

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire de Fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master en
Sciences de la Terre
Spécialité : Hydrogéologie

THEME

***Surexploitation de la nappe de basse Mekerra de Sidi Bel Abbés
(NW Algérien): états des lieux et perspectives***

Présentée et soutenue publiquement par :

BRAHIMI Abdelhadi

Devant le jury composé de :

M. Foukrache	Professeur	Univ. Oran2	Président
H. Mansour	Professeur	Univ. Oran2	Encadreur
H. Ablaoui	M.A.A	Univ. Oran2	Examineur

Année 2019/2020

Remerciements

Mes sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury qui ont accepté de lire et de juger ce travail :

Monsieur, M. Foukrache Professeur à l'Université d'Oran 2 qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

Madame H. Ablaoui M.A.A à l'Université d'Oran 2 de bien vouloir accepter d'examiner mon travail et apporter son avis et ses critiques.

Enfin, comment terminer cet avant-propos sans associer ma famille pour son encouragement, son soutien et sa patience.

Resumé

La demande en eau potable dans la ville de Sidi Bel Abbés a accrue au fil du temps et en parallèle l'exploitation des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire a augmentée d'une façon inquiétante et La ville de Sidi Bel Abbés est devenue dépendante des Wilayas avoisinantes pour répondre à ses besoins en eaux potables.

L'absence de grands barrages et la pluviométrie moyenne et irrégulière viennent se superposer à une pauvre connaissance du potentiel en eaux souterraines de la Wilaya de Sidi Bel Abbés. Nonobstant cela, l'aquifère des alluvions plio-quadernaires de la plaine de Bel Abbés peut être considéré comme une exception. Cet aquifère qui s'étend sur plus de 800 km², porte une nappe libre drainée par l'Oued Mekerra et captée par un nombre assez impressionnant de puits et forages, destinés dans leur quasi majorité à l'irrigation des terres.

La présente étude vise à identifier les potentialités en eaux souterraines de la plaine de Sid Bel Abbés, à caractériser les principaux paramètres les affectant quantitativement (surexploitation) et à proposer des solutions et recommandations pratiques, permettant de les protéger contre la détérioration et la surexploitation. Les résultats obtenus au terme de ce travail ont permis de mieux connaître les caractéristiques morphologiques, climatiques, géologiques et structurales générales de la zone d'étude. L'étude des paramètres hydrodynamiques de la nappe, ses conditions aux limites, sa recharge et son déstockage et le niveau piézométrique depuis 1971 jusqu'à 2014 a clairement démontrée sa surexploitation.

Mots clés : Aquifère Plio-quadernaire, Surexploitation, Plaine de Sidi Be Abbés, Piézométrie.

ملخص

ازداد الطلب على مياه الشرب في مدينة سيدي بلعباس بمرور الوقت وبالتوازي مع زيادة استغلال المياه الجوفية من منسوب المياه الجوفية الرباعي بشكل مقلق وأصبحت مدينة سيدي بلعباس تابعة الولايات المجاورة لسد احتياجاتها من مياه الشرب.

إن عدم وجود سدود كبيرة ومعدل هطول الأمطار وعدم انتظامه يُفرضان على ضعف المعرفة بإمكانيات المياه الجوفية استثناءً. هذا الخزان الجوفي ، الذي لولاية سيدي بلعباس. على الرغم من ذلك ، يمكن اعتبار طبقة المياه الجوفية في سهل يمتد على أكثر من 800 كيلومتر مربع ، يحمل منسوباً مفتوحاً للمياه الجوفية من واد مكرة ويتم التقاطه من خلال عدد كبير من الآبار ، ومعظمها مخصص لري الأرض.

تهدف الدراسة الحالية إلى تحديد إمكانات المياه الجوفية لسهل سيدي بلعباس ، وتوصيف العوامل الرئيسية التي تؤثر عليها كميّاً (الاستغلال المفرط) واقتراح الحلول العملية والتوصيات ، مما يجعل من الممكن حمايتها من التدهور والاستغلال المفرط. جعلت النتائج التي تم الحصول عليها في نهاية هذا العمل من الممكن فهم الخصائص الهيكلية المورفولوجية والمناخية والجيولوجية والعامّة لمنطقة الدراسة بشكل أفضل. أظهرت دراسة المعلمات الهيدروديناميكية للجدول المائي ، وظروف حدوده ، وإعادة شحنه وإستغلال المخزون من 1971 إلى 2014 ، بوضوح الاستغلال المفرط.

الكلمات المفتاحية: طبقة المياه الجوفية

المنتمية لحقبة البليوكواترنير ، الاستغلال المفرط ، سهل سيدي بلعباس، مستوى المياه الجوفية.

Abstract

The demand for drinking water in the City of Sidi bel abbé has increased over time and in parallel the exploitation of groundwater from the rainy quaternary aquifer has increased in a worrying way and the town of sidi bel abbé has become dependent on the neighboring Wilayas to meet its drinking water needs.

The absence of large dams and the average and irregular rainfall are superimposed on a poor knowledge of the groundwater potential of the Wilaya of Sidi Bel Abbés. Notwithstanding this, the aquifer of the plio-quaternary alluvium of the Bel Abbés plain can be considered as an exception. This aquifer, which covers more than 800 km², carries a free water table drained by the Oued Mekerra and captured by a rather impressive number of wells and boreholes, almost all of which are intended for land irrigation.

The present study aims at identifying the groundwater potential of the Sid Bel Abbés plain, at characterizing the main parameters affecting them quantitatively (overexploitation) and at proposing practical solutions and recommendations, allowing to protect them against deterioration and overexploitation. The results obtained at the end of this work allowed a better knowledge of the general morphological, climatic, geological and structural characteristics of the study area. The study of the hydrodynamic parameters of the aquifer, its boundary conditions, its recharge and withdrawal and the piezometric level from 1971 to 2014 clearly demonstrated its overexploitation.

Keywords: Pluio-quaternary aquifer, Overexploitation, Sidi Be Abbés plain, Piezometry

Liste des figures

Figure 1 : La situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbés (Google Earth., 2020).....	4
Figure 2: Situation du bassin versant de la Macta.....	6
Figure 3: Bassin versant de la Macta et ses principaux oueds.....	7
Figure 4: Localisation du bassin versant de la Mekerra.....	8
Figure 5: Réseau hydrographique du bassin versant de la Mekerra.....	10
Figure 6: Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles.....	12
Figure 7: Variations des précipitations moyennes annuelles.....	14
Figure 8: Carte des formations géologiques de la plaine de Sidi bel abbes.....	19
Figure 9 Carte géologique des aquifères du complexe hydrogéologique de la plaine de Sidi bel abbés.(Bensejad A., 2011).....	20
Figure 10: Carte hydrogéologique de la plaine de Sidi bel abbes.....	22
Figure 11: Colonne hydrogéologique type de la plaine de Bel Abbès.....	23
Figure 12: Carte piézométrique de la nappe libre pito-quatemaire de Sidi 13e1 Abbés.....	24
Figure 13: Alimentation et drainage de la nappe par l'oued Mekerra. (B. SOURISSEAU, 1973).....	27
Figure 14: Carte piézométrique de la nappe de la plaine de Sidi Bel Abbés (mai 1989).....	28
Figure 15: Carte piézométrique de la nappe de la plaine de Sidi Bel Abbés (novembre 1996).....	29
Figure 16: Carte piézométrique de la nappe plio-quadernaire (Décembre 2014).....	29
Figure 17: Fluctuation de niveau statique dans quelque puits de la nappe de la plaine.....	30
Figure 18: Carte des transmissivités du chenal conglornératique. (B. SOURISSEAU, 1973) (digitalisée par CorelDraw 12.0 Graphie).....	32
Figure 19: Discrétisation des prélèvements (AEP, agricoles et industriels) introduits dans le modèle.	33
Figure 20: Evolution des prélèvements AEP introduits dans le modèle.....	34
Figure 21: Evolution des prélèvements agricoles introduits dans le modèle.....	35
Figure 22: Evolution des prélèvements industriels introduits dans le modèle.....	35
Figure 23: Moyennes pluviométriques annuelles utilisées pour le calcul de la recharge.....	36
Figure 24: Discrétisation spatiale des apports latéraux et des pertes.....	37
Figure 25: Cartes piézométriques : simulée (régime permanent, 1971) et observée (Sourisseau, Janvier 1971).....	38
Figure 26: Ouvrages de calibration du le modèle.....	40
Figure 27: Bilan hydraulique de la nappe de la plaine de Sidi Bel Abbés entre 01/04/70 et 31/03/72. (B. SOURISSEAU, 1973).....	41
Figure 28: Variation piézométrique simulée – observée dans la zone Nord.....	43
Figure 29: Variation piézométrique simulée – observée dans la zone Est.....	44
Figure 30: Variation piézométrique simulée – observée dans la zone centre.....	45
Figure 31: Variation piézométrique simulée – observée dans la zone Sud.....	46

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification du réseau hydrographique.....	11
Tableau 2: Les caractéristiques de la station de sidi bel Abbas.....	11
Tableau 3: Les variations des précipitations moyennes mensuelles.....	12
Tableau 4: Les précipitations moyennes annuelles	13
Tableau 5: Occupation des sols de bassin de la Mekerra (Bneder, 1979 et Hallouch, 2007).....	16
Tableau 6: Bilan des entrées et sorties en régime permanent du système aquifère plio-quadernaire.	39
Tableau 7: Baisse du niveau de la nappe plio-quadernaire entre 1971 et 2014.....	47

Sommaire

Chapitre I : Considérations générales

I- Situation géographique :	3
II_ Contexte Hydrographique de la région d'étude :	4
III_ Contexte Climatique :	11
IV_ Pédologie et couvert végétal :	14

Chapitre II : Cadre hydrogéologique

I_ CONTEXTE GEOLOGIQUE :	18
II_ CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE :	19
III. État des lieux de la nappe de la mekerra	24
IV_ Conclusion générale :	50
V_ Recommendations :	52

Introduction

Les prélèvements d'eau souterraine dans le monde ont été estimés à 1 000 km³ /an en 2010 (VAN DER GUN, 2012), dont 67 % pour l'irrigation, 22 % pour les besoins domestiques et 11 % pour l'industrie. Ces volumes représentent près de 10 % des ressources en eau souterraine renouvelables et 25 % des prélèvements en eau douce de la planète.

De nombreuses nappes phréatiques de par le monde ont été exploitées d'une manière excessive (par rapport à leur recharge naturelle par les précipitations), pour soutenir le développement de l'agriculture irriguée, ce qui diminue les réserves géologiques des aquifères et risque d'entraîner à terme le tarissement total des nappes les plus vulnérables : ainsi, en Algérie, plusieurs nappes phréatiques seront totalement épuisées avant la fin du XXI^e siècle (au rythme actuel des prélèvements) et elles ne pourront plus fournir qu'une fraction de la recharge de l'année. Par ailleurs, d'importants aquifères profonds des régions arides dont les eaux sont faiblement renouvelables ont été soumis à une exploitation intensive au cours des dernières décennies. Globalement, l'on estime que les prélèvements d'eau souterraine dans le monde ont sextuplé au cours des 60 années écoulées (VAN DER GUN, 2012). Il en est résulté, un peu partout dans le monde, de très importants rabattements des nappes au caractère parfois irréversible, entraînant souvent une lente dégradation de la qualité chimique des eaux souterraines du fait du lessivage de sels d'origine tellurique. La permanence d'une nappe souterraine reflète un équilibre entre a) ses entrées d'eau (recharges par infiltration-diffuse des précipitations au sol ou concentrée, le long des cours d'eau) et b) ses sorties : les débits de drainages concentrés dans un cours d'eau, une source ou directement en mer, évaporation dans des exutoires diffus (appelés chotts ou sebkhas en Afrique du Nord, et playas en Amérique) et les prélèvements. Tout nouveau prélèvement constitue une ponction sur les réserves de la nappe à proximité et se traduit par un rabattement de son niveau, celui-ci se stabilisant s'il a induit a) une réduction suffisante des sorties naturelles, ou b) un accroissement conséquent de la recharge par les cours d'eau. Si le prélèvement dépasse la capacité de récupération du système, le rabattement continue de s'accroître, ce qui définit un état d'épuisement des réserves et de surexploitation de la nappe

Chapitre I :

Considérations générales

I- Situation géographique :

La wilaya de Sidi Bel Abbès est située au nord-ouest de l'Algérie, issu du découpage administratif de 1974 et modifiée en 1984, elle est divisée en 52 communes et 15 daïra.

Sa position lui donne un caractère de plaque tournante dans la région, au nord, on trouve la wilaya d'Oran 80 km, au nord-ouest, Ain Temouchent 65 km, à l'est, Saida 100 km et Mascara 90 km, au sud, el Bayedh et Naama, à l'ouest, Tlemcen 90 km. Elle est située sur la Mékerra, à 470 m d'altitude, au centre d'une vaste plaine comprise entre le djébel Tessala au Nord et les monts de Daya au Sud.

La wilaya occupe une position centrale stratégique et s'étend sur environ 15% du territoire de la région Nord-Ouest du pays soit 9150,63 km². Elle est considérée comme relais de par son emplacement privilégié dans la mesure où elle est traversée par les principaux axes routiers de cette partie du pays.

1. Situation géographique La plaine étudiée occupe une position centrale au niveau de la wilaya de Sidi bel Abbès (Fig.1).
2. Elle est à environ 500 Km au Sud – Ouest d'Alger, et à 83 Km au Sud – Est d'Oran.

La Wilaya de Sidi Bel Abbès abrite l'une des plaines les plus fertiles du pays. Cette dernière se caractérise par une altitude moyenne variant de 500 à 700 m. Elle comprend la plaine de Sidi Bel Abbès proprement dite (ancienne cuvette marécageuse), la plaine de Belarbi qui en est le prolongement à l'Est, la plaine de Boukhanefis-Tabia située au Sud (à topographie assez accidentée) et la plaine de Hassi Zahana (plus haute altitude), à relief largement ondulé.

La plaine de Sidi Bel Abbès s'étend sur une superficie avoisinant les 1150 km² et elle constitue le bassin versant dit de la moyenne Mekerra. Elle ne s'étend pas d'une manière uniforme sur toute sa longueur. En effet, elle devient de plus en plus étroite, au fur et à mesure que l'on va vers le Nord-est.



Figure 1 : La situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbès (Google Earth., 2020)

II-Contexte Hydrographique de la région d'étude :

Selon la direction de l'hydraulique de la wilaya de Sidi Bel Abbès. Le réseau hydrographique correspond à la partie amont de deux bassins hydrographiques régionaux qui sont la Macta et le Chergui. Cet important réseau épouse l'orientation et l'inclinaison Sud-Nord, de ses plaines, et Nord-Sud, de son étendue steppique. Sa partie septentrionale occupe le grand bassin de la Macta. Alors que les 40% restant correspondant à sa partie steppique et couvre un troisième bassin versant ouvert. Ces trois bassins versants, s'écoulant séparément en dehors de la wilaya dans les trois directions Nord, Est et Sud qui sont :

- Le bassin de l'Oued Mékerra, d'une superficie de 4150 km² dont 3629 km² sur la wilaya de Sidi Bel Abbès suit le cours de son oued sur une longueur de l'ordre de 136 km. Il prend sa source à plus de 1300m d'altitude, en drainant une partie de la zone steppique de Ras El Ma et RejemDemouch.
- Le bassin supérieur de l'Oued El Hammam, s'étale sur une superficie de 1240 km² en ressemblant des apports de l'oued Melghir, l'oued Tenira et oued Sefioune estimés à 73 hm³/an. Ces oueds, qui prennent leurs sources sur les versants nord et monts de Dhaya à une altitude dépassant les 1200m.

– Le bassin versant des hautes plaines steppiques s'étend sur une superficie de 2925 km² et dispose d'un ensemble d'oued présentent un écoulement intermittent. Il s'agit de l'oued Djorf El Ghorab, l'oued El Kouitet et l'oued El Semar. Ces oueds qui prennent leurs sources sur les versants sud des monts de Dhaya à une altitude de 1300 m déversent un volume d'eau estimé entre 4,8 et 11,6 hm³/an. Sans pouvoir être mobilisées superficiellement, ces ressources s'écoulent vers le sud pour alimenter la nappe du bassin endoréique de Chott (D.H.W,SBA,2013)

II.1- Le bassin versant de la Macta :

Le bassin versant de la Macta s'étend sur une superficie de 14750 km². Il est situé en Algérie occidentale, sous le code n°11 et est constitué de seize sous bassins (fig. 02).

Le bassin est délimité :

- au Nord-ouest, par la chaîne montagneuse du Tessala,
- au Sud, par les hauts plateaux de Ras-el-Ma et les plaines de Maalifs,
- à l'Ouest par les plateaux de Telagh et les monts de Tlemcen qui sont le prolongement des monts de Béni-Chougran (A. Khaldi, 2005),
- et à l'Est, par les monts de Saïda.

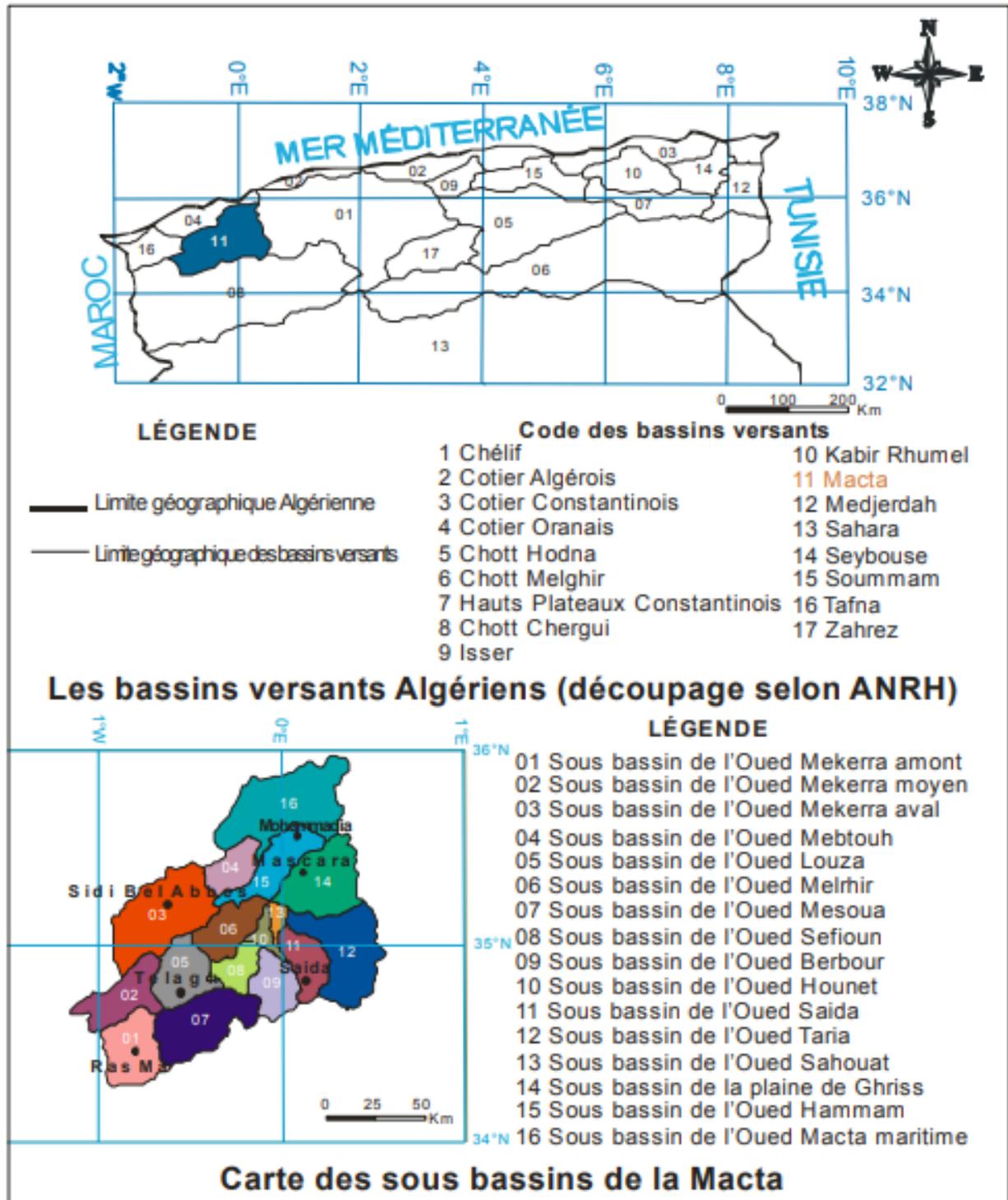


Figure 2: Situation du bassin versant de la Macta

Le bassin de la Macta est traversé par deux principaux cours d'eau, l'oued Mekerra à l'Ouest et l'oued El Hammam à l'Est. Ces cours d'eau se rejoignent non loin de la côte Méditerranéenne pour former la Macta (fig. 03).

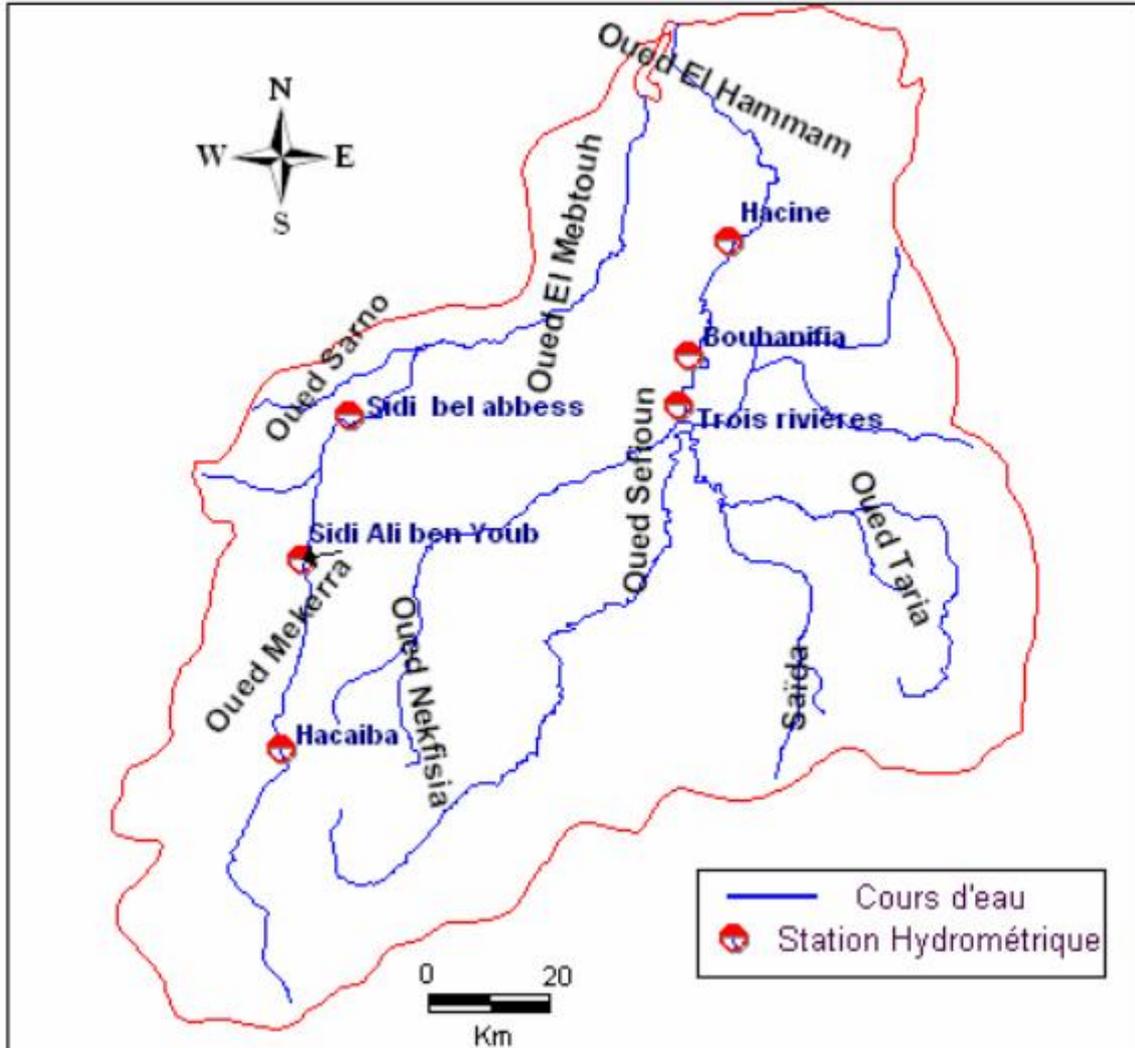


Figure 3: Bassin versant de la Macta et ses principaux oueds

II.2- Présentation du bassin versant de l'Oued Mekerra

Le bassin versant de l'Oued Mekerra fait partie du grand bassin versant de la Macta qui est situé au Nord-ouest de l'Algérie (fig. I.3). Il est compris entre la latitude 34°31 et 35°21 et la longitude 1°16 et 0°58. Il prend le nom de son Oued principal et couvre une superficie dépassant 3000Km². L'Oued Mekerra sillonne la plaine de Sidi Bel Abbes du Sud au Nord sur une distance

CHAPITRE I : CONSIDERATIONS GENERALES

D'environ 119 Km, avec un réseau hydrographique embryonnaire et dont le lit du cours principal a été creusé dans un vaste dépôt lacustre du Pliocène.

De l'amont vers l'aval, l'Oued Mekerra est traversé par les villes suivantes : Ras El Ma, Sidi Ali Ben Youb, Tabia, Boukhanifis, Sidi Khaled et Sidi Bel Abbas.

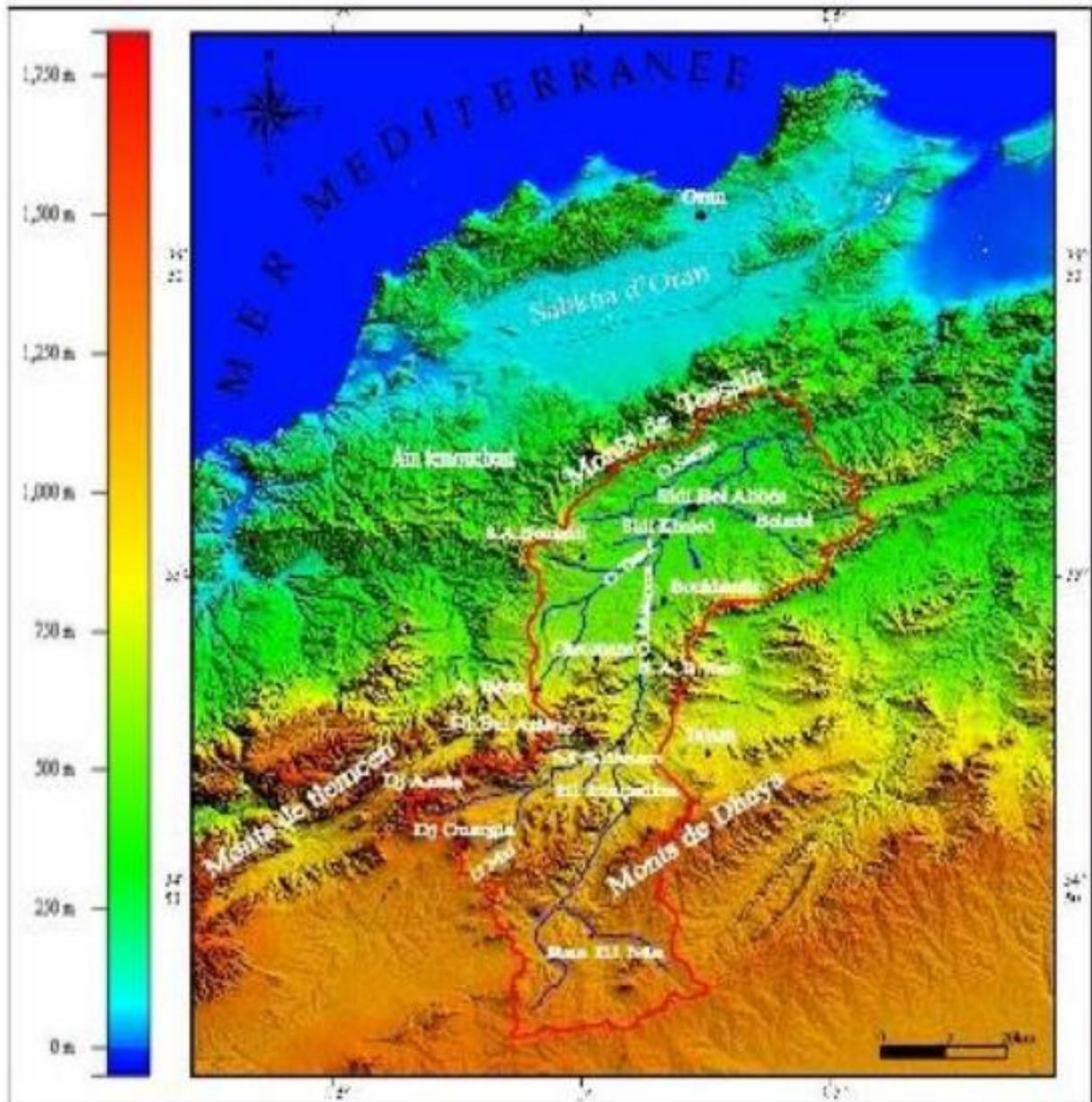


Figure 4: Localisation du bassin versant de la Mekerra

L'oued Mekerra prend son origine dans les hauteurs de Ras El Ma (les hautes vallées de la steppe) à une cote avoisinant 1450m d'altitude. Il est alimenté par plusieurs Oueds (Oued Mouzen (Tissaf) - Tedjmout - Farat Ezziet) aux pieds des monts des djebels Teniet El Baroud (1136 m), Djouazène (1356 m), Beghra (1414 m), Rokbet En Naama (1140 m) et débouche dans la partie nord de la ville de Sidi Bel Abbes où il rejoint Oued Sig pour se perdre dans les marécages de la Macta et enfin se jeter dans la mer.

Le bassin versant est limité :

- au Nord, par la chaîne montagneuse de Tessala (segment occidental de l'Atlas tellien) ;
- au Sud, par la ride anticlinale des hauts plateaux du Ras-El-Ma (Bedeau) au Sud de laquelle commence le bassin versant du chott Ech –Chergui,
- à l'Est, par le sous-bassin d'Oued El Hammam (Macta),
- à l'Ouest, par le bassin de la Tafna et le bassin du côtier oranais central.

II.3- Caractéristiques Hydrographiques du bassin versant de Mekerra :

Le réseau hydrographique : Ensemble des canaux de drainage naturels où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines soit sous forme de source, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau (Roche, 1963). Le réseau hydrographique peut se caractériser par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) et son profil en long.

Hiérarchisation du réseau :

La classification topologique du réseau hydrographique est effectuée sur les cartes topographiques 1/50000, basée sur une méthode proposée initialement par Horton en 1945 puis modifiée par Strahler en 1947. Elle est la plus utilisée aujourd'hui, son principe est comme suit :

- tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1.
- au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $n + 1$
- un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre.

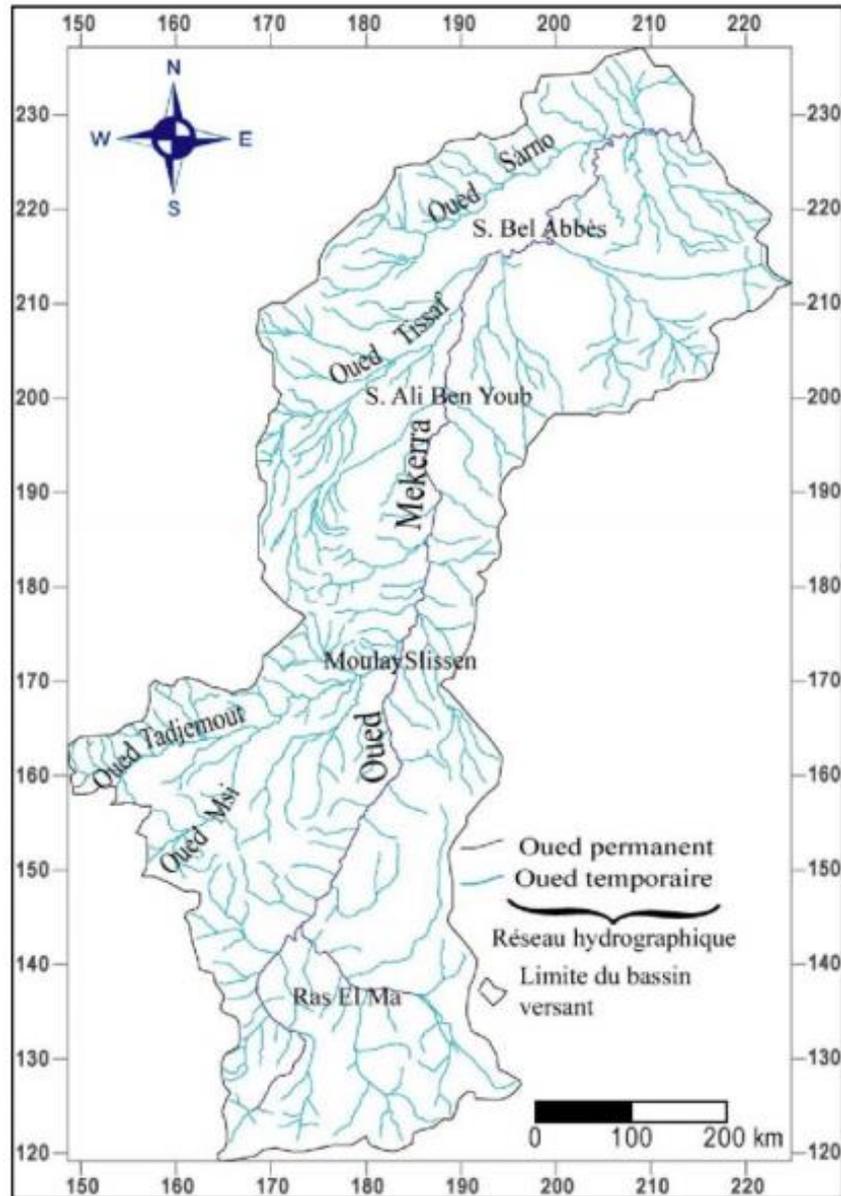


Figure 5: Réseau hydrographique du bassin versant de la Mekerra

La forme et la hiérarchie d'un réseau hydrographique sont impérativement gouvernées par différents facteurs qui sont :

- La géologie (plissement, nature du substratum, accidents ...),
- Climat (humidité, précipitations ...),
- Pente des terrains,
- Présence humaine.

Le chevelu hydrographique de l'oued Mekerra est peu développé, son tracé est influencé par le relief en place, Il suit la direction Sud-Ouest, Nord-Est des monts de Tessala. Le réseau

hydrographique de la Mekerra est composé par de nombreux affluents, représenté fréquemment par des cours d'eau temporaires, L'oued est alimenté par des précipitations et par des sources dont la plus importante est Ain – Skhouna Les principaux affluents de l'Oued Mekerra sont :

O. Touifza, O. Tadjmount, O. Faid Et Taga, O. Mzi, O. Sekhana, O. El Khetoua, O. Ras El Ouidiane, O. Farat ez ziet, O. Smar, O. Mouzen (Tissaf) et O. Mellah.

Tableau 1: Classification du réseau hydrographique

Ordre	1	2	3	4	5	6	Total
Nombre	280	59	20	6	2	1	358
Longueur (km)	2454	812	380	138	69	34	3887
Longueur moyenne (km)	8.76	13.76	19	23	34.5	34	133.07

III_CONTEXTE CLIMATIQUE :

La région de Sidi Bel Abbes, de part, sa position géographique, est soumise aux conditions climatiques continentales et aux faibles influences maritimes. Son climat se définit par une période chaude et sèche et une période fraîche ou prédominante, les caractéristiques du climat méditerranéen, surtout à travers son régime de pluie très contrasté. (Meterfi B., 2001 in Khedim D et Bouchikhi M., 2013).

L'étude climatique sera effectuée à partir des données météorologiques : température et précipitations moyennes mensuelles étalées sur une période de 27ans (1990-2016), enregistrées au niveau de la station météorologique de Sidi Bel Abbes (Tab1).

Tableau 2: Les caractéristiques de la station de Sidi Bel Abbes

Station	Code	X	Y	Altitude(Z)
Sidi bel abbes	110305	199.1	219.7	485m

III.1- Etude des précipitations

1.1. Variations moyennes mensuelles des précipitations

Les variations des précipitations moyennes mensuelles de la période (1990-2016), sont exposées au tableau suivant :

Tableau 3: Les variations des précipitations moyennes mensuelles

Mois	Jan	Fév	Ma	Av	Ma	Ju	Jui	Ao	Se	Oc	No	Dé	Total Annuel
P(mm)	37.9	36.9	34.	25.	18.	6.	1.2	3.5	18.	30.	43.	39.	298.45
	5	5	91	74	31	79	6	2	87	95	68	52	

Le tableau 3 et la figure 6, montrent que, le mois de novembre est le plus pluvieux, avec une précipitation de 43.5mm, tandis que, le mois de Juillet est le plus sec, avec seulement 1.2mm de précipitation.

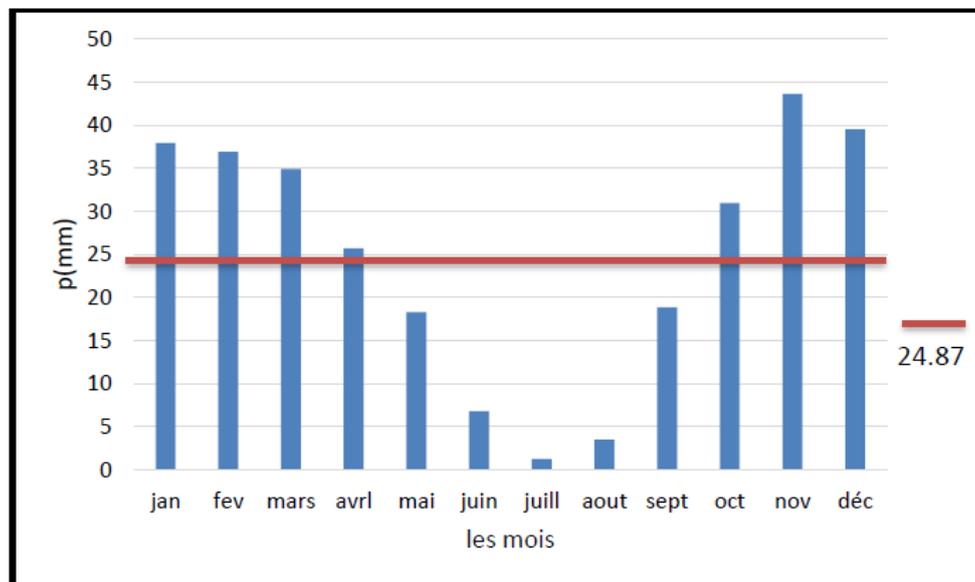


Figure 6: Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles.

1.2. Variations moyennes annuelles des précipitations

Les précipitations moyennes annuelles sur une période 27 ans (1990-2016) sont mentionnées au tableau suivant :

Tableau 4: Les précipitations moyennes annuelles

Période	Précipitations Annuelles (mm)	Période	Précipitations Annuelles (mm)
1990	364.9	2004	404
1991	229.1	2005	230
1992	187.8	2006	273
1993	230.9	2007	341
1994	261.8	2008	405
1995	433.3	2009	314
1996	158.9	2010	408
1997	328.8	2011	399
1998	285.3	2012	146
1999	234.4	2013	204
2000	342.6	2014	415
2001	284	2015	300
2002	229	2016	386
2003	329		

Les variations des précipitations moyennes annuelles, représentées sur le tableau 3, dévoilent que l'année 1995 est la plus arrosée avec une précipitation de 433.3mm et l'année 2012 est la plus sèche avec 146mm, la moyenne interannuelle est de 300.9mm.

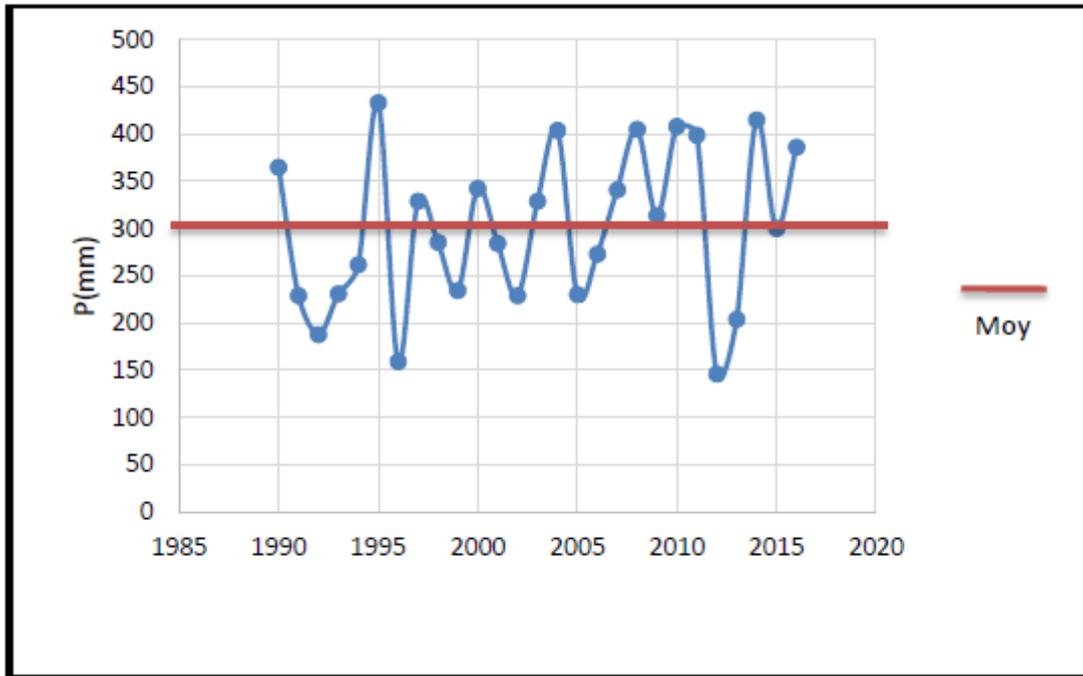


Figure 7: Variations des précipitations moyennes annuelles

IV_Pédologie et couvert végétal :

La couverture végétale a une incidence directe sur les processus de ruissellement et d'infiltration des eaux superficielles. En effet, la densité et le type du couvert végétal jouent un rôle important dans la modération des débits des fortes crues, surtout dans les régions caractérisées par des terrains à fortes pentes. La couverture végétale augmente la résistance des sols à l'érosion des vents et des eaux de ruissèlement. Elle affecte également les phénomènes d'évaporation et donc le climat. Le couvert végétal du bassin versant de la Mekerra connaît depuis des années une dégradation accélérée, favorisée notamment par une extension anarchique du bâti (surtout au niveau de Ras El Ma et Sidi Ali Benyoub), une surexploitation des pâturages (broutement de troupeaux anarchique), ainsi que la recrudescence des incendies, principalement en été. Le bassin versant de l'Oued Mekerra

exhibe une couverture végétale dominée par les espèces et cultures suivantes :

L'alpha (faiblement présente) et la broussaille au Sud,

Les céréalicultures occupant 35% de la superficie totale (Sidi Lahssen, Boukhanefis et Sidi Ali Benyoub),

Les culture-sentiers sur environ 14% de la totalité du bassin (zone d'El Haçaiba et environs de Sidi Ali Benyoub),

Une zone forestière à hauteur de 10% de la superficie totale du bassin et qui couvre sa partie moyenne (massifs montagneux entre El Haçaiba et Moulay Slissen jusqu'à Sidi Ali Benyoub, ainsi que dans les zones collinaires non cultivables en périphérie du bassin). D'après la direction de l'agriculture de Sidi Bel Abbès (2014), la surface agricole utile à l'intérieur des limites administratives de la Wilaya est occupée comme suit : culture herbacées 209 121 ha, vignobles 3 923 ha, packages et parcours 3 723 ha, arboricultures fruitières 14 690 ha, terres au repos 1345 459 ha. Terres improductives 19 636 ha.

Au fil des années, les terres de la plaine de Sidi Bel Abbès intensément travaillées se sont vues épuisé leur stock d'humus accumulé pendant des siècles. Les labours trop poussés sur les pentes accentuées, l'élevage de bétail anarchique et le déboisement continu ont favorisé l'érosion des coteaux et la dégradation de la couverture végétale. La présence d'une couche calcaire filtrante à faible profondeur combinée au climat semi-aride fait de la région un des points les plus arides de l'Oranie. Nonobstant cela, le développement de l'agriculture qui se fait dans la plupart des cas de façon aléatoire est assez appréciable, bénéficiant de l'emploi d'engrais et d'une irrigation intensive par puits ce qui a fait de la plaine de Bel Abbès l'une des régions les mieux cultivées du pays.

La plaine de Sidi Bel Abbès renferme de nombreux centres agricoles dont les plus importants sont : Sidi bel Abbès, Sidi Brahim, Sidi Lhassen, Sidi Khaled, Boukhanefis, Tabia, Aïn el Hadjar, Lamtar, et Aïn Tellout.

Tableau 5: Occupation des sols de bassin de la Mekerra (Bneder, 1979 et Hallouch, 2007)

Occupations	Superficies (Ha)	Superficies (%)
Sols nus	7880	1.14
Alpha+Culture	69461	9.24
Alpha+Parcours	67112	8.93
Alpha	42960	5.72
Culture + Erosion	35087	4.69
Culture + Parcours	107060	14.25
Culture	256956	34.2
Foret Claire	34415	4.58
Foret Dense	17219	2.29
Maquis Clair + Erosion	3856	0.51
Maquis Clair + Culture	1004	0.14
Maquis Clair	34988	4.65
Maquis Dense	4037	0.54
Parcours + Erosion	42565	5.66
Parcours	13853	0.84
Reboisement	6729	0.89
Agglomération	6021	0.8
Somme	751203	100%

[Tapez ici]

Chapitre II :

Cadre hydrogéologique

I_CONTEXTE GEOLOGIQUE :

La plaine de Sidi Bel Abbés est une cuvette dont les reliefs de bordure sont géologiquement très diversifiés. Cette plaine, est un fossé d'effondrement qui a été comblé progressivement par des alluvions d'Oued et qui se sont sédimentées, formées de terrains quaternaires et plioquaternaires, elle est limitée au Nord et à l'Est par des terrains post-crétacés, au Sud par des terrains jurassiques et crétacés (Fig.8).

1- Description géologique du secteur d'étude : D'après l'étude géologique de Sourriseau B, en 1973 ; Le bassin versant de la plaine d'étude, est limité par quatre bordures, bordure Nord, Sud, Est, et bordure Ouest.

1.1. Bordure Nord : Les Monts de Tessala constituent la bordure septentrionale de la plaine. C'est une chaîne de reliefs, allongés en direction Sud Ouest-Nord Est, très plissés à ossature crétacé et à recouvrement tertiaire très épais, qui aurait été transporté par charriage en deux principaux ensembles qui sont :

1.1.1. Crétacé supérieur: Constitué par des formations argilo - marneuses, à semelle de trias salifère et gypseux recouvrant en contact anormal les terrains du Miocène.

1.1.2. Mio-Pliocène: Le Miocène est constitué par des argiles bleues et des calcaires organogènes. Les formations de cet étage reposent directement en contact anormal sur le Crétacé supérieur. Vers l'Est le domaine des nappes disparaît et laisse la place à une série continentale du Pliocène

1.2. Bordure Sud : Cette bordure est composée par les Monts de Tlemcen et Saida, qui sont formés en totalité par les terrains secondaires du Jurassique moyen et supérieur et du Crétacé inférieur. Ces reliefs sont compris entre deux môtles granitiques de Ghar Roubane à l'Ouest et Tiffrit à l'Est, dont les déformations se transmettent difficilement aux matériaux du Mésozoïque à prédominance calcaire-gréseux. Il est à noter que les reliefs sont affectés par une tectonique cassante.

1.3. Bordure Ouest : Elle est la limite topographique entre les deux bassins de l'Isser à l'Ouest et de la Mekerra à l'Est. Elle a l'aspect d'une colline encroûtée formée de matériaux Plio-Quaternaire subhorizontaux.

1.4. Bordure Est : La bordure Est correspond à la topographie élevée des terrains

PlioQuaternaire et Miocène. La bordure Sud-Est de la plaine est caractérisée par une puissante formation continentale Pliocène où apparaît vers le Sud, le Miocène. Au Sud du Village Caïd Belarbi, le crétacé inférieur (Calcaire de l'Aptien) affleure à la faveur d'un horst.

1.5. Le centre de la plaine : Le centre de la plaine présente une vaste cuvette à substratum argilo- marneux, imperméable, du Miocène ou du Pliocène inférieur, et comblée de sédiments détritiques provenant de la désagrégation des reliefs environnants. (Sourisseau B. 1973 in Maroc H & Ben Achour Y., 2013)

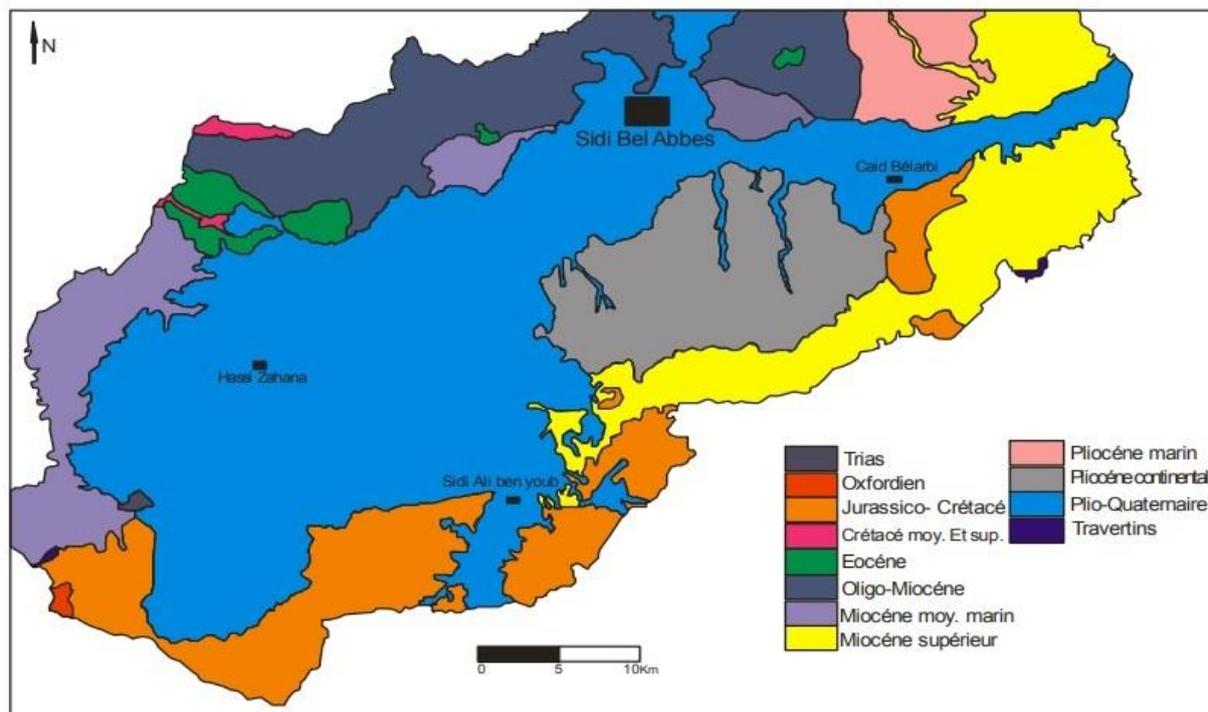


Figure 8: Carte des formations géologiques de la plaine de Sidi bel abbes

II_CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE :

La plaine de Sidi Bel Abbès n'est pas très connue du point de vue hydrogéologique. En effet, elle n'a fait l'objet que d'une seule étude relativement complète au début des années 70s (Sourisseau) conclue par le tracé d'une carte hydrogéologique de la région d'étude (figure 9).

Pour ce qui est des travaux actuels menés par l'ANRH, ils ne s'intéressent qu'aux suivis (non continus) piézométriques et aux analyses hydro-chimiques des eaux de la nappe du Plioquaternaire.

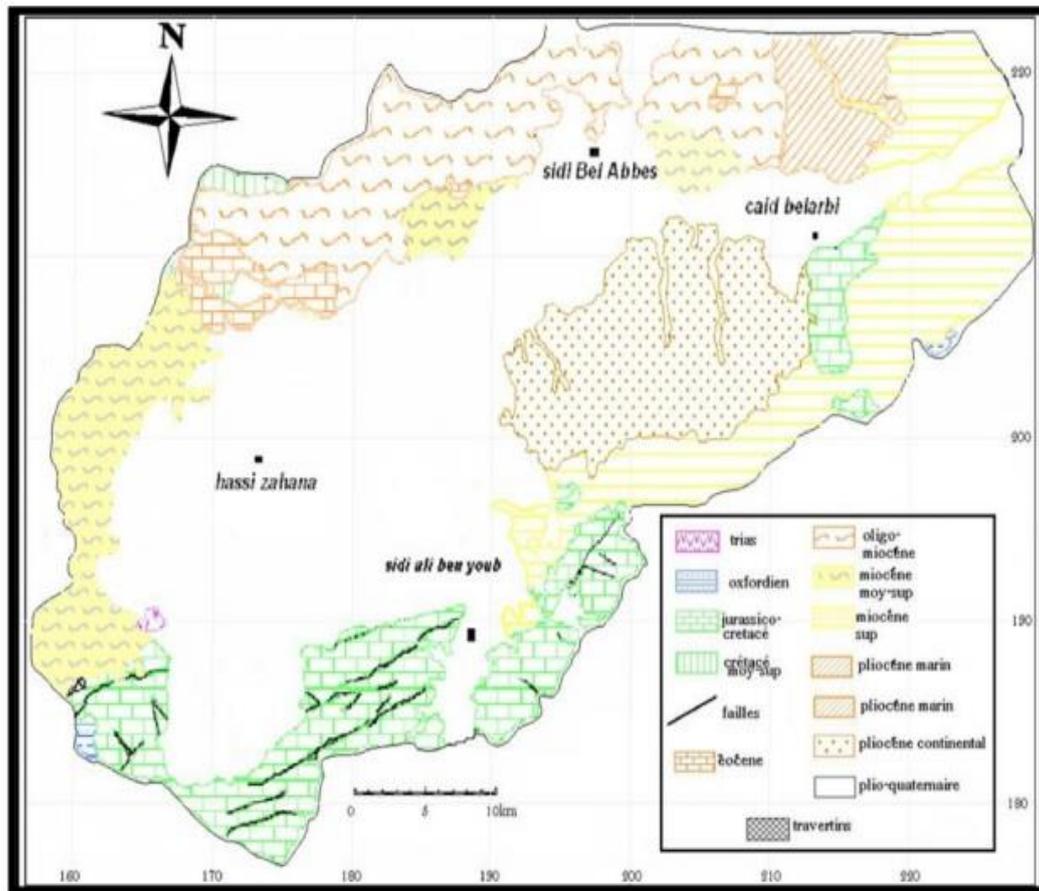


Figure 9 Carte géologique des aquifères du complexe hydrogéologique de la plaine de Sidi bel abbés. (Bensejad A., 2011)

Le potentiel aquifère de la plaine de Sidi Bel Abbès résumé sur la figure 10 est détaillé ci-dessous. On distingue de bas en haut :

1- Les calcaires et dolomies du Jurassique-Crétacé de Sidi Ali Benyoub : Cette nappe est hydrogéologiquement mal connue. Toutefois, on suppose que les formations jurassico-crétacées (les calcaires de Remaila et les dolomies de Tlemcen à intercalations marneuses reposant respectivement sur les terrains éocènes et les argiles triasiques) forment un seul horizon aquifère, vu les nombreuses failles susceptibles de les mettre en interconnexion. Cette nappe est essentiellement présente dans le Sud du bassin et sa recharge se fait essentiellement par son impluvium. Elle communique avec la nappe alluviale soit par infiltration latérale directe dans les alluvions et les conglomérats, soit par l'intermédiaire des sources de : Aïn Skhrouna, Aïn Tellout, Aïn Mekarreg, Aïn Tass et Aïn Tattfamane.

2- Les calcaires de l'Aptien de Zigyne : Cette nappe est peu étendue. Formée essentiellement par des calcaires de l'Aptien, elle n'est connue qu'à l'Est de la plaine, au niveau de la forêt de Caïd Belarbi.

3- Les calcaires de l'Eocène de Sidi Ali Boussidi : Cet aquifère est limité vers le bas par un mur formé de marnes du Crétacé moyen supérieur et du Miocène moyen marin. Nonobstant leurs bonnes propriétés hydrodynamiques, les calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi n'ont qu'une importance moindre, en raison de la petitesse de leur impluvium (Auclair et Bieler, 1967). L'alimentation de cette nappe se fait principalement par son impluvium. Cette nappe était entièrement drainée par les sources de : Aïn El Hadjar, Aïn Anefress et Aïn Meddah dans les années 70s. Ces eaux venaient ensuite, soit se déverser dans les alluvions plio-quadernaires, soit s'écoulaient sur le Miocène marneux pour se ré-infiltrer dans les alluvions de l'Oued Anefress en amont.

4- Les grès du Pliocène de la forêt de Ténira : Cette nappe ne présente pas une grande importance du point de vue hydrogéologique (discontinuité de ses couches aquifères). Toutefois, elle contribue à la recharge de la nappe alluviale par l'intermédiaire de petites vallées étroites qui jouent le rôle de drain. Cet aquifère est constitué de formations conglomératiques pliocènes continentales à la base, surmontées par des grès sableux, parfois argileux ou à limons rouges et repose sur un substratum de marnes grises du Miocène supérieur continental.

5- Les alluvions du Plio-quadernaire

La nappe alluviale du Plio-quadernaire de la plaine de Sidi Bel Abbès est, et de loin le réservoir souterrain le plus important de la région d'étude. son intérêt réside également dans le fait qu'elle soit en communication avec les autres horizons aquifères présents dans le secteur d'étude.

L'aquifère du Plio-quadernaire repose sur des marnes bleues, des grès et des molasses du Pliocène marin. Il est formé de dépôts alluvionnaires et de conglomérats (en bordure des Oueds) et porte une nappe libre, sauf entre Sidi Ali Benyoub et Boukhnefis, où elle apparaît semi captive. L'alimentation de cette nappe se fait par : les précipitations, les aquifères adjacents (infiltration latérale directe ou des eaux des sources), les Oueds, principalement en période de crue, sauf pour l'Oued Tissaf (perte constante de débit près de Sidi Khaled). L'exutoire principal de l'aquifère plio-quadernaire se trouve au niveau du quartier le « Rocher », au Nord de la ville de Sidi Bel Abbès, où l'Oued Mekerra draine la plus grande partie des eaux de l'aquifère.

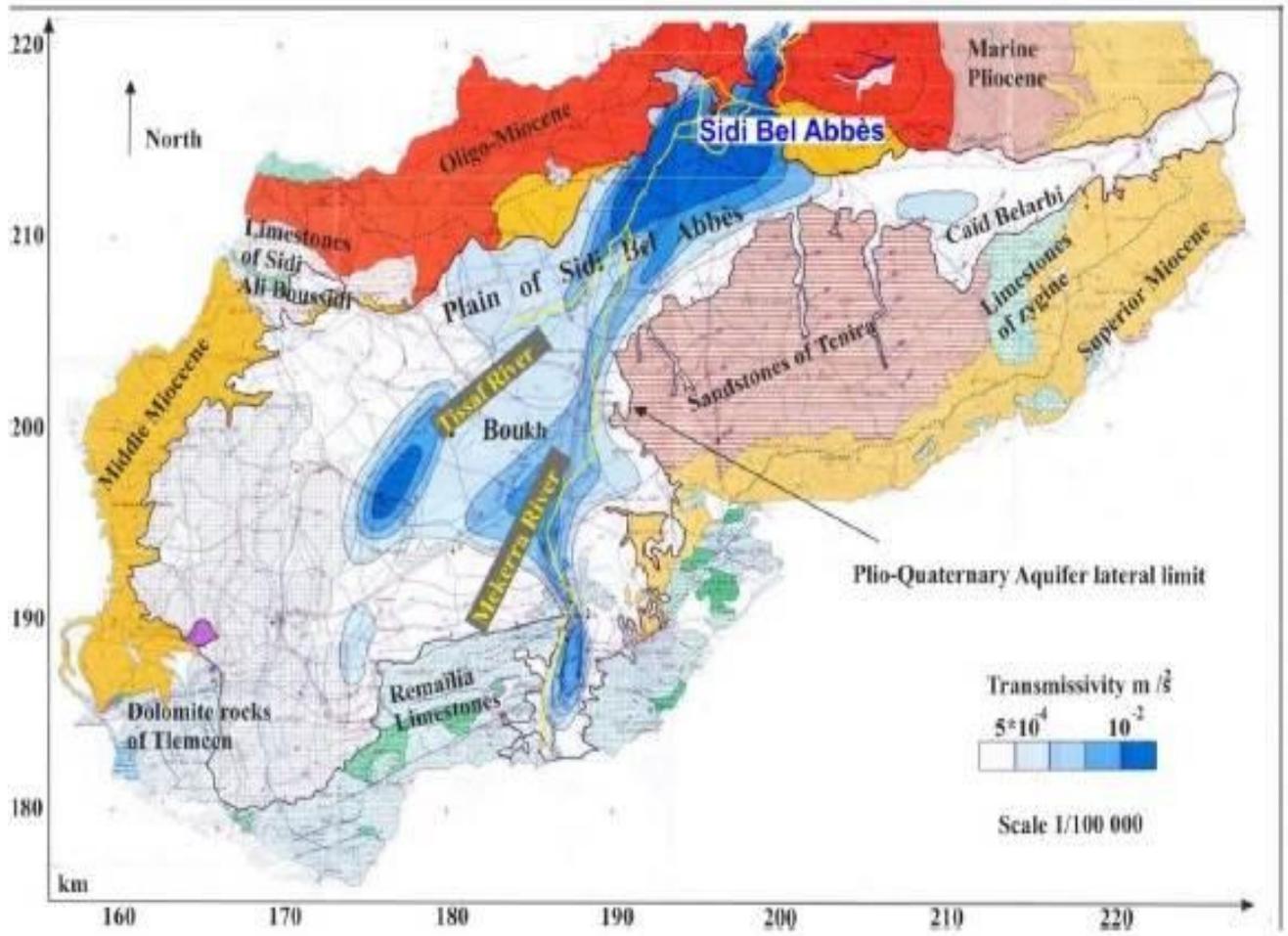


Figure 10: Carte hydrogéologique de la plaine de Sidi bel abbes

CHAPITRE II : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

	Âge	Géologie	Hydrogéologie	Epaisseur
Cénozoïque	Plio-quaternaire	Dépôts caillouteux limoneux, argileux et sableux avec des intercalations de lentilles de sables ou de conglomérats, coupés par un grand chenal d'alluvions grossiers et de conglomérats (parfois hétérométriques) le long de la Mekerra drainant les eaux des calcaires/dolomies jurassico-crrétacées au environs de Sidi Ali Benyoub	Aquifère plio-quaternaires (APQ)	Moins de 40 m aux limites de la plaine de SBA à plus de 150 m à son Sud
	Pliocène	Conglomérats surmontés par des sables ou grès en alternance avec des limons rouges et de petite lentilles de conglomérats reposant sur des marnes bleues et grès marins	Aquifère de Tenira	Pliocène continental à épaisseur considérable (non connue)
	Miocène	Argiles marneuses grises-bleues + grès (sommets), avec q'qs bancs de grès	Formation imperméable: mur de l'APQ et toit des calcaires éocènes	300 à 500m
	Oligo-miocène	Marnes grises avec des bancs (parfois métriques) de grès et de conglomérats		Non connue
	Eocène	Calcaires massifs, karstifiés et fossilifères	Aquifère de Sidi Ali boussidi	Non connue
Mésozoïque	Crétacé moyen et supérieur	Marne salifère avec intercalations de calcaires	Formation peu perméable au Nord-ouest de la plaine	Non connue
	Aptien	Calcaires microcristallins	Aquifère de Zygone	150m
	Barremien	Formation gréseuse rousse parfois argileuse	Formation perméable à faible extension affleurant au Sud de la forêt de Belarbi	700m
	Crétacé inférieur / Jurassique supérieur	Alternance de calcaires et de marnes puis calcaires partiellement dolomitisés reposant sur une assise dolomitiques à intercalations de calcaires	Aquifère des calcaires de Remaïlia et des dolomies de Tlemcen	500 à 700m
	Oxfordien	formation gréseuse à passées d'argiles	Formation presque inexistante sur la plaine	Non connue
	Trias	Marnes salifères mouchetées contenant de roches volcaniques	Substrat imperméable des calcaires de Remaïlia/dolomies de Tlemcen. Affleure dans les Tessala et à Aïn Tellout	Non connue

Figure 11: Colonne hydrogéologique type de la plaine de Bel Abbès

III. État des lieux de la nappe de la mekerra

III.1- Cartes piézométriques :

Nous avons réalisé plusieurs cartes piézométriques synthétiques de la nappe phréatique en se basant sur les données piézométriques fournies par l'ANRH d'Oran (1971), SOURISSEAU - (1973), LEBID (1989 et 1996) et de Décembre 2014 (carte réalisée par nos soins avec des données de l'ANRH) sont présentées dans ce Chapitre. Toutefois, il est important de signaler qu'en raison du manque de points de mesure utilisés pour dresser la carte de Décembre 2014 (10 pour une superficie de 800 km²), cette dernière ne doit être considérée que comme une appréciation personnelle approximative, plutôt qu'une représentation exacte de la piézométrie de la nappe plio-quaternaire.

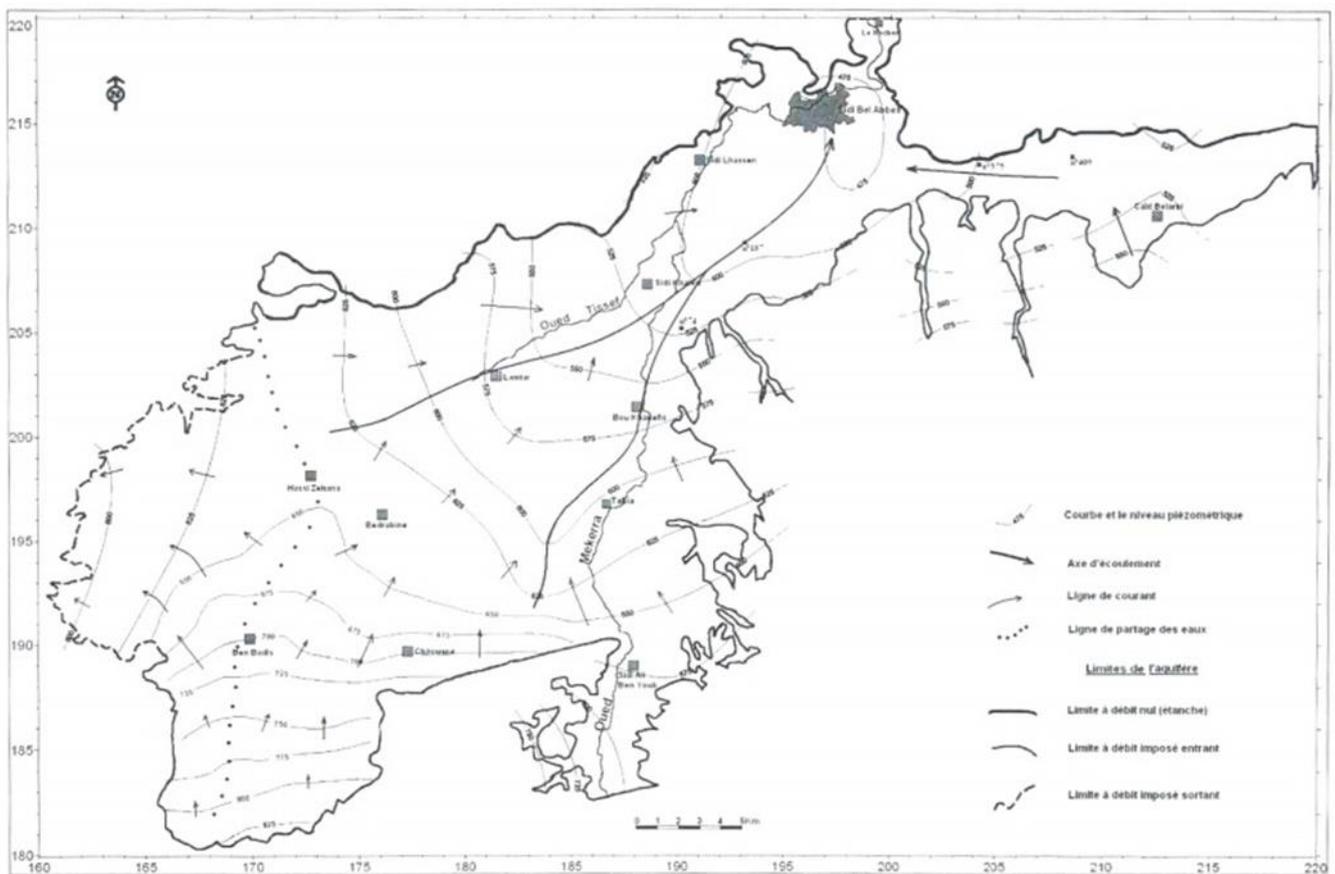


Figure 12: Carte piézométrique de la nappe libre plio-quaternaire de Sidi 13e1 Abbés (1971)

III.1.1-Carte piézométrique (octobre/novembre 1971) (données ANRH) : Nous avons tracé à l'échelle du 1f 100.000mc, par krigeage, une carte iso piézométrique de la nappe (figure 12).

1.1.1-Schéma général : La nappe est convergente vers un seul exutoire dans la Mekerra au lieu-dit Le Rocher. Sa profondeur moyenne par rapport au sol est de l'ordre de 15 à 20 mètres avec toutefois des zones - moins profondes (moins de 10 m) le long des oueds Lamtar et Tissaf, au sud-ouest de Sidi Bel Abbés, Belarbi, Sidi Lhassen et Tabia, et des zones plus profondes (environ 30 m) sous les reliefs de la plaine (A. BEKRDADI).

- Les courbes piézométriques permettent de fixer une ligne de partage des eaux d'une direction nord-sud, située à l'ouest de la plaine et passant à quelques mètres de Ben Badis et Hassi Zahana.

- La carte montre trois directions d'écoulement :

- Une direction générale sud-ouest nord-est dans la majeure partie de la plaine ;
- Une direction est-ouest dans la vallée de Caïd Belarbi- Mostapha Ben Brahim ;
- Une direction est-ouest d'Aïn Tallout, Ben Badis et Hassi Zahana vers la limite ouest.

1.1.2-Zones d'alimentation : La hauteur piézométrique est maintenue élevée dans le sens de l'écoulement. Ces zones correspondent aux secteurs suivants :

- Ecoulement divergent de deux nappes provenant des calcaires de l'Eocène aux environs de Sidi Ali Boussidi et drainées par l'oued Annefress.
- Nappe divergente provenant des calcaires sub-affleurants des Monts de Tlemcen dans la région de Chitouane.
- Dans les environs de Sidi Ali Ben Youb, une alimentation par les aquifères adjacents ; soit par infiltration latérale directe dans les alluvions des eaux provenant des calcaires ; soit par l'intermédiaire de sources (Aïn Skrouna et Mekareeg) dont les eaux s'infiltrent - ensuite dans les alluvions. Cette alimentation est masquée par le drainage de l'oued Mekerra.
- Dans la forêt de Tenira, l'avancée des courbes isopiézométriques est due à la présence de petites nappes perchées.

- Deux petites nappes divergentes d'importance réduite proviennent des calcaires de l'Aptien à Belarbi et des environs de Gouecem (B. SOURISSEAU, 1973).

1.1.3-Zones de drainage : La hauteur piézométrique est baissée ce qui donne à la nappe une surface concave. Le phénomène de drainage le plus remarquable est observé au Rocher par rétrécissement de la section perméable du réservoir. Les oueds déforment la surface piézométrique de la nappe par drainage (figure 12).

1.1.4-Gradients : Les forts gradients hydrauliques intéressent les zones de bordures où la nappe est rapidement drainée (Sidi Ali Boussidi, Ben Badis, Chitouane, forêt Messer). Les gradients moyens intéressent les zones intermédiaires entre les interfluves et les zones d'accumulation ou d'alimentation (Le Rocher, Tinguemar, Sidi Yacoub, Bedrabine, Tabia). Les faibles gradients sont dus soit à l'accumulation des eaux souterraines, soit à un mauvais drainage (Vallée de Belarbi). La plus caractéristique est la zone située entre Sidi Bel Abbés et Sidi Khaled dont la faiblesse des gradients est due à la fois aux fortes perméabilités, à la - convergente des écoulements et au drainage de l'oued Mekerra qui sur-impose son propre gradient à celui de la nappe (les environs de Sidi Bel Abbés, entre Sidi Ali Boussidi et Lamtar, entre Bou Khanefis et Tabia et la vallée de la Mekerra de Sidi Ali Ben Youb à Tabia).

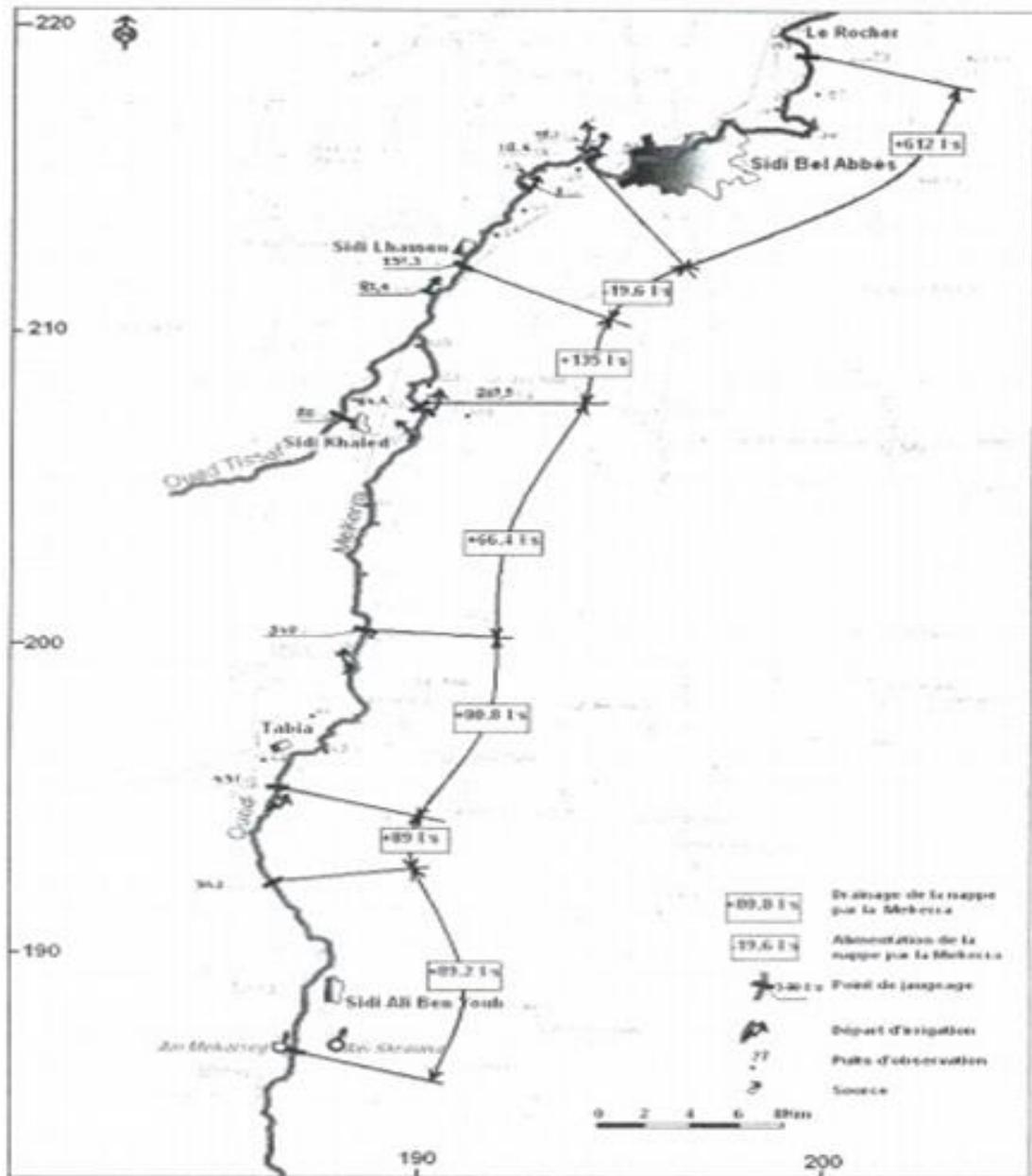


Figure 13: Alimentation et drainage de la nappe par l'oued Mekerra. (B. SOURISSEAU, 1973)

III.1.2- Cartes piézométrique (mai 1989, nov. 1996, déc. 2014) :

Les cartes obtenues des hautes eaux (mai 1989) et des basses eaux (nov. 1996) (figure 13 et 14) montrent un écoulement de la nappe du sud vers le nord et du sud-ouest-nord est, un rassemblement des eaux s'effectue des bordures vers l'aval de la plaine. En période des basses eaux des dépressions locales apparaissent sur toute l'étendue de la nappe plio-quadernaire. - L'alimentation par les calcaires du sud ainsi que par les grés du Pliocène continental situé à l'ouest ressort nettement sur les cartes piézométriques correspondant aux deux périodes (H. LEBID, 2001).

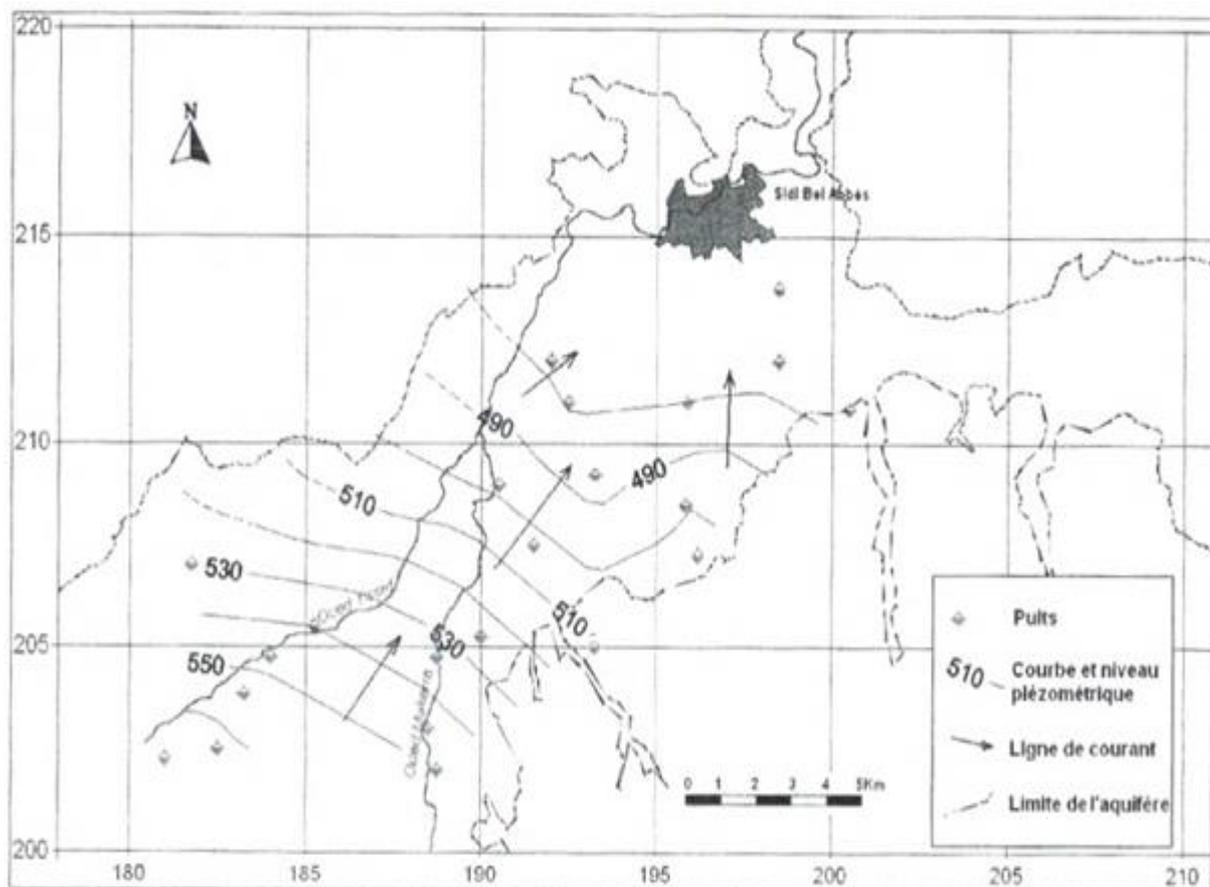


Figure 14: Carte piézométrique de la nappe de la plaine de Sidi Bel Abbés (mai 1989).

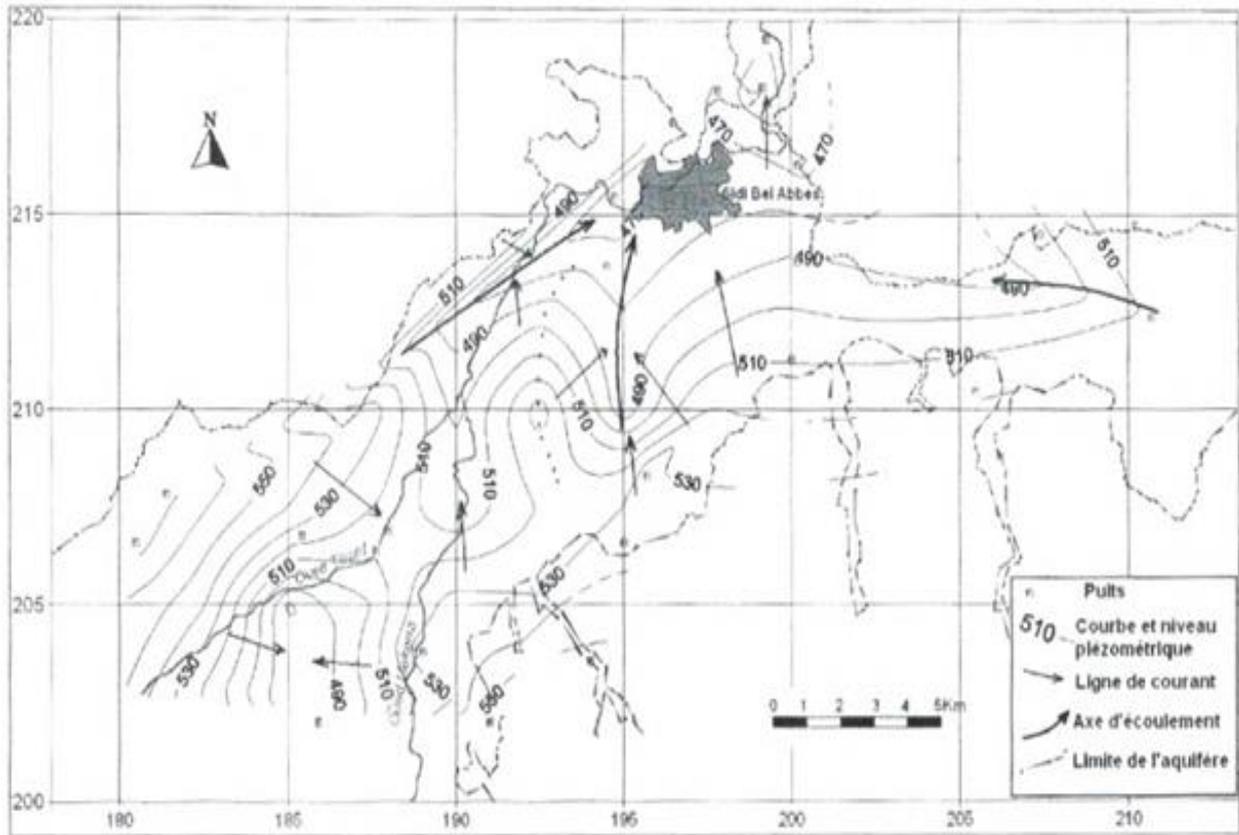


Figure 15: Carte piézométrique de la nappe de la plaine de Sidi Bel Abbés (novembre 1996).

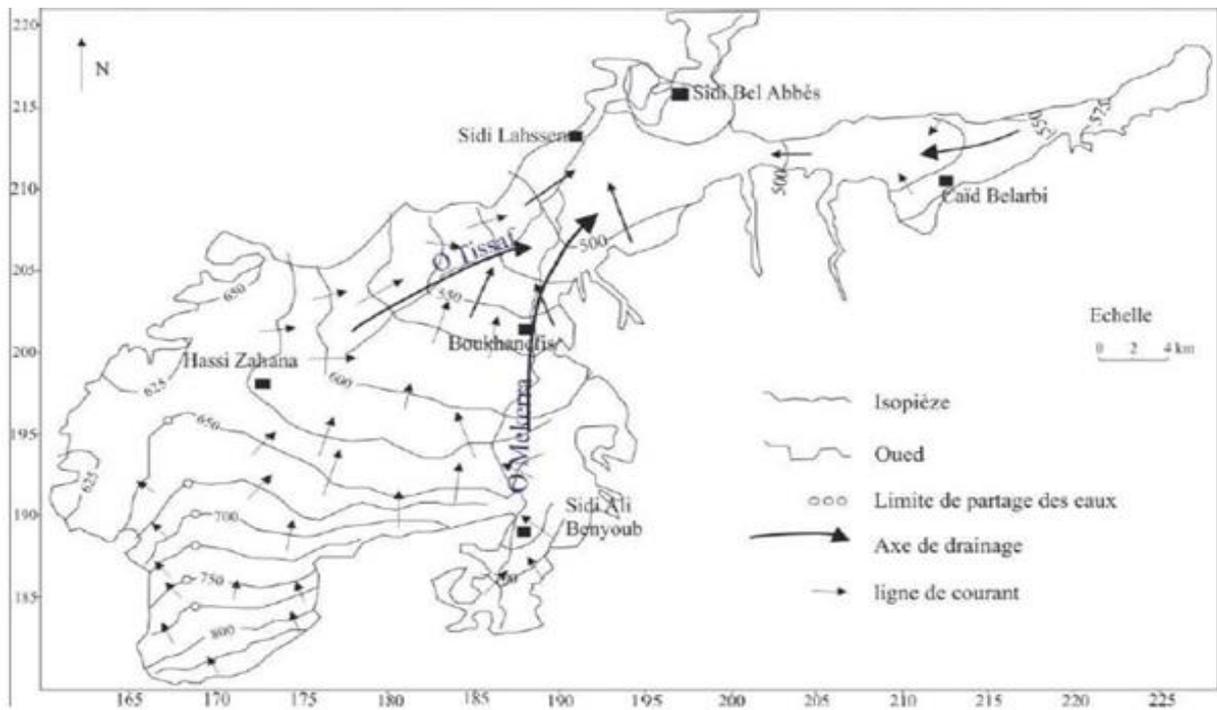


Figure 16: Carte piézométrique de la nappe plio-quaternaire (Décembre 2014)

Les cartes (figure 12, 14,15 et 16) épousent la même allure générale. Néanmoins, un net recoulement des iso pièzes est observé, notamment aux environs de Caïd Belarbi. Cette baisse du niveau de la nappe est due à une diminution des apports pluviométriques et une exploitation plus importante de la nappe entre 1971 et 2014.

III.2-Propriétés hydrauliques :

2.1-Fluctuations de la nappe : Les fluctuations du niveau statique de deux puits situés au centre de la plaine (n°74 et n°187) et deux autres au niveau de la vallée de Belarbi (n°375 et n°409) représentées sur la figure 17, indiquent que le niveau piézométrique a sensiblement baissé à partir de 1975, qui est expliqué par le déficit pluviométrique important et l'exploitation excessive de l'aquifère. Il y a lieu de noter aussi que cette variation est plus sensible au centre de la plaine, près de l'axe de drainage. Des niveaux de 20 puits témoins ont fait l'objet d'un suivi pendant deux ans (d'avril 70 à mars 72) montrent que les fluctuations annuelles dépassent rarement 3 mètres d'amplitude et la nappe se recharge rapidement à chaque période de crue proportionnellement à la pluviosité. (B. SOURISSEAU, 1973).

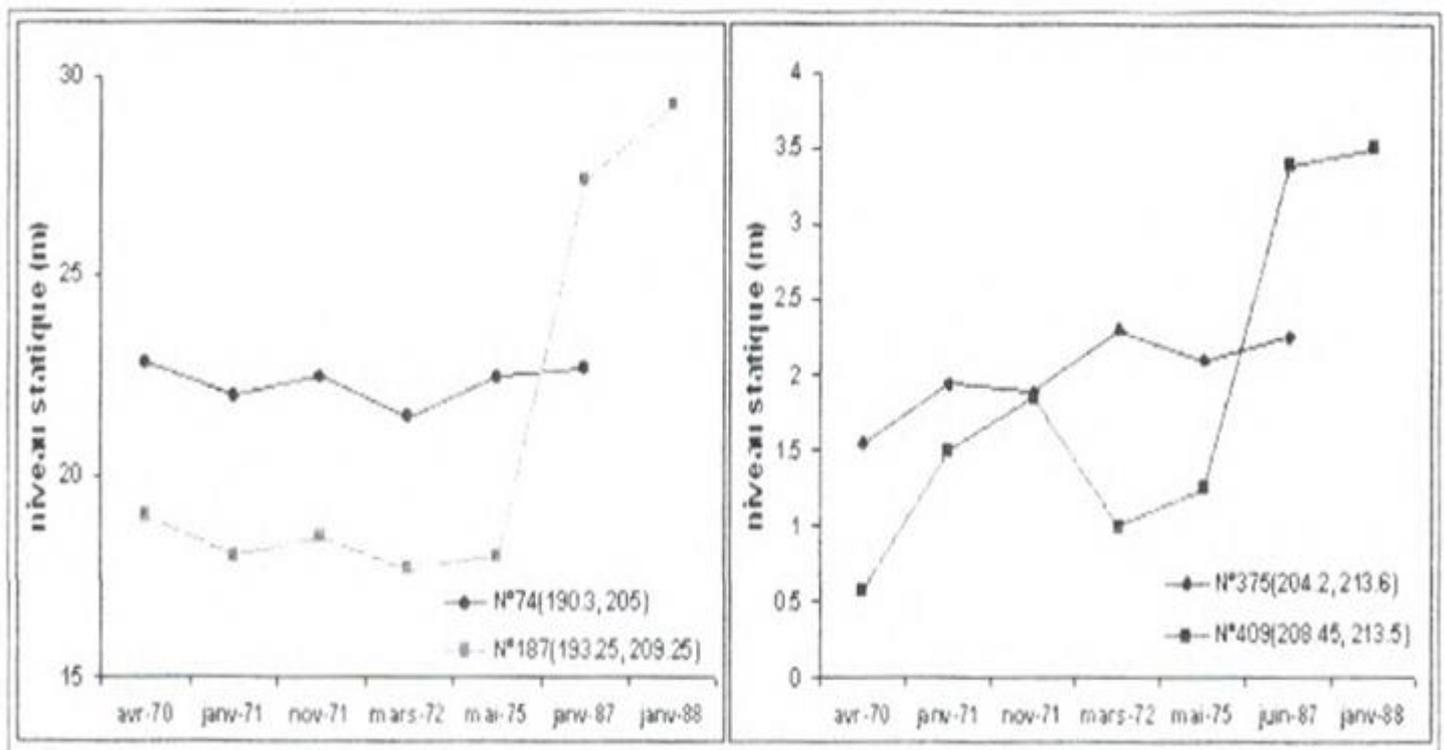


Figure 17: Fluctuation de niveau statique dans quelques puits de la nappe de la plaine

III.3- Caractéristiques hydrodynamiques :

Les mesures des paramètres hydrodynamiques ont été effectuées sur les forages équipés de piézomètres et les puits existants, trop souvent imparfaits. Les valeurs ont été calculées par B. SOURIS SEAU.

3.1-Le coefficient d'emmagasinement : Les fortes valeurs des coefficients d'emmagasinement correspondent aux zones de bonne transmissivité. Les zones à emmagasinement important ($S = 20\%$) sont: vallée de Bedrabine; oued Lamtar; vallée de Tabia; vallée de Sidi Ali Ben Youb. D'autres zones présentent des valeurs d'emmagasinement de l'ordre de 10% : vallée de Tاتفامane; le long de l'oued Mekerra; vallée d'oued Annefress; une partie de la vallée de Caïd Belarbi. Partout ailleurs les valeurs de S sont inférieures (2 à 3%).

3.2-La transmissivité : Les valeurs de bonnes transmissivité dépendent de la nature géologique des terrains:

- Alluvions grossières de galets et chenal conglomératique : 5.10^{-2} à $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$.
- Conglomérats pliocènes : 10^{-4} à $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.
- Alluvions argilo-sableuses : 2 à $3.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.
- Grés et sables argileux : $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.
- Calcaires éocènes : $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

La carte des transmissivités (figure 18) met en évidence deux chenaux aquifères souterrains :

- Un large chenal traversant toute la plaine le long de l'oued Mekerra, presque interrompu près de Bou Khanefis.
- Un chenal nord-est sud-ouest suivant le cours des oueds Bedrabine et Tissaf et rejoignant le premier chenal près de Sidi Khaled.

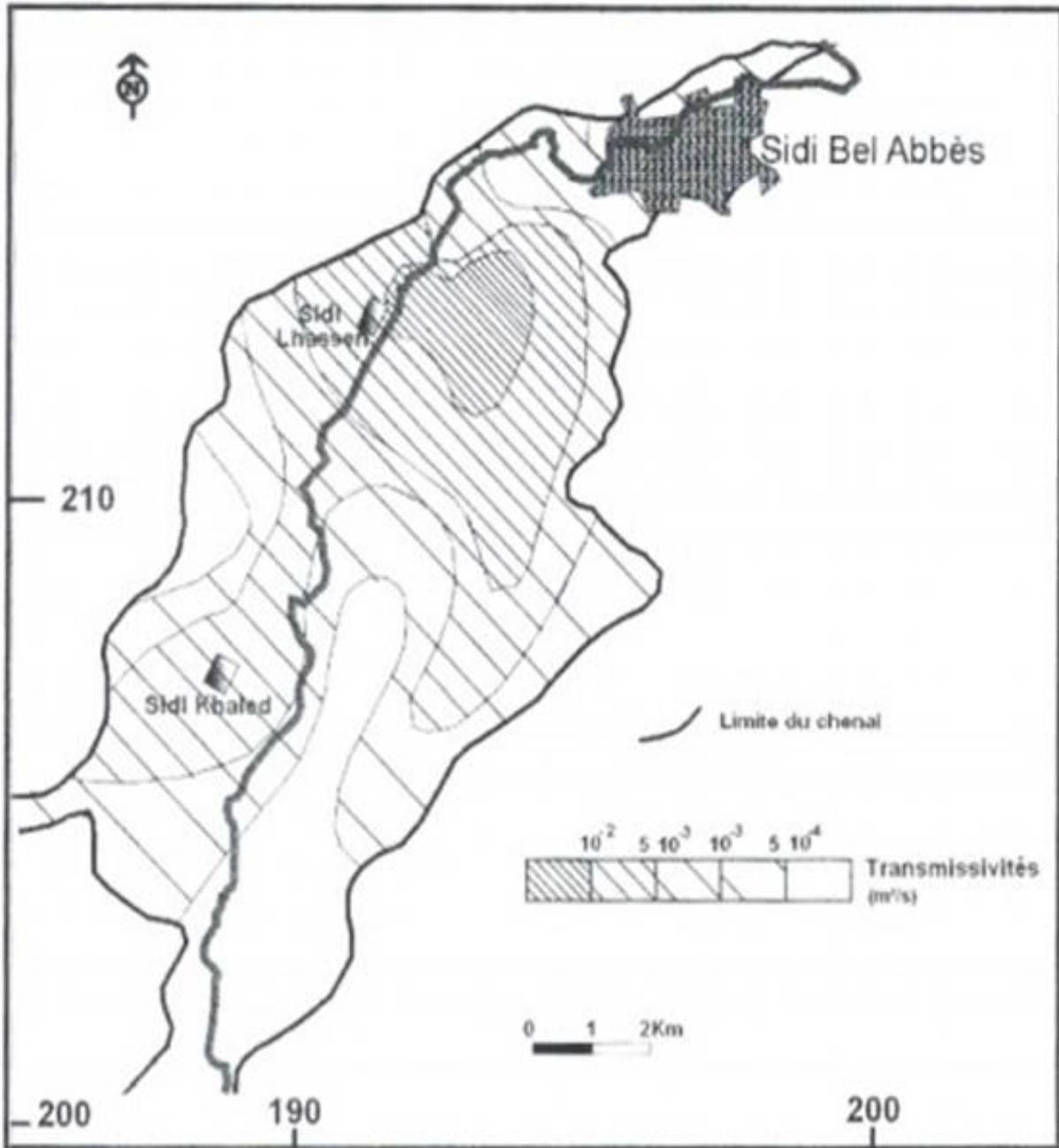


Figure 18: Carte des transmissivités du chenal conglomératif. (B. SOURISSEAU, 1973) (digitalisée par CorelDraw 12.0 Graphie)

III.4-Conditions aux limites :

Sur la base des travaux réalisés de thèse d'obtention du doctorat «Caractérisation des principaux paramètres affectant les eaux souterraines de la plaine de Sidi Bel Abbés à l'aide du programme Visual Modflow (applications et perspectives) » par Bellaredj Abderrahim El Mehdi 2019, on a pu faire une synthèse sur les entrées et les sorties de la nappe étudiée.

III.4.1- Les prélèvements : Tous les prélèvements (AEP (16), agricoles (300) et industriels (5)) introduits dans le modèle sont présentés sur la figure 100, d'où il apparaît clairement que la majorité des points d'eau se concentre en amont de Sidi Bel Abbés au Nord et aux environs de Caïd Belarbi à l'Est.

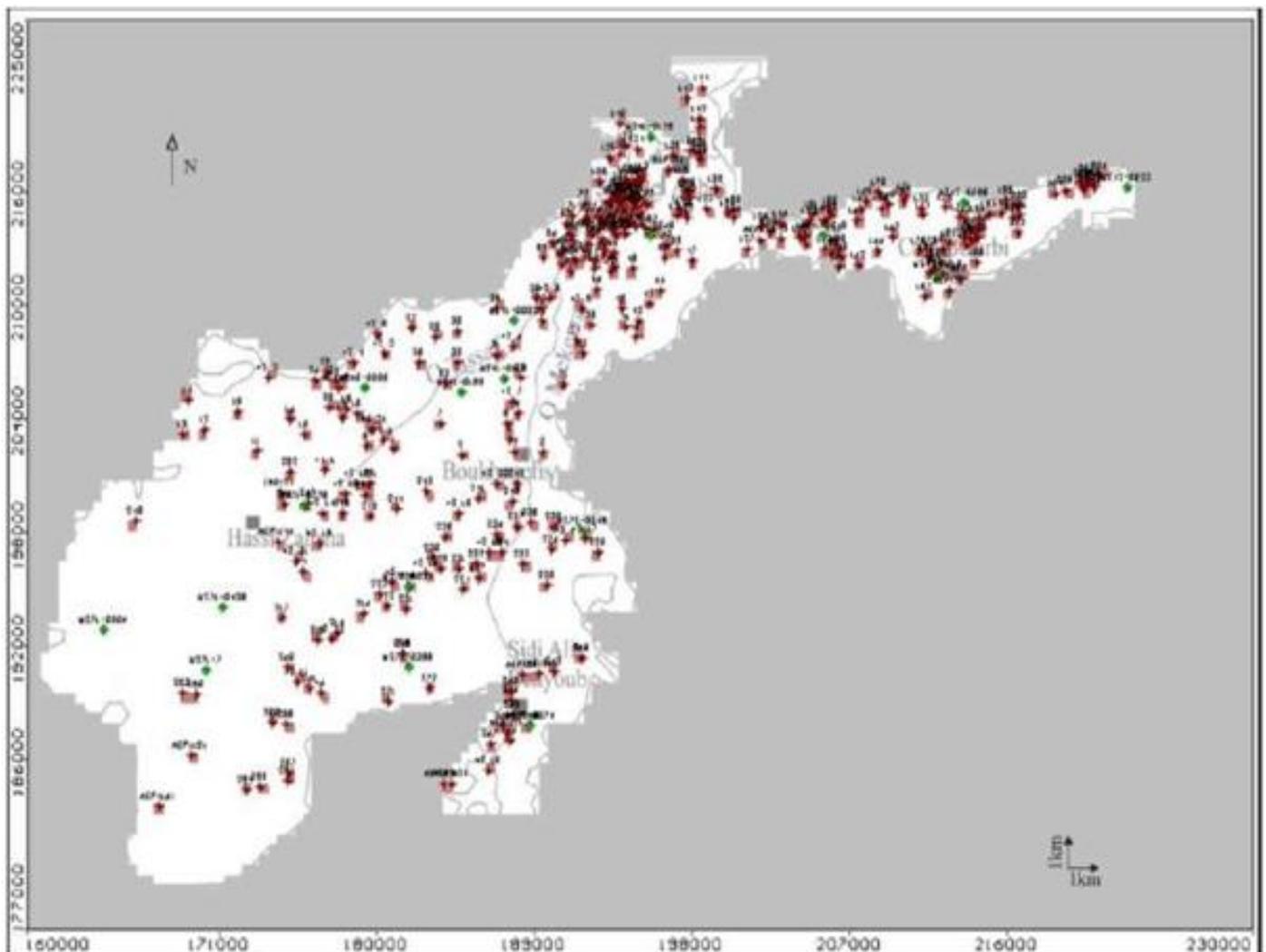


Figure 19: Discretisation des prélèvements (AEP, agricoles et industriels) introduits dans le modèle.

4.1. a- Prélèvements AEP :

En raison du manque de données relatives aux prélèvements AEP sur toute la période de simulation (1971-2014), l'évolution des besoins en eau potable a été supposée linéaire, sauf pour les années où la donnée est disponible (années repaires). Les résultats retenus pour le modèle sont représentés sur la figure 20.

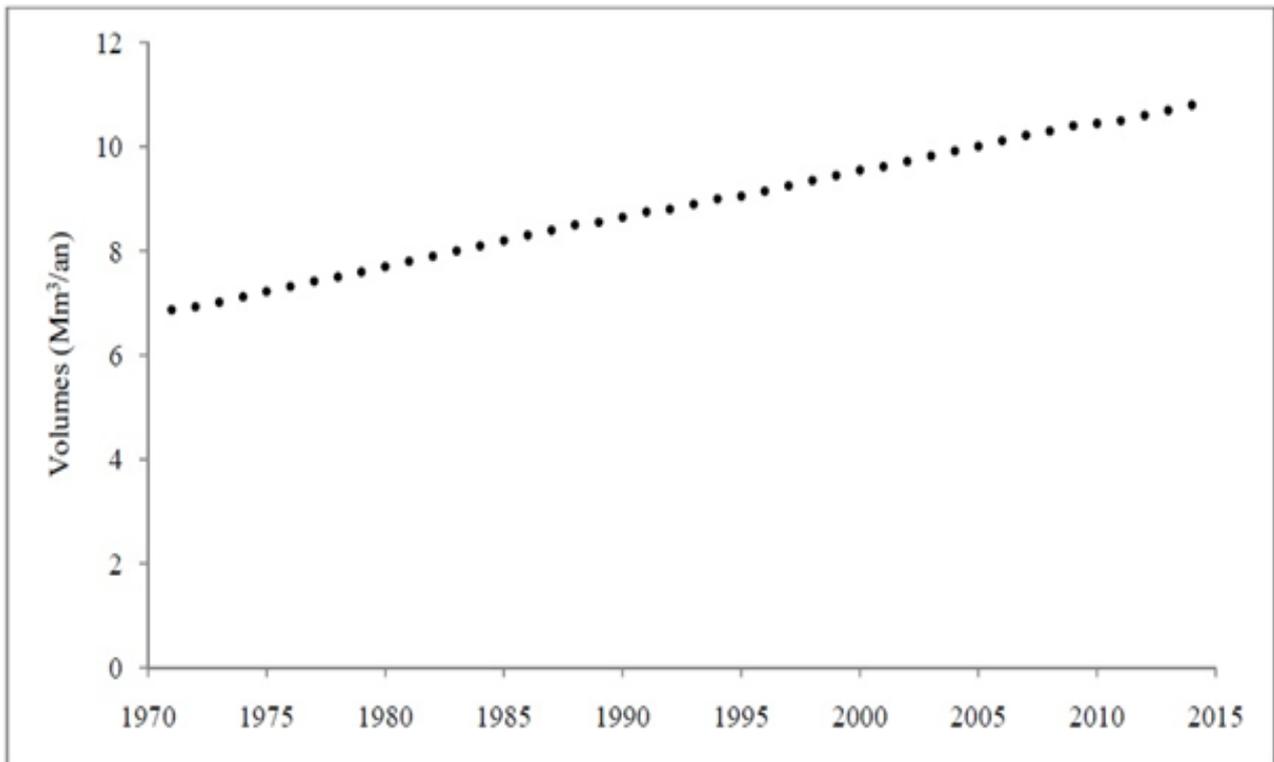


Figure 20: Evolution des prélèvements AEP introduits dans le modèle.

4.1. b- Prélèvements agricoles :

Les besoins en eau pour l'agriculture ont été estimés en se basant sur le recensement BIRH de 1972, l'évolution des surfaces agricoles utiles et irriguées de la Wilaya de Bel Abbès (données de la DSA) et les consommations d'eau par type de culture (tirées des rapports de la SOGREHA). Néanmoins, cette estimation reste personnelle et peut différer selon l'appréciation et le raisonnement adoptés dans les calculs. Les volumes d'eau destinés à l'irrigation, ainsi que leur évolution temporelle sont représentés sur la figure 21.

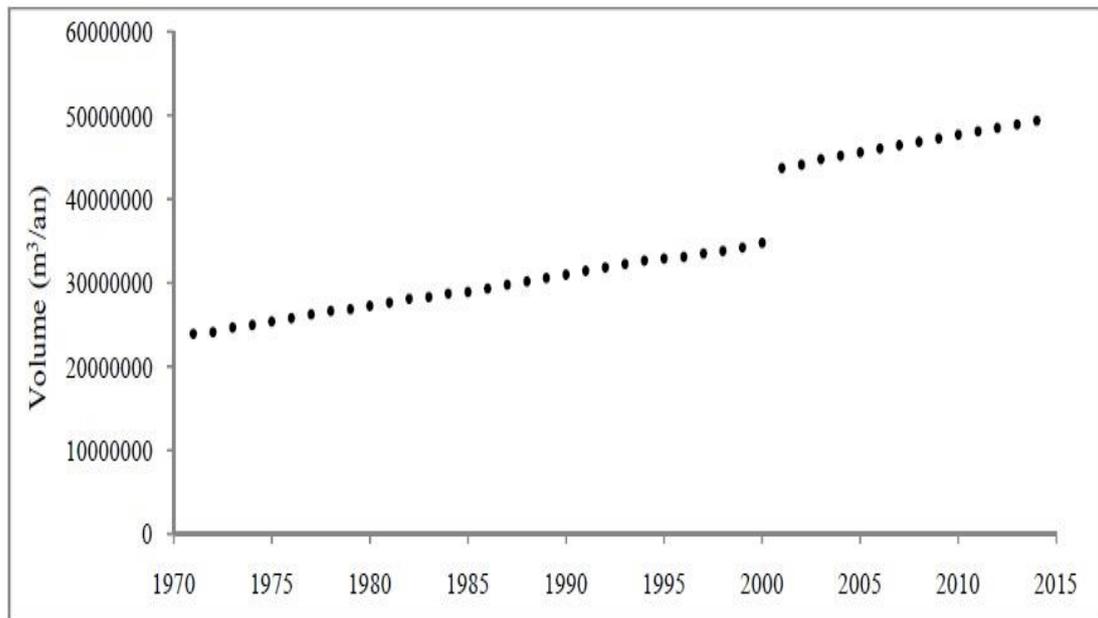


Figure 21: Evolution des prélèvements agricoles introduits dans le modèle.

4.1. c- Prélèvements industriels :

Les données relatives aux prélèvements industriels, telles que les volumes mobilisés, leur provenance (la localisation des points d'eau), leur variation temporelle, etc., sont assez pauvres au niveau de la Wilaya de Bel Abbès. Néanmoins, les données récoltées auprès des services de l'ADE, de la DHW ainsi que quelques documents consultés au niveau de l'Université de Bel Abbès, nous ont permis de faire une estimation approximative des prélèvements industriels extraits des alluvions plio-quaternaires. Ces prélèvements ont été introduits dans le modèle selon l'évolution temporelle présentée sur la figure 14.

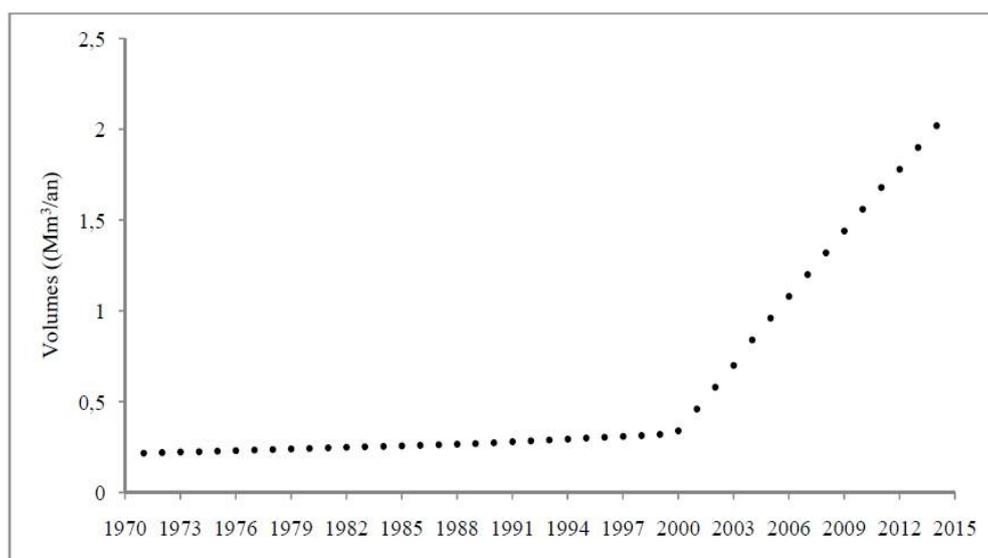


Figure 22: Evolution des prélèvements industriels introduits dans le modèle.

III.4.2- La recharge :

4.2. A- La pluviométrie : La recharge de l'aquifère plio-quaternaire se fait principalement par les pluies. Ces dernières ont baissées au niveau de la plaine de Sidi Bel Abbès (de plus de 100 mm/an) depuis le début des années 90s, mais se maintiennent en moyenne au dessus de 333 mm/an. La recharge par les pluies a été estimée dans un premier lieu à 18 % puis réajustée à 15 % après la calibration du modèle. La recharge a été introduite dans le modèle en mm/an sur l'ensemble du domaine modélisé sans tenir compte des zonalités rencontrées sur terrains, étant donné que toutes les eaux du système aquifère sont modélisées convergentes vers le seul exutoire du Rocher. La recharge introduite dans le modèle a été calculée à partir des moyennes pluviométriques présentées sur la figure 23.

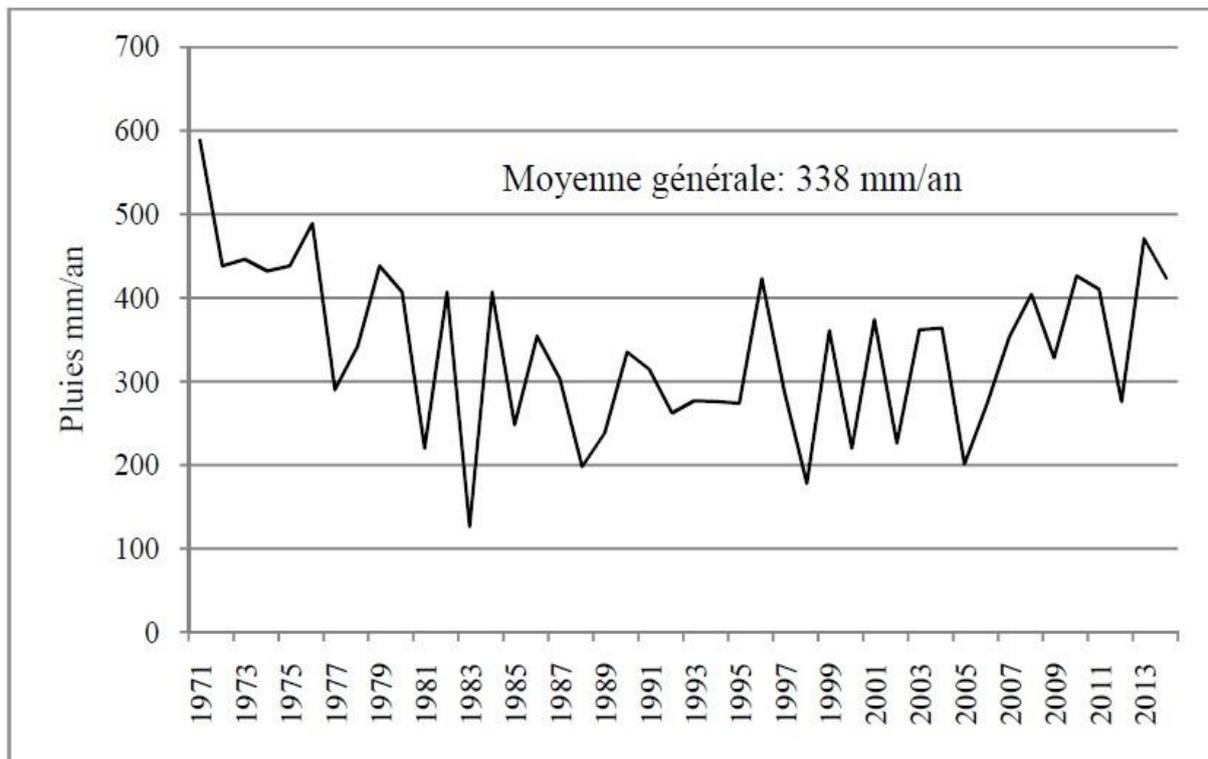


Figure 23: Moyennes pluviométriques annuelles utilisées pour le calcul de la recharge.

4.2. B- Apports latéraux et pertes : Les apports provenant des aquifères adjacents ont été introduits dans le modèle sous forme de débits imposés surfaciques positifs (du milieu extérieur vers l'aquifère). Ces derniers ont été calculés en se basant sur l'extension latérale de chaque bassin versant adjacent, ainsi que les caractéristiques hydrogéologiques générales des

CHAPITRE II : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

formations longeant l'aquifère plio-quadernaire, tout en supposant une recharge uniforme pour l'ensemble des aquifères considérés.

Les volumes obtenus sont par la suite introduits dans le modèle en traçant des polygones le long de chaque aquifère et en assignant les débits correspondants au centre de chaque maille (figure 24). Les pertes représentées par la dérivation vers le barrage Sarno via le lac Sidi Md Benali ont été représentées dans le modèle par un drain, dont la conductance a été ajustée lors du calage du modèle.

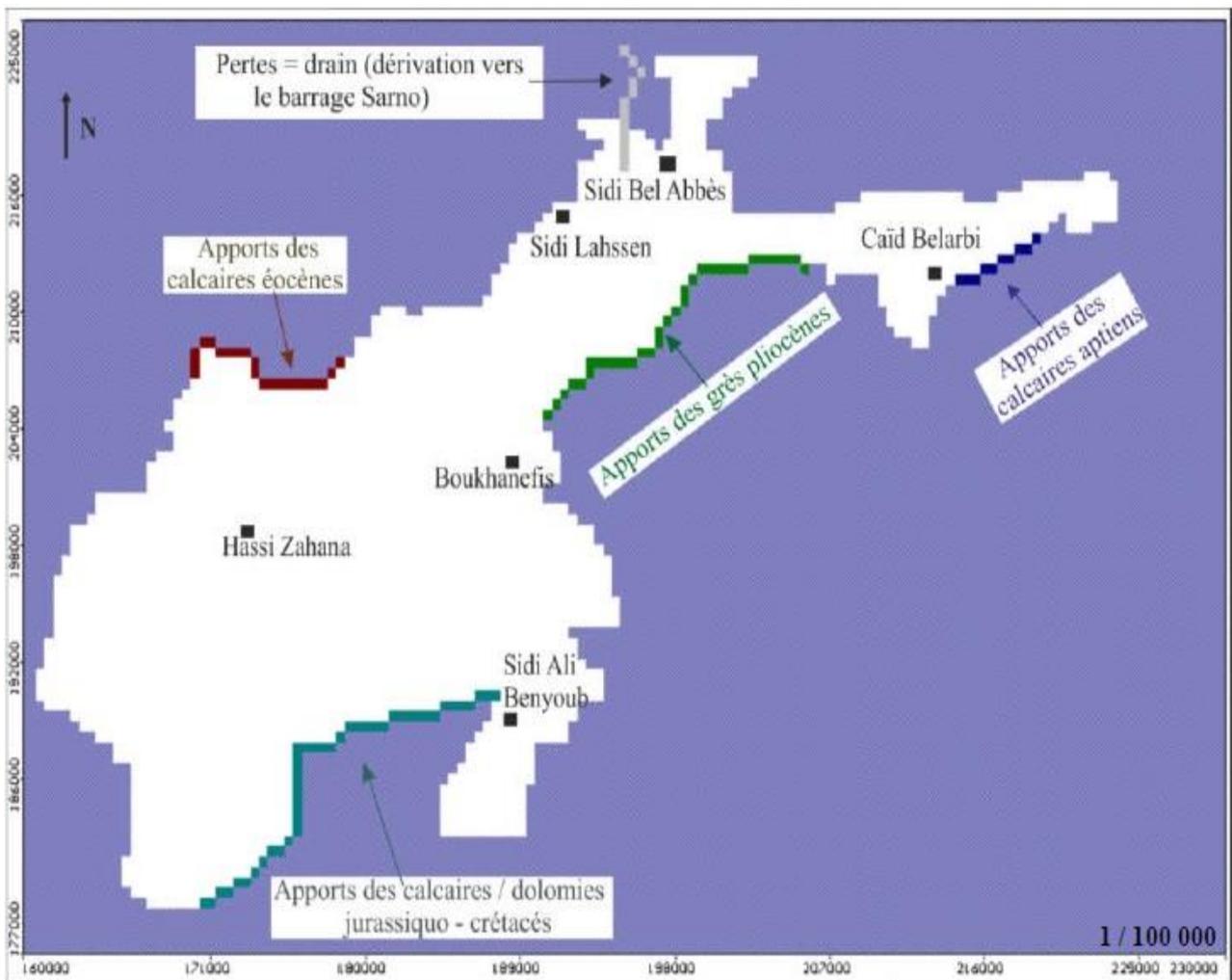


Figure 24: Discretisation spatiale des apports latéraux et des pertes

4.3- Calibration du modèle :

4.3.1-Régime permanent : Le calage du modèle en régime permanent a été fait sur l'année 1971. Ainsi, les données introduites dans le modèle ont été ajustées afin de reproduire au mieux l'allure de la carte piézométrique de Janvier 1971, réalisée par Sourisseau.

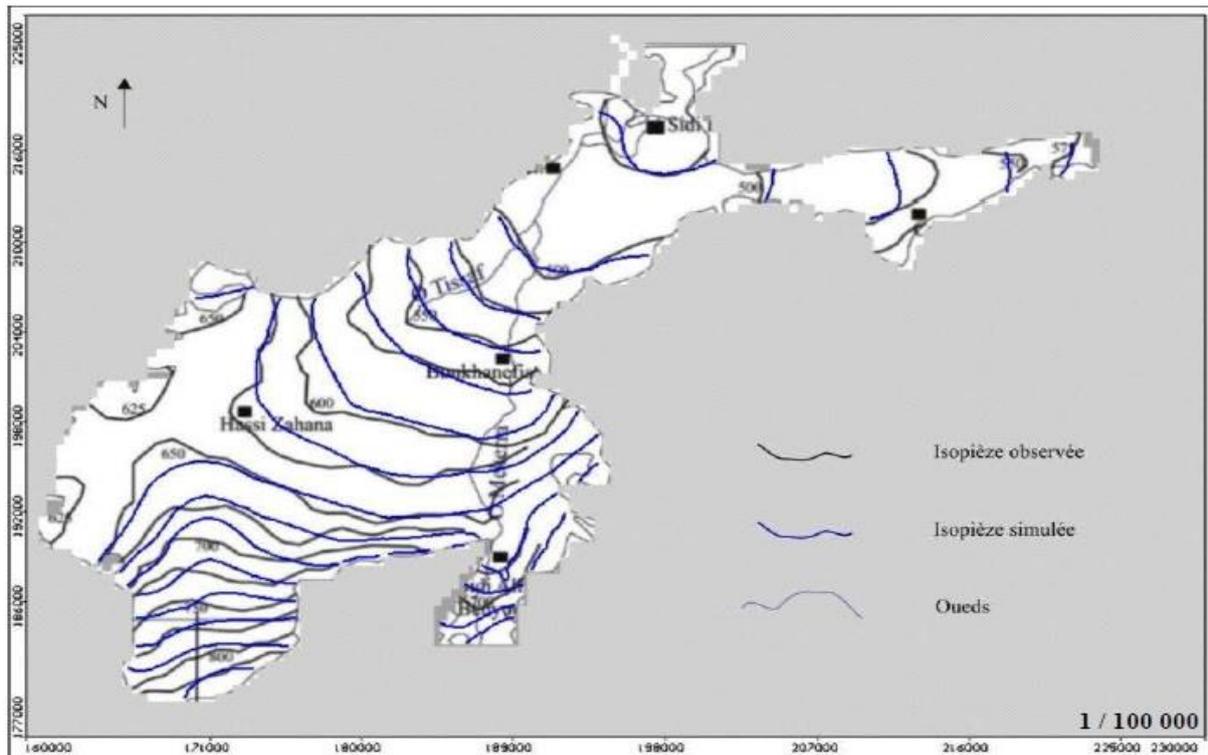


Figure 25: Cartes piézométriques : simulée (régime permanent, 1971) et observée (Sourisseau, Janvier 1971).

L'examen de la figure 25, montre que la carte piézométrique simulée se calque assez bien sur celle établie par Sourisseau en 1971. En effet, l'allure générale des courbes est retracée selon les mêmes directions d'écoulement (surtout pour les axes d'écoulement majeurs) et en respectant les mêmes valeurs du gradient hydraulique. En addition, les tendances piézométriques simulées le long des Oueds Mekerra et Tissaf sont assez proches de celles observées et dénotent de la bonne reproduction de la relation entre les Oueds et l'aquifère plio-quadernaire.

Les résultats obtenus après la phase de calage en régime permanent (1971) (tableau 6) sont assez proches de ceux des bilans réalisés par Sourisseau sur la nappe alluviale de la plaine de Bel Abbès entre 1970 et 1972. Ces résultats montrent que les précipitations sont la source majeure des entrées dans le système aquifère plio-quadernaire avec plus de 70 Mm³/an. Les apports latéraux provenant des aquifères adjacents sont également importants et avoisinent les

23 Mm³/an. L'infiltration par le lit des Oueds est assez faible comparée aux entrées citées ci-dessus et atteint presque 5 Mm³/an. La vidange de l'aquifère plio-quadernaire se fait essentiellement par les Oueds avec des volumes drainés hors de l'aquifère égales à 65 Mm³/an environ. Les prélèvements, surtout agricoles, sont la deuxième source de déstockage de la nappe avec des volumes de presque 30 Mm³/an.

Quant aux volumes transférés via le canal de dérivation vers le barrage Sarno, ils avoisinent les 4 Mm³/an et concordent avec les débits mesurés sur cette dérivation (débit entre 1970 et 2005 égal en moyenne à 125 l/s).

Tableau 6: Bilan des entrées et sorties en régime permanent du système aquifère plio-quadernaire.

Volumes en m ³ /an	In	Out
Recharges par les précipitations	71033400	
Apports latéraux	22368688	
Prélèvements		29859830
Rivières	4760722	64202627
Drains		4100255
Total	98162810	98162712

4.3.2- Régime transitoire :

La simulation du système aquifère plio-quadernaire en régime transitoire s'est faite pour une période de 44 ans de 1971 à 2014. Cette longue période nous a permis d'étudier le comportement général du système aquifère selon des circonstances variées dans le temps (recharge, prélèvements, échanges nappe-Oueds, etc.).

La calibration du modèle en régime transitoire s'est faite sur la base de données piézométriques (1998 à 2014) relatives à 13 ouvrages suivis par l'ANRH d'Oran (Figure 26). Toutefois, il est important de signaler que sur les 13 points de contrôle présents dans le secteur d'étude, 10 uniquement possèdent des données piézométriques entre 2009 et 2014, le reste ont été soit comblés, soit abandonnés.

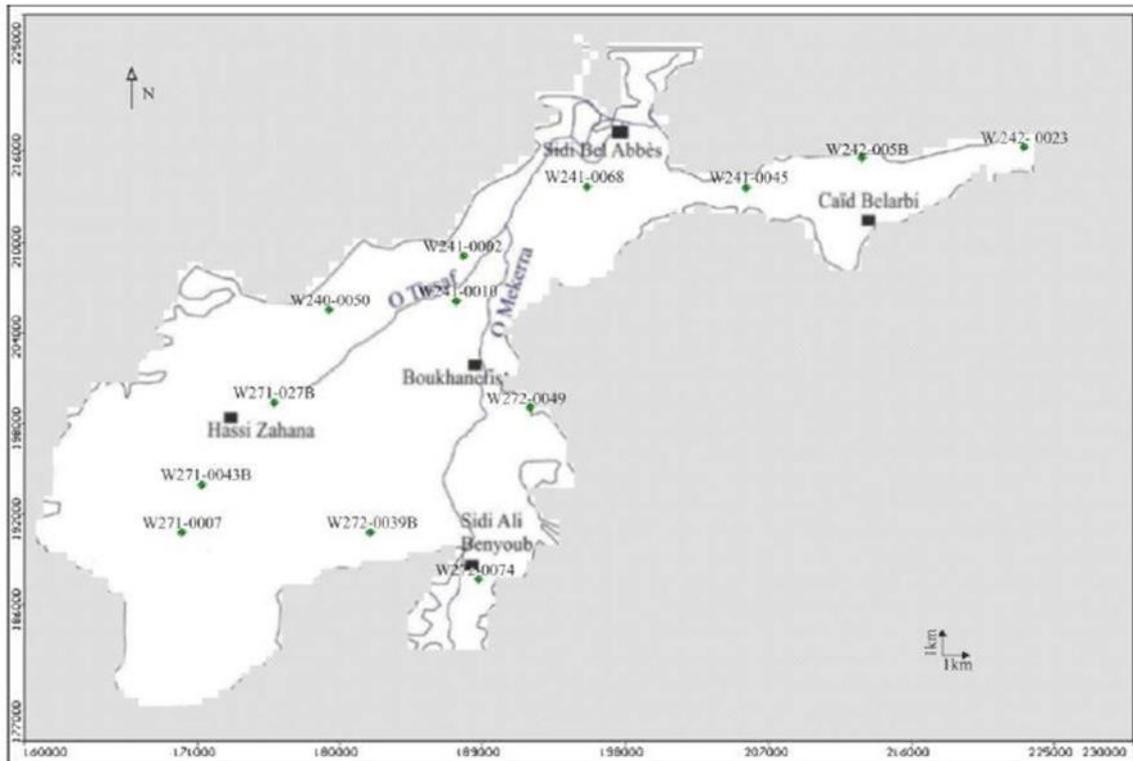


Figure 26: Ouvrages de calibration du le modèle.

III.5- Bilan hydraulique:

Un bilan hydraulique a été calculé par SOURISSEAU, utilisant l'équation suivante:

$$P = ETR + Q_n + Q_{rn} + Q_e \pm dV + Q_{rn}' \pm A$$

Avec :

P : pluviosité;

ETR : évapotranspiration réelle;

Q_n : écoulement souterrain, quantité d'eau qui sort par la nappe à l'exutoire de la zone étudiée ;

Q_{rn} : écoulement superficiel, quantité d'eau évacuée par les oueds;

CHAPITRE II : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

Q_e : débits extraits, par puits, forages ou sources pour satisfaire aux besoins de l'irrigation, de l'industrie et des alimentations en eau potable ;

dV : variation des réserves de la nappe, quantité d'eau qui a été restituée ou emmagasinée par la nappe entre le début et la fin du cycle hydrogéologique ;

Q_m' : débits des prises au fil de l'eau sur les oueds ;

A : différence qui équilibre le bilan entre les entrées et les sorties.

En fait, une partie des eaux épandues sur la plaine est récupérée par la nappe et aux quelles s'ajoutent des apports en provenance du sud, à savoir:

Q_n' : débit souterrain à l'entrée de la plaine à Sidi Ali Ben Youb;

Q_{rn}' : réinfiltration des débits extraits;

Q_{rn}'' : réinfiltration des débits dérivés;

Q_{nn} : apports par les sources de Sidi Ali Ben Youb;

Donc l'équation définitive proposée est:

$$P + Q_n' + Q_e' + Q_{rn}'' + Q_{nn} = ETR + Q_n + Q_{rn} + Q_e \pm dV + Q_{rn}' \pm A$$

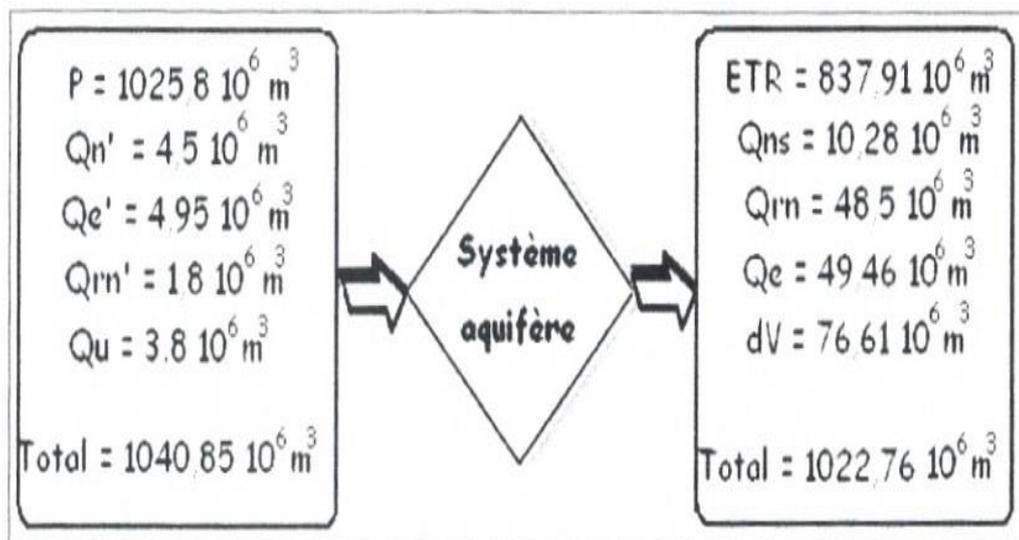


Figure 27: Bilan hydraulique de la nappe de la plaine de Sidi Bel Abbés entre 01/04/70 et 31/03/72. (B. SOURISSEAU, 1973)

Ce bilan a été calculé sur la superficie du bassin versant hydrogéologique $S = 1145 \text{ Km}^2$, pendant un intervalle de 24 mois du 1^{er} avril 1970 au 31 mars 1972 (figure 27).

III.6- Analyse des chroniques piézométriques :

L'étude des chroniques piézométriques a concerné les 13 piézomètres dont les données ont pu être récoltées entre 1998 et 2014 (janvier 1998 - janvier 2007, juillet 2009 - Août 2011 et Septembre 2013 - Décembre 2014) auprès des services de l'ANRH. En raison de la grande extension latérale du système aquifère plio-quadernaire (environ 804 km^2 d'après nos estimations) et du faible nombre de piézomètres, l'étude de l'évolution piézométrique s'est faite par zones géographiques, selon la localisation des 13 points de contrôle. Ainsi, 4 zones ont été distinguées : Nord (Amont du chef-lieu de la Wilaya), Est (environ de Caïd Belarbi), Centre (centre de la plaine de Bel Abbés) et Sud (Sud de Hassi Zahana et Sidi Ali Benyoub).

6.1- Zone Nord :

De la figure 28, il apparaît que le modèle reflète bien l'évolution piézométrique aux niveaux des piézomètres W 241-10 et W241-02, où la différence entre les valeurs observées et calculées est en moyenne inférieure à 2 m pour le premier et 1 m pour le deuxième. Quant au piézomètre W241-68, le décalage entre les valeurs simulées et calculées est plus important variant entre 3 et 5 m. Cela pourrait être dû à la présence d'un grand nombre de puits illégaux (non modélisés), dont les prélèvements abaissent encore plus le niveau de la nappe à ce niveau de la plaine.

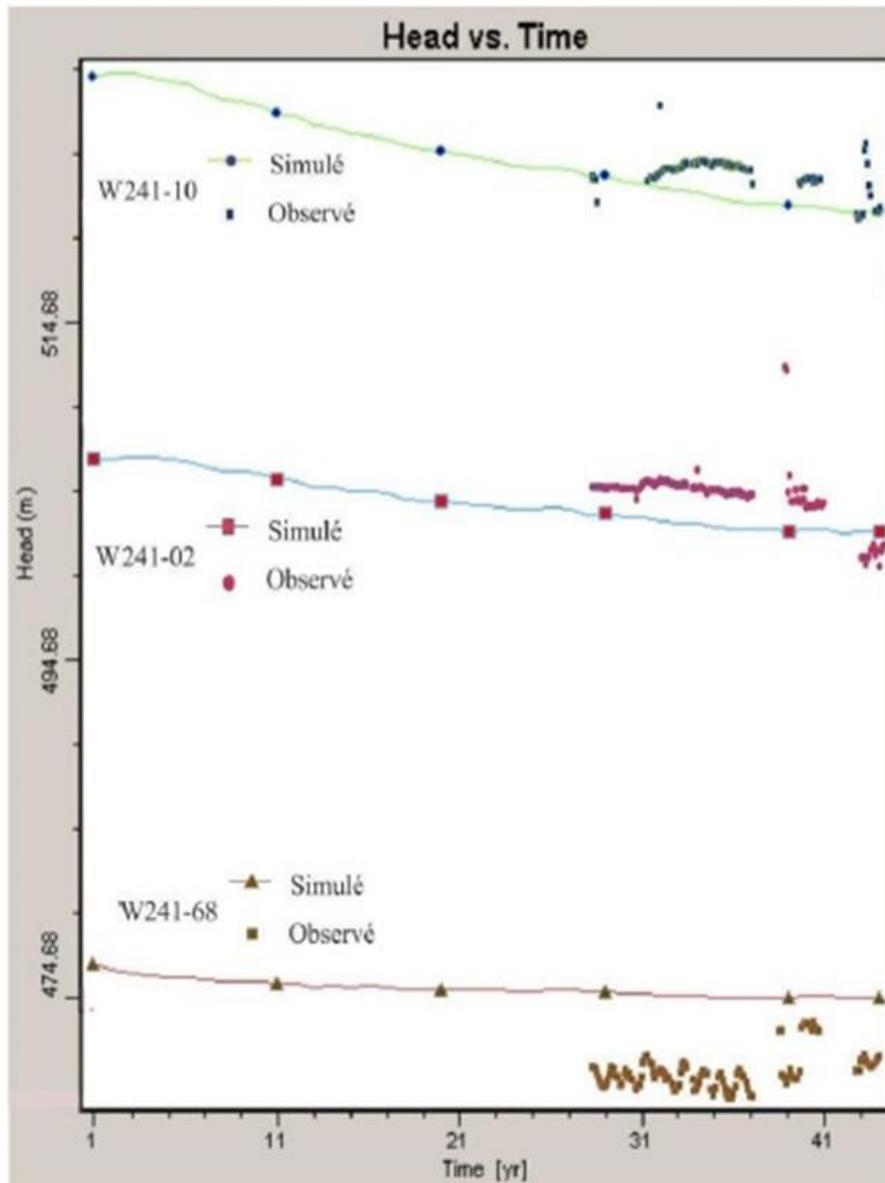


Figure 28: Variation piézométrique simulée – observée dans la zone Nord.

6.2- Zone Est : le modèle (figure 29) reproduit bien la tendance piézométrique observée au niveau des troispiezomètres W242-23, W242-05b et W241-45, où l'on enregistre une baisse d'environ 15 mètres entre 1971-2014.

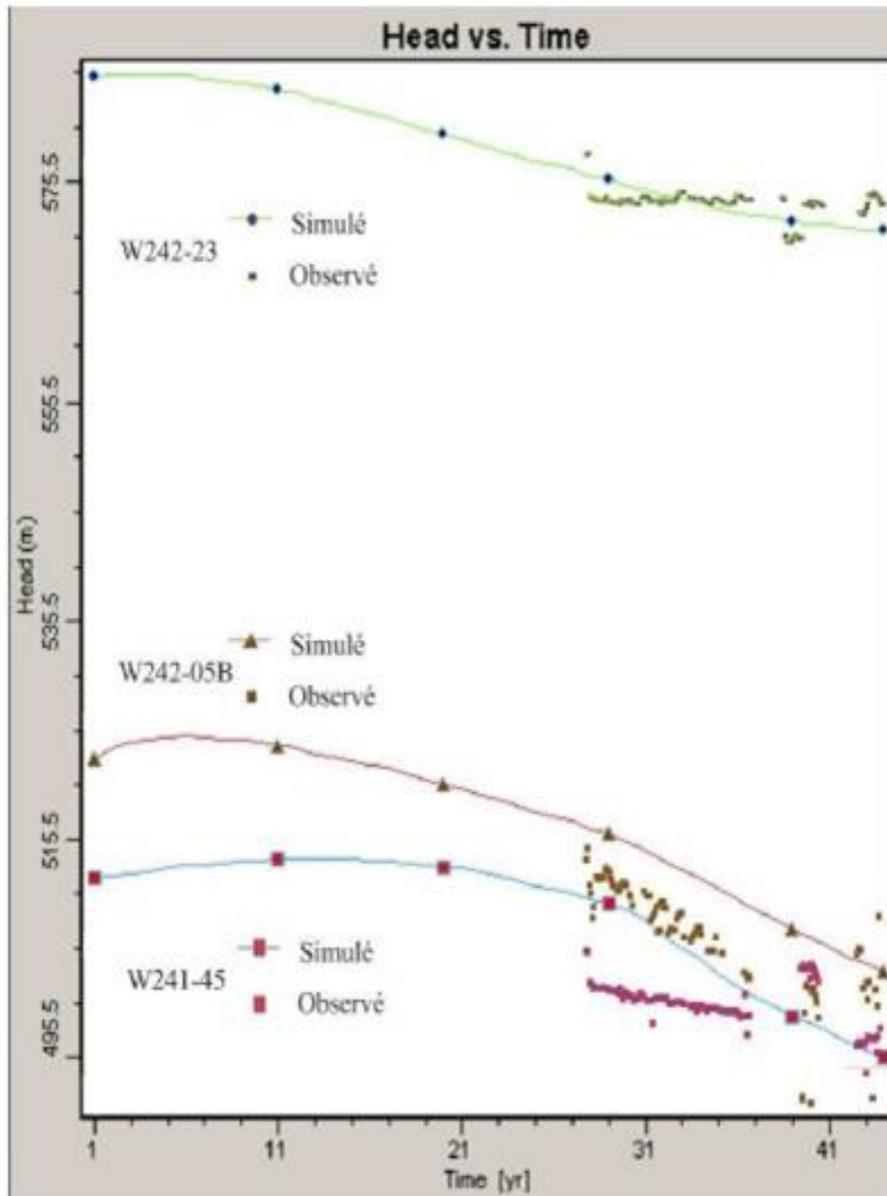


Figure 29: Variation piézométrique simulée – observée dans la zone Est.

6.3- Zone Centre : Dans la figure 30 on remarque une augmentation du niveau piézométrique pour les piézomètres W272-49 et W240-50 entre 1971-1988 en raison de l'effet de l'approximation initiale faite par ModFlow (existence d'un état antérieur à 1971 non pris en compte) lors du début de la simulation et qui disparaît dans le temps (rapprochement des états simulés avec les réalités sur terrains avec le temps). Après 1988, les valeurs piézométriques simulées pour les trois ouvrages W272-49 et W240-50 et 271-27B sont presque similaires à celles observées avec une baisse du niveau piézométrique de l'ordre de 2 m entre 1971 et 2014.

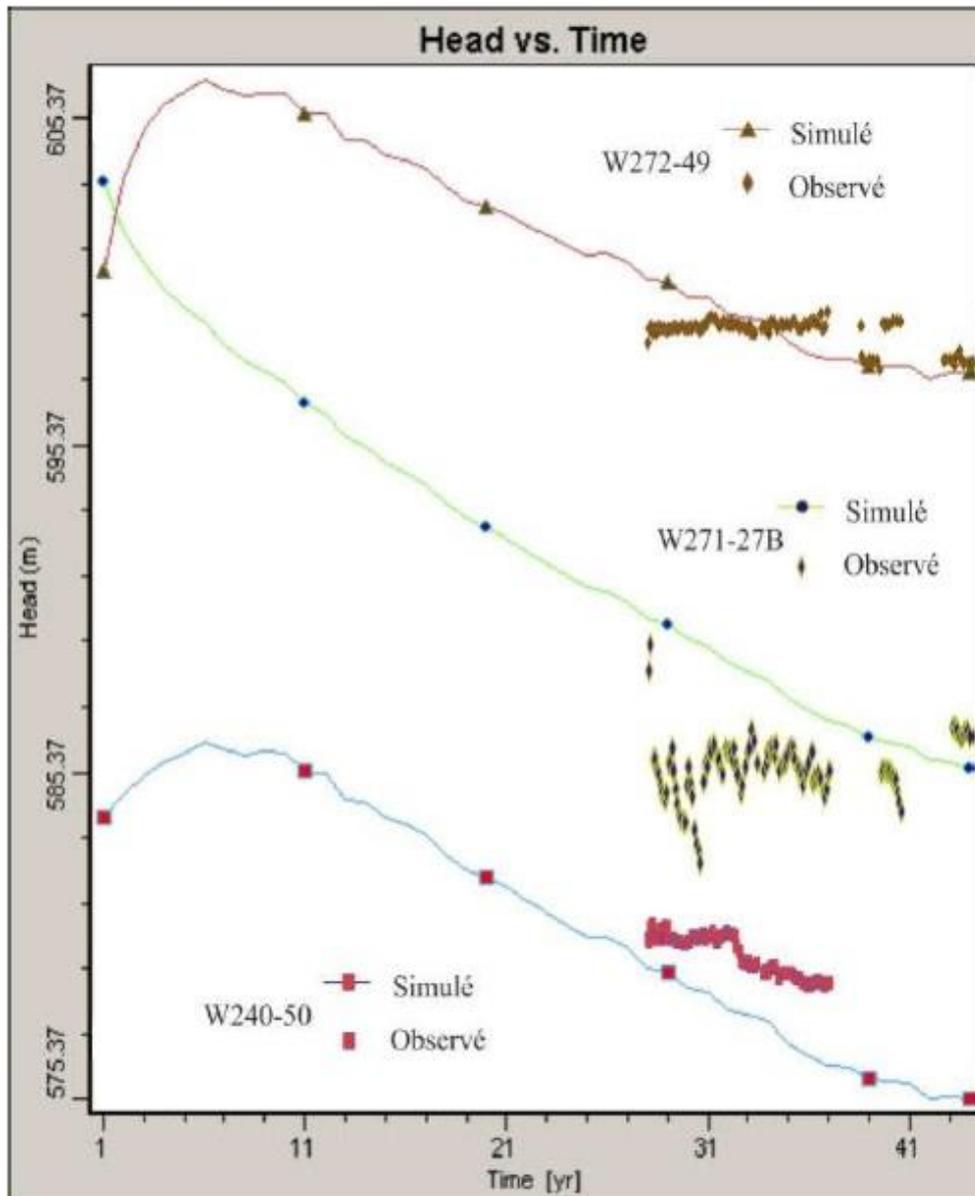


Figure 30: Variation piézométrique simulée – observée dans la zone centre.

6.4- Zone Sud :

Le modèle reproduit bien l'évolution piézométrique aux niveaux des piézomètres W271-7, W272- 74, W271-43B et W272-39B, surtout pour les deux derniers (figure 31) où la moyenne des différences entre les valeurs observées et calculées est inférieure à 2.5 m pour W272-39B et 1.5 m pour W271-43B. Le décalage enregistré à partir de 2001 et 2007 respectivement pour W272- 74 et W271-7 serait dû à l'influence de la Mekerra sur la côte piézométrique au niveau du premier ouvrage (variation des hauteurs d'eau dans les Oueds) (river stage sous VMF) non prise en considération (hauteurs d'eau constantes pour toute la durée de la simulation) en raison

CHAPITRE II : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

d'absence de données et à une recharge très variable dans le temps. Les écoulements en bordures des domaines modélisés sont très influencés par les conditions aux limites dans les modèles d'écoulement souterrain) par les calcaires de Remaïlia /dolomies de Tlemcen pour le second (très grande fluctuation du niveau piézométrique au niveau de W271-7 entre 1998 et 2007).

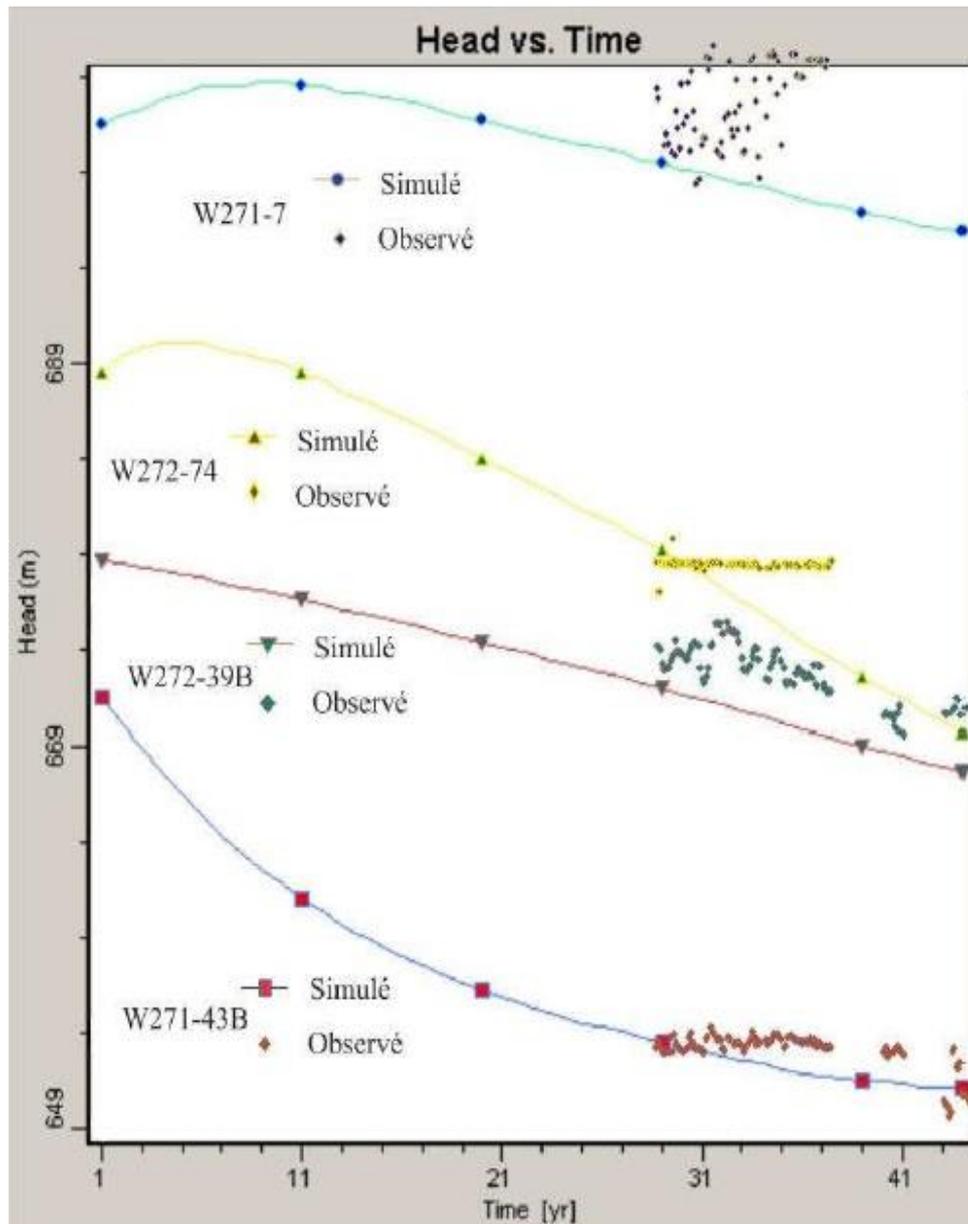


Figure 31: Variation piézométrique simulée – observée dans la zone Sud.

6.5- Baisse du niveau piézométrique : Sur le tableau 7, sont présentées les baisses du niveau de la nappe alluviale plio-quaternaire pour chaque piézomètre et zone géographique. Du tableau 7, on remarque que les plus grandes baisses du niveau piézométrique sont observées dans la zone Est, aux environs de Caïd Belarbi. Cela est dû non seulement à la faible extension des formations aquifères, mais aussi à une pullulation de puits et forages (légaux et illégaux) sur ce pan du secteur d'étude. Par ailleurs, et dû au fait que la grande majorité des eaux du système aquifère convergent vers l'exutoire principal du Rocher, la zone Nord est la moins affectée par la diminution de la réserve et enregistre par conséquent, les plus faibles baisses du niveau piézométrique.

Tableau 7: Baisse du niveau de la nappe plio-quaternaire entre 1971 et 2014.

Piézomètres	Baisse (m) 1971- 2014	Baisse moyenne (m) par zone géographique
W241-68	2.06	Zone Nord :4.08
W241-02	4.3	
W241-10	7.97	
W242-23	14.35	Zone Est :17.03
W242-05B	19.98	
W241-45	16.78	
W240-50	8.46	Zone Centre :9.71
W272-49	3.05	
W271-27B	17.64	
W271-43B	20.38	Zone Sud :13.95
W272-39B	10.99	
W272-74	18.84	
W271-7	5.59	
		Moyenne aquifère ≈ 11

Conclusion :

L'étude du système aquifère plio-quadernaire de la plaine de Sidi Bel Abbés a montré que l'on a affaire à une nappe libre (à caractère parfois semi-captif), portée par un aquifère, formé par une succession de petits bassins connectés, déversant leurs eaux, l'un vers l'autre jusqu'à l'exutoire du Rocher au Nord.

L'aquifère est formé par des alluvions du Plio-quadernaire assez perméables et son étanchéité est assurée par un substratum d'argiles marno-sableuses marines miocènes.

Les entrées dans le système aquifère sont représentées par la recharge pluviale estimée à 15 % des précipitations et par les apports latéraux, surtout ceux provenant des grès de Tenira et des calcaires de Remaïlia / dolomies de Tlemcen.

La vidange de l'aquifère se fait par les Oueds, les drains et par les prélèvements AEP, agricoles et industriels. L'interaction nappe/Oueds (Mekerra et Tissaf) est supposée invariable dans le temps (manque de données relatives aux Oueds) et est simulée selon les conditions régnautes en 1971.

Les résultats obtenus après calibration du modèle en régime transitoire (Bellaredj, 2019) reflètent bien l'évolution piézométrique de la nappe entre 1971 et 2014 qui se rabattent d'environ 11 m en moyenne sur toute la zone d'étude. La simulation en régime transitoire a également démontré une surexploitation de l'aquifère plio-quadernaire due essentiellement à une augmentation continue des prélèvements totaux, parallèlement à une recharge faible, surtout entre 1981 et 2006.

[Tapez ici]

Conclusion générale et recommandations

IV_ Conclusion générale :

La wilaya de Sidi Bel Abbes est située au nord-ouest de l'Algérie, Elle est située sur la Mékerra, à 470 m d'altitude, au centre d'une vaste plaine comprise entre le djébel Tessala au Nord et les monts de Daya au Sud. La plaine de Sidi Bel Abbès s'étend sur une superficie avoisinant les 1150 km² et elle constitue le bassin versant dit de la moyenne Mekerra. Elle ne s'étend pas d'une manière uniforme sur toute sa longueur. En effet, elle devient de plus en plus étroite, au fur et à mesure que l'on va vers le Nord-est.

Le réseau hydrographique correspond à la partie amont de deux bassins hydrographiques régionaux qui sont la Macta et le Chergui. Cet important réseau épouse l'orientation et l'inclinaison Sud-Nord, de ses plaines, et Nord-Sud, de son étendue steppique. Sa partie septentrionale occupe le grand bassin de la Macta. Le bassin versant de l'Oued Mekerra fait partie du grand bassin versant de la Macta qui est situé au Nord-ouest de l'Algérie, l'Oued Mekerra sillonne la plaine de Sidi Bel Abbes du Sud au Nord sur une distance D'environ 119 Km, avec un réseau hydrographique embryonnaire et dont le lit du cours principal a été creusé dans un vaste dépôt lacustre du Pliocène. Le réseau hydrographique de la Mekerra est composé par de nombreux affluents, représenté fréquemment par des cours d'eau temporaires, L'oued est alimenté par des précipitations et par des sources dont la plus importante est Ain – Skhouna

La région de Sidi Bel Abbes, de part, sa position géographique, est soumise aux conditions climatiques continentales et aux faibles influences maritimes. Son climat se définit par une période chaude et sèche et une période fraîche ou prédominante, les caractéristiques du climat méditerranéen, surtout à travers son régime de pluie très contrasté. (Meterfi B., 2001 in Khedim D et Bouchikhi M., 2013). La plaine de Sidi Bel Abbès se trouvant à 80 Km du littoral se caractérise de ce fait par un climat méditerranéen semi-aride, avec des précipitations généralement en dessous des 450 mm/an. Les températures atteignent leur maximum durant le mois d'Août, et leur minimum pendant les deux mois de Janvier et Février. La vitesse des vents est faible comparée à celle observée sur les plaines voisines, en raison de la présence des chaînes montagneuses qui jouent le rôle de barrières naturelles contre le vent.

Le couvert végétal dans le secteur d'étude connaît une dégradation importante depuis des années, due essentiellement à une extension anarchique du bâti (Ras El Ma et Sidi Ali Benyoub), une surexploitation des pâturages (broutement des troupeaux) et à une plus grande fréquence des incendies, notamment en été. Le développement de l'agriculture qui se fait dans

la plupart des cas, aléatoirement, reste toutefois assez appréciable et cela grâce à l'emploi d'engrais et à une irrigation intensive (sur-irrigation).

La plaine de Sidi Bel Abbés est une large cuvette qui repose sur une base argilo-marneuse mio-pliocène. Les terrains plissés crétacés et tertiaires très épais des Monts Tessala forment sa limite nord, tandis qu'au Sud, la plaine est dominée par les Monts de Tlemcen-Saïda, formés essentiellement de terrains jurassico-crétacés inférieurs/moyens. La limite ouest de la plaine est représentée par les collines de marnes helvétiques séparant les bassins versants des Oueds Isser et Mekerra. Enfin, vers l'Est, la plaine est limitée par la série des marnes miocènes de Bou Henifia.

D'un point de vue hydrogéologique, la plaine abrite cinq aquifères dont le plus important est celui des alluvions plio-quadernaires. L'étanchéité de cet aquifère composé d'alluvions et de conglomérats est assurée par un mur formé essentiellement de marnes pliocènes marines. La recharge de l'aquifère se fait par les pluies, les aquifères adjacents et par infiltration des eaux des Oueds. Les paramètres hydrodynamiques sont caractéristiques d'une nappe libre et oscillent entre 10⁻² et 10⁻⁵ m²/s pour la transmissivité et entre 5 à 30 % pour le coefficient d'emmagasinement.

A l'aide des cartes piézométriques et les bilans d'entrées et sorties de la nappe étudiée on peut dire que il y a une surexploitation des eaux souterraines. En effet, les résultats reflètent bien le rabattement moyen d'une dizaine de mètres du niveau de la nappe entre 1971 et 2014, faisant état d'une surexploitation de l'aquifère plio-quadernaire, surtout durant la période s'étalant entre 1981 et 2006.

Notre travail montre une augmentation continue des prélèvements de l'aquifère plio-quadernaire qui se fait parallèlement à une recharge pluviométrique faible causant une surexploitation de la réserve souterraine surtout depuis le début des années 1980s. Ainsi, le maintien du rythme actuel d'exploitation de l'aquifère plio-quadernaire, pourrait avoir des conséquences dévastatrices non seulement sur la ressource (jusqu'à même son épuisement à certains endroits de la plaine de Bel Abbés), mais aussi sur la stabilité du terrain (subsidence) dans le secteur d'étude.

V_Recommandations :

1_ **En tant qu'individus**, l'une des choses que nous pouvons faire pour faire la différence est tout simplement d'utiliser moins d'eau dans notre vie quotidienne. Nous devons tous aborder la question de l'épuisement des eaux souterraines. Face à la crise imminente d'une pénurie massive d'eau, chacun doit faire sa part pour utiliser moins d'eau chaque fois que cela est possible. L'eau est utilisée si librement qu'elle fait souvent partie des idées de décoration extérieure et est utilisée pour les grandes attractions, telles que les parcs d'attractions.

Dans d'innombrables quartiers, de grandes quantités d'eau sont utilisées pour les piscines, tandis que des tuyaux d'eau sont maintenus en marche pour laver les voitures et pour d'autres raisons diverses. Nous économisons l'eau lorsque nous fermons le robinet et réduisons notre utilisation de machines à laver, lave-vaisselle et autres appareils similaires. Nous économisons également une quantité d'eau considérable en décidant de ne pas utiliser l'eau à la maison pour des raisons décoratives et inutiles.

2_ **Nous devrions réduire notre utilisation de produits chimiques** et les éliminer correctement. Beaucoup de gens ne font pas attention et ignorent tout simplement à quel point il est important d'empêcher la pollution de se produire sous le sol. L'eau des entreprises et des résidences privées qui s'écoule dans les rues et les égouts est souvent chargée de produits chimiques. Ces produits chimiques se retrouvent dans de plus grandes masses d'eau et sont absorbés par le sol, empoisonnant ainsi les animaux et le sol. En utilisant moins de produits chimiques et en les éliminant avec précaution, nous les empêchons d'ajouter des substances toxiques dans notre approvisionnement en eau.

3_ **Des recherches plus approfondies et des financements supplémentaires** peuvent contribuer à lutter contre l'épuisement des eaux souterraines. La meilleure façon d'aborder le sujet de l'épuisement des eaux souterraines et de trouver une solution est de réfléchir à la fois au niveau personnel et au niveau gouvernemental. Les lois en vigueur pour le pompage des eaux souterraines devraient être plus strictes et suivre des réglementations spécifiques. De nombreux scientifiques, chercheurs et entreprises durables nous rappellent combien il est important de connaître la quantité d'eau souterraine dont nous disposons réellement. Ils pensent également que nombre de nos politiques devraient être modifiées dans l'optique d'économiser les eaux souterraines au lieu de les traiter comme une ressource inépuisable.

4_ L'un des moyens les plus efficaces de résoudre le problème de l'épuisement des eaux souterraines est de **trouver des sources d'eau alternatives**. Les sources d'eau alternatives

peuvent être utilisées pour aider à la reconstitution des aquifères. Le fait de dériver l'eau d'autres sources donnerait également aux aquifères le temps de se remplir au lieu de pomper trop d'eau en une fois.

5_ Le pompage des eaux souterraines doit être réglementé. Si nous n'avons pas une meilleure compréhension de notre alimentation en eau souterraine, nous pouvons facilement en utiliser beaucoup plus que nous ne le devrions. Il est donc compréhensible que des fonds supplémentaires soient accordés pour la recherche sur nos réserves d'eau souterraine au lieu de se contenter de pomper l'eau, afin que nous puissions fixer des limites et mieux rythmer notre utilisation.

6_ Des fonds supplémentaires devraient être accordés pour soutenir les initiatives qui non seulement étudient les réserves d'eau souterraine dont nous disposons, mais aussi cherchent à trouver des moyens durables d'en utiliser moins.

Références bibliographiques

- ABH (Agence des bassins hydrographiques de l'Oranie). 2010. Rapport publié par le Ministère des ressources hydriques sur les ressources en eau. 40p.
- ADE (Algérienne Des Eaux) de Sidi Bel Abbès. 2011. Rapport sur les données générales du secteur de l'eau dans la Wilaya de Bel Abbés : études et réalisation des projets.61p.
- Agence nationale de développement de l'investissement (2014). « Sidi Bel Abbes », ANDI Algérie. Consulté le 24 Sept. 2020.http://www.andi.dz/PDF/monographies/Sidi_bel_abbes.pdf
- Bellaredj A. 2019. Caractérisation des principaux paramètres affectant les eaux souterraines de la plaine de Sidi Bel Abbès à l'aide du programme Visual Modflow (applications et perspectives). Th. Doct. Univ. Oran2 Mohamed Ben Ahmed, 202 p.
- Bemmouat A. 2012. Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la Tafna. Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaïd. 156p.
- Bennabi F., Ghomari S., Bennabi L., Hamel L., Egharbi A., Toumi F. 2016. Approche de gestion des ressources en eau : cas de la région de Sidi Bel Abbés. Afrique Science. Vol 12 (1), 205-213.
- Boudjadja A, Messahel M, Pauc H.2003. Ressources hydriques en Algérie du Nord (Water Resources in Northern Algeria). Water Science Reviews. 16 (3), 285-304.
- Candela L, Gomez M, Puga L, Rebollo L, Villarroya F. 1999. Aquifer overexploitation. Tenerife, 1999, AIH, 15 580.
- Candela L, Gomez M, Puga L, Rebollo L, Villarroya F. 1999. Aquifer overexploitation.
- Cherif EA, Errih M, Madani H. 2009. Modélisation statistique du transport solide du bassin versant de l'Oued Mekerra (Algérie) en zone semi-aride méditerranéenne. Hydrological Sciences Journal. 54:2, 338-348.
- Maison de la culture Kateb Yacine (2020). «Wilaya de Sidi Bel Abbés », MC-Kateb Yacine. Consulté le 24 Sept. 2020.<http://www.mc-katebyacine.org/index.php/fr/accueil/wilaya-de-sidi-bel-abbes>
- Yousfi S. 2008. Hydrodynamique et modélisation de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbès (Nord-ouest algérien). Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen.91p.