre III :

Figure.29 Structure de la base de données.....	36
Figure.30 Carte de localisation des piézomètres.....	37
Figure.31 carte piézométrique 2003 basses eaux.....	38
Figure.32 carte piézométrique 2016 hautes eaux.....	39
Figure.33 carte piézométrique 2018 basses eaux.....	40

Liste des figures et Tableaux

Figure.34 Graphe des niveaux statiques en période hautes eaux et basses eaux en fonction de la production annuelles.....	41
Figure.35 Graphe de production CC Hamiz 2003-2017.....	42
Figure.36 Diagramme de piper 2002,2017 CC Hamiz.....	43
Figure.37 Relation Ca-Cl.....	44
Figure.38 Relation Ca-Cl.....	44
Figure.39 Relation SO ₄ -C.....	45
Figure.40 Relation SO ₄ -Cl.....	46
Figure.41 Relation Na-Cl.....	46
Figure.42 Relation Na-Cl.....	42
Liste des tableaux :	
Tableau.1 Caractéristique générales des stations pluviométriques.....	11
Tableau.2 Précipitations moyennes mensuelles et annuelles (2002/2018).....	11
Tableau.3 Variation de la température de Dar El Beida (2002/2018).....	13
Tableau.4 Outils pouvant être utilisées pour caractériser les relations une eau de surface et eau eau souterraine.....	32
Tableau.5 les paramètres chimiques par période.....	48

[1] Agence de Gestion Intégrée des ressources en eau ; Rapport diagnostique de l'état actuelle du champ captant hamiz ;Janvier 2019 ;48pages.

[2] Khoualed,Remli ; Mise en évidence de l'intrusion marine vers les Aquifères côtiers cas de la plaine de Mitidja Orientale ;2016 ;178pages

[3] BRGM ; Bulletin annuel de situation hydrologique du bassin Seine-Normandie ; Mars 2002.

[4] Hadjoudj.O ; Pollution des nappes aquifères de la mitidja par les nitrates ; 2008,367 pages.

[5] BRGM ; Contribution à la caractérisation des relations entre eau de surface et écosystèmes terrestres associés en lien avec la DCE ; Février 2010 ; 235 pages

[6] Daum J.R., Martelat A ; Guide sur la gestion et la protection des captages d'eau potable dans les nappes alluviales, 1997.

[7] Doussan et Al ; Water Uptake by Plant Roots ; 1994.

[8] J.F. Vernoux, Délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses ; Février 2010.

[9] Arnaud C,La protection des eaux souterraines :protection des captages et réglementation .société hydrotechnique de France ;2000.

Site web :

www.google.fr

www.Wikipédia.fr

Annexes

forages	X_UTM	Y_UTM
F1	522460,694	4064467,19
F2	522817,696	4063877,19
F3	522398,694	4063937,19
F4	523257,699	4063729,19
F5	523928,704	4063431,19
F6	523717,702	4064249,19
F7	522907,697	4064883,2
F8 bis	522085,691	4065482,2
F9	521385,687	4064405,19
F10	521345,686	4063363,19
F11	521390,687	4064086,19
F12	524096,705	4064154,19
F13	523176,699	4064218,19
F14	522783,696	4064296,19
F15	523699,702	4063952,19
F16	523518,701	4064578,2
F17	522569,695	4065679,2
F18	520257,679	4064481,19
F19	520583,681	4064537,19
F20	522116,692	4064269,19

Tableau 1 Coordonnées des forages CC Hamiz

Pz	X_UTM	Y_UTM
Pz 1	523619,776	4063859,12
Pz 2	522370,812	4064162,88
Pz B	522429,448	4067012,43
Pz C	521576,355	4065965,12
Pz G	521528,635	4066715,19
Pz 60	521230,033	4067166,05
Pz 61	520730,087	4067167,57
Pz 51	520875,519	4065667,28
Pz 50	520477,231	4066218,43
Pz 54	521933,898	4068463,79
Pz f	522281,435	4067662,82
Pz 58	522536,861	4069461,86

Tableau 2 Coordonnées des Piézomètres

Annexes

Pz	z	2003	2006	2016	2018
PZ 50	16,01	-6,69	-5,79	-10,39	
PZ 51	17,38	-1,42	-1,25	-9,37	-9,32
PZ 54	10,69	-6,51	-5,31	-2,03	-2,26
PZ 60	15,11	-8,14	-7,89	-2,90	-6,29
PZ 61	14,28	-5,82	-5,02	-5,52	-3,72
PZ B	16,38	-11,62	-11,82	-8,94	-8,82
PZ C	18,34	-3,41	-3,06	-2,36	
PZ F	15,07	-10,23	-7,53		-5,53
PZ G	16,42	-9,43	-11,28	-4,08	-1,38
pz1 hz	26	-11,30	-15,50	-4,00	-13,45
pz2 hz	27,35	-10,75	-13,08	-10,70	-10,10

Tableau 3 Niveaux statiques des basses eaux

Pz	Z	2003	2006	2016	2018
PZ 50	16,01	-8,69	-7,69	-5,89	-6,09
PZ 51	17,38	-9,77	-2,12	17,38	-8,87
PZ 54	10,69	-8,31	-4,68	-1,43	10,69
PZ 60	15,11	-8,19	-6,78	-5,19	-2,54
PZ 61	14,28	-6,14	-4,20	-2,97	-6,87
PZ B	16,38	-10,92	-10,15	-7,97	-8,22
PZ C	18,34	-1,41	-2,33	18,34	
PZ F	15,07	-10,03	-7,70	-4,91	-5,13
PZ G	16,42	-7,88	-9,05	-3,28	-1,18
pz1 hz	26	-11,70	-11,50		-13,4
pz2 hz	27,35	-11,20	-11,40	3,00	-9,3

Tableau 4 Niveaux statiques des hautes eaux

Annexes

Point de prélèvement	T°C	pH	Cond (µS/cm)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
F 12		7,46	888	102,34	27,29	/	1,2	/	180,46	133
F 1		7,55	972	101,22	37,69	53,5	1	82,3	363,46	285,48
F 4		7,84	943	105,37	30,04	53,5	1	82,3	135,51	286,7
F 7		7,56	821	96,77	27,92	48,5	1	63,22	100,78	268,4
F 8		7,49	895	97,38	22,58	50,5	1,3	70,38	118,58	275,72
F 10		7,33	835	89,09	30,23	49,2	1,2	66,2	84,92	285,48
F 13		7,22	750	78,7	22,37	44,2	1,4	47,71	117,6	258,64
F 16		7,26	857	89,92	30,14	49,2	1,2	66,54	102,43	272,06
F 14		7,81	760	80	23,8	48	1,41	61,92	105	275,72
F15		7,39	804	81	30	49	1,3	65	102	260
F 5		7,52	1219	109,18	61,5	54	1,5	85	177,5	336,7
F 19		7,5	1032	113	33,2	62	1,5	113	249	292,8
F 20		7,21	1243	134,28	43,05	61	1,7	116,79	326,14	333,06

Tableau 5 Analyse physico-chimique campagne 2002.

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
1	2 001	BE	106	32	56	1	88	135	277	25	7,51	983	<0,02	<0,09	<0,02
	2 006		121	36	35	2	96	163	310	32	6,96	1109	<0,02	<0,09	<0,02
	2 010		130	38				220	290		7,23	902	<0,02	<0,09	
	2 015		100	47	35	1	59	270	260	0	7,97	758	<0,03		
	1 995	HE	104	23	42	3	58	117	285		7,60	839	<0,02	<0,09	<0,02
	2 002		101	38	135	2	82	363	285	26	7,55	972	<0,02	<0,09	<0,02
	2 005		120	38	68	1	98	103	305	24	7,20	1117	<0,02	<0,09	<0,02
	2 007		123	39	38	1	105	62	390	36	7,32	1006	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		125	21	34	1	93	134	279	28,27	7,11	1110	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		92	24			60	97	246		7,23	801	<0,02	<0,09	<0,02

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
2	2 006	BE	118	27			79	161	285	18,72	7,02	958	<0,02	<0,09	<0,02
	2 004	HE	101	31	40	1	69	134	284	19	7,39	889	<0,02	<0,09	<0,02
	2 005		99	30	63	1	73	89	282	10	7,27	927	<0,02	<0,09	<0,02
	2 007		107	36			77	66	329	18	7,37	878	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		119	46			85	107	281	21	7,22	1037	<0,02	<0,09	<0,02

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
3	2 010	BE	120	29				210	290		7,2	902	<0,02	<0,09	
	2 007	HE	108	24	35	2	85	66	300	12	7,3	889	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		105	38	38	1	95	97	272	16	7,31	1045	<0,02	<0,09	<0,02
	2 015							160		42		1152			<0,03

Annexes

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
4	2 005	BE	120	34	63	1	86	136	279	31	7,31	1 053	<0,02	<0,09	<0,02
	2 006		124	36			91	179	298	33	7,04	1 075	<0,02	<0,09	<0,02
	2 002	HE	105	30	52	1	82	136	287	32	7,84	943	<0,02	<0,09	<0,02
	2 004		116	34	58	1	87	149	283	35	7,21	1 011	<0,02	<0,09	<0,02
	2 007		115	46			87	74	306	28	7,12	983	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		123	34			113	113	280	25	7,23	1 142	<0,02	<0,09	<0,02

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
5	2 006	BE	92	26			50,72	166	273	9	7,17	852	<0,02	<0,09	<0,02
	2 002	HE	109	62				178	337	37	7,52	1219	<0,02	<0,09	
	2 007		90	60			54,73	165	252	9	7,4	795	<0,02	<0,09	<0,02

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
6	2 010	BE	86	24				170	250		7,39	651	<0,02	<0,09	

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
7	2 001	BE	83	33	53	1	66	143	264	18	7,58	843	<0,02	<0,09	<0,02
	2 006		105	30			71	160	285	23	7,04	944	<0,02	<0,09	<0,02
	2 015		65	31			41	<20	280	3	7,08	259	<0,03	<0,04	<0,03
	2 002	HE	97	28			63	101	268	19	7,56	821	<0,02	<0,09	<0,02
	2 004		107	27	58	1	74	148	281	23	7,34	911	<0,02	<0,09	<0,02
	2 007		103	32			72	64	280	17	7,36	872	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		117	31			84	139	267	34	7,30	1030	<0,02	<0,09	<0,02

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
8	2 001	BE	90	43	53	1	60	131	265	14	7,53	825	<0,02	<0,09	<0,02
	2 006		94	30	57	1	67	152	283	16	7,12	890	<0,02	<0,09	<0,02
	2 000	HE	97,9	35,32	48,5	1,38	72,7	140,92	292,8	21,21	7,34	901	trace	<0,09	trace
	2 000		105	38	40	1	66	138	267	23	7,32	835	<0,02	<0,09	<0,02
	2 002		97	23	45	1	70	119	276	18	7,49	895	<0,02	<0,09	<0,02
	2 004		106	26	52	2	85	138	284	25	7,48	971	<0,02	<0,09	<0,02
	2 004		100	26	31	1	66	129	271	16	7,2	905	<0,02	<0,09	<0,02
	2 005		101	28	72	1	74	118	271	10	7,28	932	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		131	52	67	1	135	142	257	27	7,18	1169	<0,02	<0,09	<0,02
	2 009		140	42	72	1	142	141	245		7,25	1338	<0,02	<0,09	<0,02

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
9	2 010	BE	87	24				120	270		7,32	624	<0,02	<0,09	
	1 998	HE	98	20	41	1	52	110	293	10	7	888	<0,02	<0,03	
	2 007		93	30			73	41	275	11	7	884	<0,02	<0,09	<0,02
	2 007		93	30			73	41	275	11	7	884	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		93	37			81	142	262	11	7	970	<0,02	<0,09	<0,02
	2 009		101	34			138	135	262		7	1 084	<0,02	<0,09	<0,02
	2 011		83	24		1	100	130	340	16	7	922			<0,02
	2 015		120	45	71	1	134	190	330	38	7	1 207	<0,03	<0,04	<0,03
	2 015		120	32	53	1	109	140	280	21	8	948	<0,03	<0,04	<0,03

Annexes

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
10	2 002	HE	89	30			88	95	285	12	7,33	835	<0,02	<0,09	<0,02
	2 004		110	33	52	1	110	124	312	17	7,38	1003	<0,02	<0,09	<0,02
	2 007		96	33			85	127	366	13	7,26	864	<0,02	<0,09	<0,02
	2 007		96	33			85	127	366	13	7,26	864	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		96	45			81	102	298	11	7,37	949	<0,02	<0,09	<0,02
	2 015		100	37	57	1	112	100	310	14	7,36	908			

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
11	2 010	BE	99	19	46	1	87	170	280	14	7,23	841	<0,02	<0,09	
	2 000	HE	96	34	53	2	74	111	275	11	7,49	787	<0,02	<0,09	<0,02
	2 000		100	34	58	1	77	158	307	11	7,30	909	0	<0,09	<0,02
	2 007		98	32	45	1	75	125	274	12	7,25	857	<0,02	<0,09	<0,02
	2 011		110	27	51	1	92	140	280	18	7,24	927	<0,02	<0,09	<0,02
	2 012		110	27	52	1	101	140	275	15	7,20	963			
	2 012		110	28	48	1	111	140	261	17	7,10	930			
	2 012		120	39	52	1	103	130	275	15	7,12	946			
	2 012		120	29	49	1	132	140	256	17	7,20	1 020			
	2 015		120	33	56	1	117	170	290	21	7,51	1 010			

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
12	2 005	BE	98	24	53	1	57	170	261	20	7,19	866	<0,02	<0,09	<0,02
	2 010		88	29	54	1,3	68	155	235	23	7,38	899	<0,02	<0,09	
	2 006		96	29	58	1	60	159	245	20	7,33	872	<0,02	<0,09	<0,02
	2 002	HE	102,34	27,29	48	1	70	158	233	31	7,46	888	<0,02	1,16	<0,02
	2 008		121	34	45	1	72	155	256	27	7,66	918	<0,02	<0,09	<0,02

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
13	2 005	BE	94	23	58	1,2	56	132	260	13	7,31	820	<0,02	<0,09	<0,02
	2 006		94	31	48	1,2	60	165	275	12	7,06	843	<0,02	<0,09	<0,02
	2 010		93	29	48	1,3	68	152	270	12	7,23	924	<0,02	<0,09	
	2 002	HE	79	22	56	1,0	48	118	259	14	7,22	750	traces	0,15	<0,02
	2 007		94	29	45	1,3	61	148	269	14	7,23	819	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		90	27	51	1,2	74	102	274	14	7,29	893	<0,02	<0,09	<0,02
	2 007		94	30	42	1,0	61	142	269	14	7,23	819	<0,02	<0,09	<0,02

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
14	2 006	BE	92,18	32,31	63	1,5	70	133	288	14	7,08	900	<0,02	<0,09	<0,02
	2 010		99	28	52	1,3	101	155	280	16	7,18	925	<0,02	<0,09	
	2 002	HE	80	23,8	65	1,4	62	110	276	6	7,81	760	<0,02	<0,09	<0,02
	2 005		91,22	24,68	63	1,6	66	115	265	7	7,3	862	<0,02	<0,09	<0,02
	2 007		98,2	36,5	58	1,3	64	145	275	16	7,33	873	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		96	29	59	1,4	92	165	258	15	7,76	901	<0,02	<0,09	<0,02

Annexes

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
15	2 005	BE	100,27	24,18	40	1,4	59,44	111,8	259,86	21,21	7,3	876	<0,02	<0,09	<0,02
	2 006		102,6	31,34	38	1,2	64,74	152,36	275,2	25,39	7,2	923	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008	HE	105	32	37	1	88	102	252	22	6,8	939	<0,02	<0,09	<0,02

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
16	2 006	BE	98	29	48	1	71	148	282	18	7,1	906	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		97	31	42	1	82	151	254	19	6,9	875	<0,02	<0,09	<0,02
	2 002	HE	90	30	45	1	67	102	272	12	7,3	857	<0,02	0,3	<0,02
	2 007		105	29	41	1	67	147	268	18	7,5	864	<0,02	<0,09	<0,02

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
18	2 010	BE	110	32				190	280		7,44	1005	<0,02	<0,09	
	2 004	HE	142,4	27,12	100	1,8	151,2	162,28	272,06	17,49	7,55	1233	<0,02	<0,09	<0,02

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
19	2 004	HE	126,4	35,28	82,5	1,7	134,04	195,6	270,84	18,95	7,51	1224	<0,02	<0,09	<0,02
	2 012		120	34	53	1,3	125	150				993			
	2 012			32	63	1,8	43	140				1002			
	2 012			44	60	1,2	119	140							
	2 012		110	30		1,1	125	150				1057			
	2 012		110	31	64	1,2	122	150				1068			
	2 012		120	24		1,5	144	150				1038			
	2 012		110	29	61	1,3	137	130				929			
	2 015		130	27	73	1,28	138	170	280	27	7,26	1120			
	2 015		130	36	66	1,42	144	180	280	28	7,56	535			

Forage	Année	Période	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	pH	CE	NO2	PO4	NH4
20	2 006	BE	104,21	24,3	68	1,8	68,01	160,28	290,27	17,37	7,12	918	<0,02	<0,09	<0,02
	2 010		110	25				190	280		7,48	1006	<0,02	<0,09	
	2 002	HE	134,28	43,05	108,12	1,7	116,79	326,14	333,06	39,3	7,21	1243	<0,02	<0,04	<0,02
	2 007		101,8	27,2			68,7	47,7	277,4	17,8	7,47	892	<0,02	<0,09	<0,02
	2 008		107	32			95	99	264		7	930	<0,02	<0,09	<0,02
	2 015							220		62	7,2	1443			<0,03

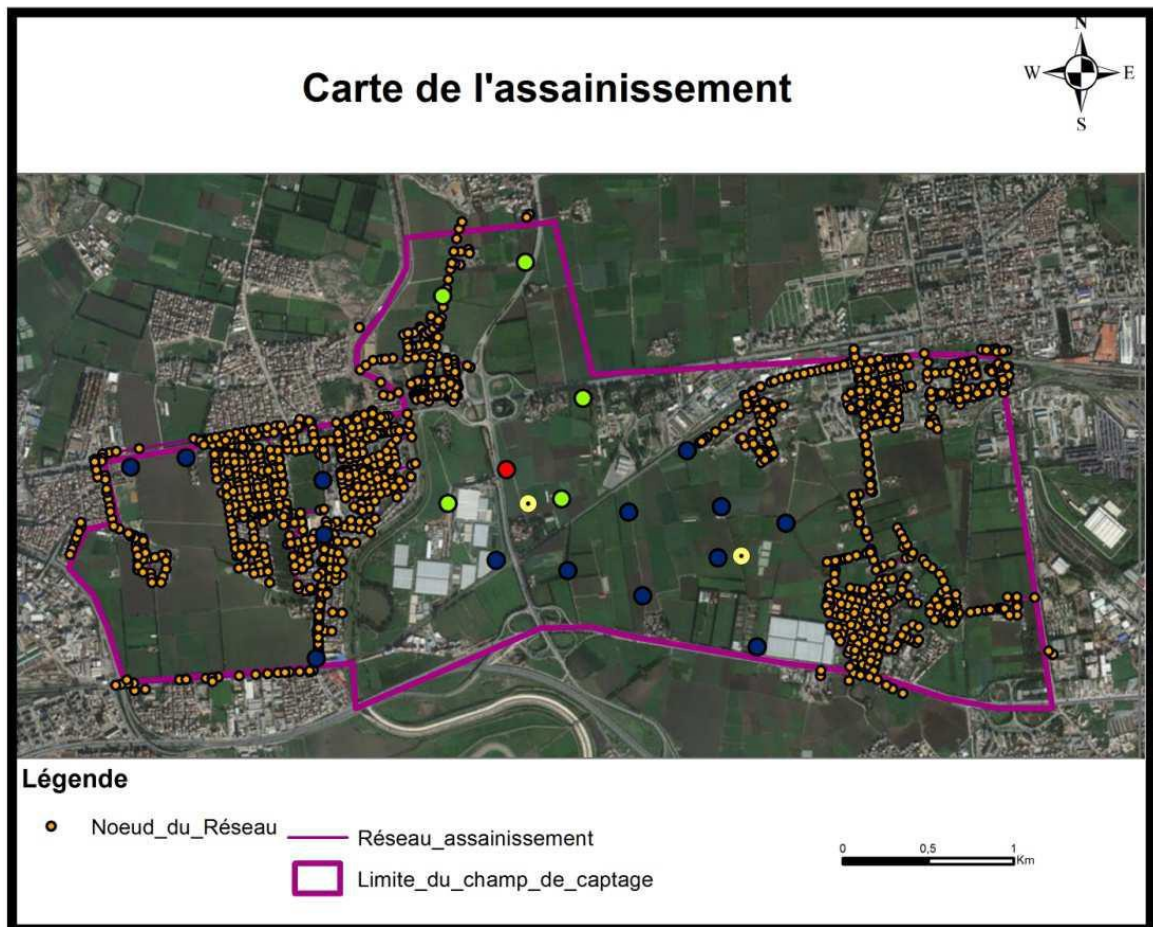


Figure Carte du réseau d'assainissement (source Agire 2018).