

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID  
Faculté de Technologie  
Département d'hydraulique

Mémoire de Magister

Option : **Mobilisation et protection des ressources en eau**

Thème

**Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines  
à travers le bassin de la Tafna**

Présenté par :

**M<sup>r</sup> Abdelkader BEMMOUSSAT**

Sous la direction de :

<b>Mme F. Adjim</b>	Maître de Conférence classe A – UABB .Tlemcen	Encadreur
<b>Mr M.Adjim</b>	Maître de Conférence classe A – UABB .Tlemcen	Co-Encadreur

Devant la commission :

<b>Mr A.Bouanani</b>	Professeur – UABB .Tlemcen	Président
<b>Mr A.Chiboub Fellah</b>	Professeur–UABB .Tlemcen	Examineur
<b>Mr A.Tabet Hellal</b>	Maître assistant classe A – UABB .Tlemcen	Examineur

*Année universitaire 2011 – 2012*

## RESUME

Le bassin de la Tafna a connu ces dernières années une importante activité agricole. Cela est dû au dispositif d'aide de l'état mis en place depuis l'année 2001. L'utilisation d'intrants agricoles, l'irrigation avec les eaux non conventionnelles, les rejets d'élevage ainsi que l'accroissement de la demande en eau à des fins agricoles ont causé une surexploitation des nappes d'eaux souterraines et une dégradation de la qualité de l'eau.

Dans ce travail nous faisons en premier lieu une présentation générale du bassin versant de Tafna et plus particulièrement des périmètres d'Hennaya et de Maghnia sur lesquels nous nous sommes focalisés. Ces derniers sont reconnus comme patrimoine agrumicole à haute potentialité agricole où se pratique une agriculture intensive exposant ainsi les eaux souterraines à des risques de pollutions.

Cette hypothèse a été confirmée par les analyses de l'eau au niveau des puits et forages privés. Analyses qui révèlent que la présence de nitrates et d'ammonium dépassent les normes relatives à la qualité de l'eau de consommation humaine. L'utilisation d'un outil d'aide à la décision pour la gestion de ces ressources en eaux souterraines, permettant la délimitation des zones sensibles à la pollution, s'avère par conséquent plus qu'indispensable.

Dans cette optique, nous avons pu élaborer la carte de vulnérabilité intrinsèque à la pollution de l'aquifère par la méthode d'évaluation GOD tout en utilisant les systèmes d'informations géographiques et notamment le logiciel ArcGIS 10. Cette carte a été réalisée en s'appuyant sur une étude détaillée de la plaine d'Hennaya. Cette étude compte les caractérisations géologique et hydrogéologique réalisées sur la base des données disponibles et les différentes campagnes piézométriques effectuées.

Ce document cartographique élaboré fait ressortir trois classes de vulnérabilité à savoir modérée, forte et extrême. Ce document cartographique ainsi que les résultats de la caractérisation qualitative de l'aquifère et de l'étude des différents acteurs de pollution pourraient être exploités dans l'aménagement régional et la mise en place d'un réseau de surveillance de qualité de l'eau.

## *Remerciements*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur Mme F. Adjim et mon co-encadreur Mr M. Adjim qui ont suivi et dirigés mon travail et qui ont sus m'accompagner tout au long de mon parcours par leurs remarques pertinentes, soutien et grande aide.*

*Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury qui ont accepté de lire et d'évaluer mon mémoire et qui permettront de donner un nouvel élan à ma recherche par leurs conseils et leurs observations critiques.*

*Qu'il me soit permis de remercier aussi les membres de ma famille et mes amis pour leurs présences ainsi que la force psychique qu'ils ont su installer en moi.*

*Enfin, je remercie tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation du présent document.*

## Tables des matières

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1
<b>CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA TAFNA</b> ...	4
I.1) Délimitation du bassin : .....	5
I.2) Les sous- bassins : .....	5
I.3) Géographie du bassin : .....	6
I.4) Hydrographie : .....	8
I.5) Aspect Géologique : .....	8
I.6) Pédologie : .....	10
I.7) Occupation agricole : .....	10
I.8) Les ressources en eau souterraines dans le bassin versant de Tafna : .....	12
I.9) Etude du sous- bassin versant de Sikkak : .....	13
I.9.1) Délimitation du B.V .....	13
I.9.2) Situation géographique : .....	15
I.9.3) Caractéristique de la forme du bassin versant : .....	16
I.9.4) Morphologie des altitudes et pentes : .....	17
I.9.5) Réseaux hydrographique : .....	18
<b>CONCLUSION</b> : .....	23
<b>CHAPITRE II : ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE DU SOUS BASSIN VERSANT DE SIKKAK.</b> .....	24
II.1) Pluviométrie : .....	24
II.1.1) Homogénéisation des données par la méthode des « doubles-cumuls » : ...	24
II.1.2) Période de base des observations : .....	27
II.1.3) Précipitations annuelles : .....	27
II.1.4) Précipitations mensuelles : .....	30
II.2) Etude climatique : .....	32
II.2.1) Température : .....	32
II.2.2) Régime climatique : .....	33
II.3) Etude Hydrologique : .....	36
II.4) Modélisation du bilan hydrique du bassin versant de Sikkak à l'aide du logiciel Hydrognomom : .....	38
<b>CONCLUSION</b> : .....	41
<b>CHAPITRE III : ETUDE GEOLOGIQUE DE LA PLAINE D'HENNAYA</b> .....	42
III.1) Description lithologique des formations : .....	43
III.1.1) Le Miocène : .....	43

III.1.2) Le Quaternaire :	43
III.2) Tectonique :	45
<b>CONCLUSION :</b>	46
<b>CHAPITRE IV : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE D’HENNAYA</b>	47
IV.1) Formations aquifères :	47
IV.1.1) Horizon aquifère Tortonien :	48
IV.1.2) Horizon aquifère alluvial :	48
IV.1.3) Horizon non aquifère :	49
IV.2) Géométrie de l’aquifère :	49
IV.2.1) Les limites de l’aquifère :	49
IV.2.2) Carte du toit du substratum :	49
IV.2.3) Carte d’épaisseur des formations aquifères :	50
IV.2.4) Coupes géologiques :	51
IV.3) Exutoires :	53
IV.4) Caractéristiques hydrogéologiques :	53
IV.4.1) Piézométrie et écoulement :	53
IV.4.2) Gradient hydraulique :	56
IV.4.3) Profondeur de la nappe :	57
IV.5) Caractéristiques hydrodynamique :	58
IV.5.1) Transmissivité :	58
IV.5.2) Perméabilité :	59
IV.6) Calcul du volume des formations aquifères :	60
IV.7) Calcul du volume d’eau :	61
IV.8) Calcul du débit de l’alimentation du Sud :	61
IV.9) Calcul de la recharge efficace de l’aquifère(I), bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite :	62
<b>CONCLUSION :</b>	64
<b>CHAPITRE V : ETUDE HYDROCHIMIQUE</b>	65
V.1) Etude physico-chimique des eaux souterraines de la nappe d’Hennaya :	65
V.1.1) Echantillonnage :	65
V.1.2) Laboratoire d’analyse :	66
V.1.3) Contrôle des résultats de l’analyse :	66
V.1.4) Normes de qualité :	71
V.1.5) Caractéristiques physico-chimiques et Interprétation des résultats d’analyse:	72
V.1.6) Caractérisation hydro-chimique des facies.	82
V.1.7) Classifications et caractéristiques de l’eau :	85

V.1.8) Origines de la minéralisation :.....	85
V.2) Etude de la qualité de l'eau souterraine de la nappe d'Hennaya pour l'irrigation :.....	87
V.2.1) Salinité :.....	88
V.2.2) Sodium :.....	88
V.2.3) Alcalinité et dureté.....	89
V.2.4) Classification et caractéristique de l'eau d'irrigation :.....	89
V.3) Analyse microbiologique de l'eau souterraine de la nappe d'Hennaya :.....	90
V.3.1) Echantillonnages :.....	91
V.3.2) Normes :.....	91
V.3.3) Laboratoire d'analyse :.....	91
V.3.4) Interprétation des analyses :.....	92
V.4) Etude physico-chimique des eaux souterraines de la nappe de Maghnia.....	94
V.4.1) Contrôle des résultats d'analyse:.....	94
V.4.2) Interprétation des résultats d'analyses :.....	96
V.4.3) Caractérisation hydro-chimique des facies :.....	102
V.4.4) Classification et caractéristique de l'eau :.....	104
V.5) Etude de la qualité de l'eau souterraine de Maghnia pour l'irrigation :.....	105
V.5.1) Sodium.....	105
V.5.2) Alcalinité et dureté :.....	106
V.5.3) Classification et caractéristique de l'eau d'irrigation :.....	106
V.6) Analyse du sol au niveau du périmètre irrigué d'Hennaya :.....	108
V.6.1) Echantillonnage et laboratoire d'analyse :.....	109
V.6.2) Normes :.....	109
V.6.3) Interprétation des résultats d'analyse du sol :.....	109
<b>CONCLUSION :</b> .....	<b>110</b>
<b>CHAPITRE VI: ACTIVITE AGRICOLE, REGLEMENTATION ET VULNERABILITE</b> .....	<b>111</b>
VI.1) Activité agricole :.....	111
VI.1.1)Irrigation avec les eaux usées:.....	111
VI.1.2)Irrigation avec les eaux épurées :.....	114
VI.1.3)Rejets d'élevage :.....	114
VI.1.4)Agriculture Intensive :.....	116
VI.2) Aspect réglementaire :.....	118
VI.3) Evaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines de la nappe d'Hennaya :.....	121
VI.3.1) Généralités :.....	122
VI.3.2) Critères de vulnérabilité :.....	123

VI.3.3) Application de la méthode GOD pour la plaine d'Hennaya : .....	124
VI.3.4) Validité des cartes de vulnérabilité : .....	130
<b>CONCLUSION</b> : .....	131
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	132
<b>Bibliographie</b> .....	136

## INTRODUCTION GENERALE

Disposer d'eau de qualité en quantité suffisante est l'un des enjeux majeurs du 21<sup>ème</sup> siècle. En effet, la population mondiale des prochaines décennies sera confrontée à des difficultés graves pour l'approvisionnement en eau potable. De ce fait, l'évitement de cette prochaine aporie est lié à la gestion actuelle de l'eau notamment du point de vue de la consommation et de la protection contre la pollution.

Face à ce déficit, l'Algérie a mis en place une nouvelle politique de mobilisation et de gestion des ressources en eau, au cours des dernières années. L'état a entrepris un plan d'action consistant à réaliser de nouveaux barrages et des stations de dessalement de l'eau de mer. Il a également opté pour les transferts d'eaux souterraines de Sahara ainsi que la préservation de la qualité de l'eau et de l'environnement en réhabilitant et réalisant des stations d'épuration.

En somme, la gestion durable des ressources en eau, le développement de l'irrigation ainsi que la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture sont actuellement les mesures principales de la nouvelle politique adoptée par le ministère des ressources en eau.

Dans ce contexte, l'eau souterraine en Algérie constitue l'une des sources d'approvisionnement en eau pour l'irrigation et la consommation humaine. Et ce, malgré les risques de contamination qui sont liés aux activités anthropiques mais également à la vulnérabilité des nappes à la pollution.

Notre travail consiste à présenter une étude détaillée d'une de ces nappes d'approvisionnement. Il s'agit principalement de la nappe d'Hennaya.

Actuellement, le périmètre équipé de 912 Ha de la plaine d'Hennaya irriguée à partir de la station d'épuration d'Ain el Houtz, est compté parmi les projets pilotes à travers le territoire national concernant l'irrigation avec les eaux usées épurées. Dans ce contexte, deux conventions ont été établies entre d'une part l'**I.N.S.I.D** (Institut National du Sol d'Irrigation et de Drainage) d'Alger, et l'**A.C.S.A.D** (Centre Arabe pour l'Etude des Zones Sèches et des Terres Arides) et entre l'**I.N.S.I.D** et le département d'hydraulique de l'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen. Ce projet d'une durée de quatre ans



traite l'impact de l'utilisation des eaux usées épurées sur la qualité des eaux souterraines de la nappe d'Hennaya et les cultures céréalières.

C'est dans cette même optique que nous allons conduire notre recherche en plaçant le regard tant sur la nappe d'Hennaya que sur le bassin versant, l'aquifère et les points d'eau. Notre objectif final sera de réaliser une étude minutieuse de la vulnérabilité de l'eau.

Dans le souci de mener une recherche plus étendue, notre intérêt sera porté, en plus de la nappe d'Hennaya, à la nappe de Maghnia pour une interprétation des analyses physico-chimiques de l'eau de quelques points d'eau et un diagnostic régional de la pollution par rapport aux activités agricoles.

Suite à nos collectes de données, les travaux de l'étude se sont effectués par l'utilisation des systèmes d'information géographiques S.I.G et notamment le logiciel ARCGIS 10.

Nous avons donné six directions à notre réflexion en commençant par une présentation générale du bassin versant de Tafna faisant l'objet du premier chapitre. Cette présentation donnera suite à une étude morphologique, hydrologique et climatologique du sous-bassin versant de Sikkak. Etude qui s'étendra au second chapitre de notre travail.

Dans le troisième chapitre, nous passerons à l'étude géologique de l'aquifère d'Hennaya.

Le quatrième chapitre sera consacré à l'hydrogéologie avec l'inventaire des points d'eau, suivi piézométrique de la nappe d'Hennaya et la caractérisation en 3D de l'aquifère ainsi que les paramètres hydrodynamique.

Le cinquième chapitre exposera les analyses physico-chimiques et microbiologiques des points d'eau d'Hennaya ainsi que les analyses physico-chimiques des eaux de forages de Maghnia.

Enfin le sixième chapitre visera en premier lieu la présentation des foyers potentiels de pollution. En deuxième lieu, il concernera l'étude de la vulnérabilité intrinsèque de la nappe d'Hennaya par le biais de la méthode d'évaluation G.O.D.

Notre objectif final étant de déceler une pollution d'origine agricole à travers la Tafna ainsi que l'étude de la vulnérabilité intrinsèque de la nappe d'Hennaya.

# CHAPITRE I

## GENERALITES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA TAFNA

Le bassin versant de Tafna situé au Nord Ouest du territoire algérien, s'étend en grande partie dans la Wilaya de Tlemcen recoupant 37 communes (fig 1et4) et une partie du pays Marocain pour une superficie totale de 7245 Km<sup>2</sup> .Il porte le code 16 parmi les 17 bassins de l'Algérie et appartient à la région hydrographique Oranie –Chott Chergui.

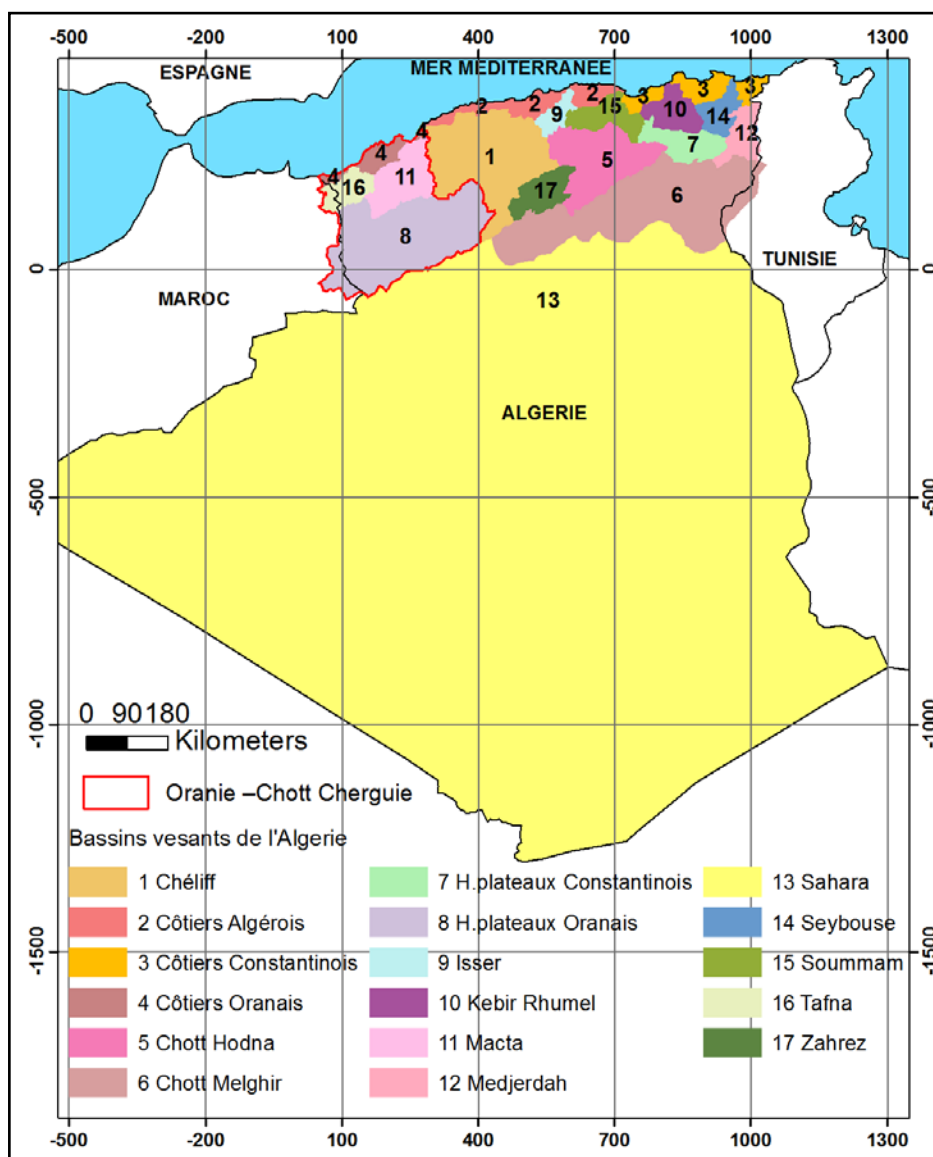


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude.

### I.1) Délimitation du bassin :

Le bassin versant de la Tafna est délimité comme suit (fig 2 et 4) :

- Au nord-ouest :les communes Bab el Assa, Djebala, Nedroma, Beni khelad et honaine.
- Au nord : la mer Méditerranée.
- Nord- est : Wilaya Ain Témouchent.
- Au sud : Les 04 communes steppiques (Bouihi, El Gor, sidi Djillali, El Aricha).
- A l'ouest : le Maroc.
- A l'est : wilaya de Sidi Bel Abbes, commune d' Ain Tellout.

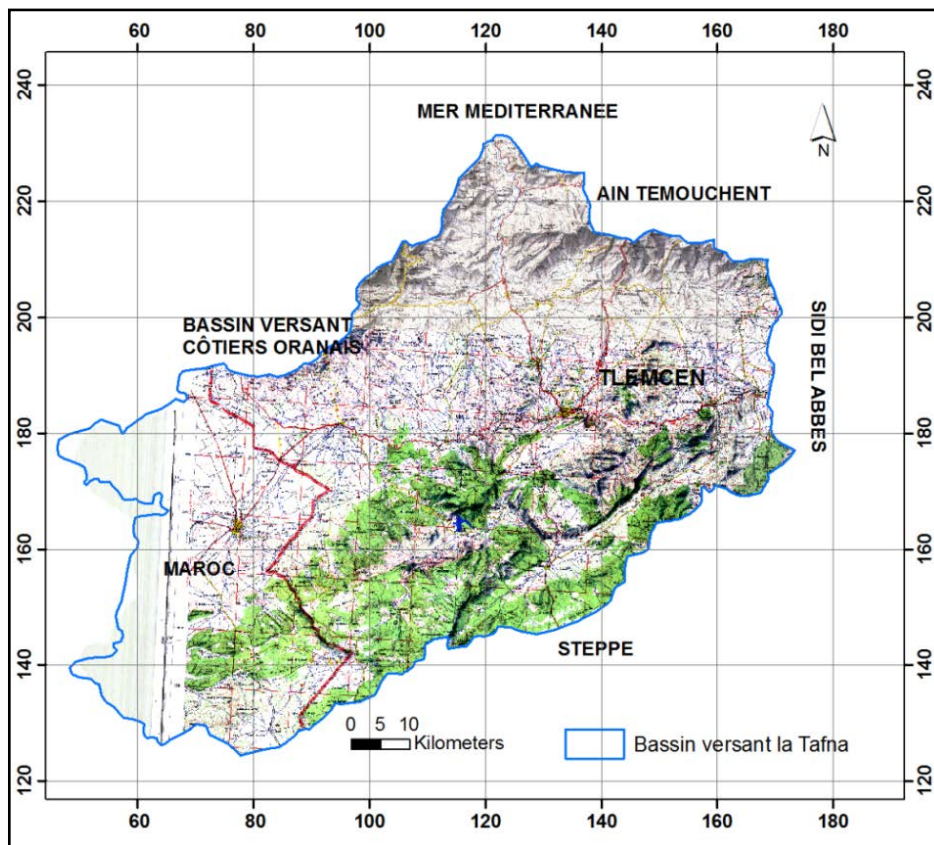


Figure 2 : Délimitation du bassin versant de la Tafna.

### I.2) Les sous- bassins :

Le bassin de la Tafna est constitué de 08 sous bassins, dont deux se trouvent en amont dans le territoire marocain (fig 3).

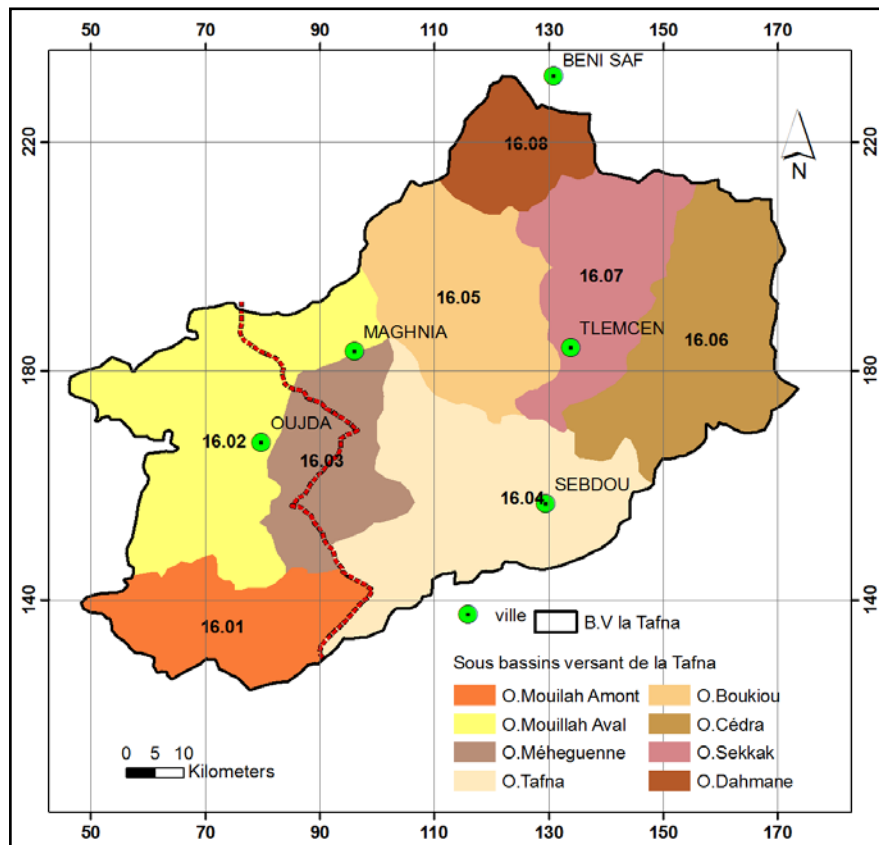


Figure 3 : Sous-bassins de la Tafna

### I.3) Géographie du bassin :

Le bassin versant de Tafna est diversifié dans sa géographie. On distingue les domaines suivants pour la partie située dans la wilaya de Tlemcen (fig 4) :

- **Les monts des Traras** : C'est une chaîne montagneuse côtière de 1250 Km<sup>2</sup> située au Nord-Ouest de la Wilaya de Tlemcen. Son altitude moyenne varie de 500 à 1000 m, culminant à 1081 m au niveau de djebel Fillaoucene.
- **Les monts de Sebaa Chioukh** : C'est une chaîne montagneuse de 250 Km<sup>2</sup> situé au Nord-est de la Wilaya de Tlemcen d'une altitude moyenne comprise entre 600 et 800 m. Cette chaîne est soumise aux influences du climat semi aride qui accentue la menace d'érosion.
- **Les monts de Tlemcen** : C'est une chaîne montagneuse de 3000 Km<sup>2</sup> située au sud de la Wilaya de Tlemcen. Elle s'étend à l'ouest jusqu'au royaume marocain et à l'est jusqu'à la Wilaya de Sidi Bel Abbes. Son altitude moyenne varie entre 1200 et 1500 m culminant à 1843 m à Djebel Tenouchfi. Elle est relativement bien arrosée avec des précipitations variant de 500 à 700 mm/an.

➤ **Les plaines et plateaux intérieurs** : qui se situent au centre du bassin versant de la Tafna entre les zones montagneuses. Ils constituent la ressource agricole la plus importante de la région. On distingue :

- La plaine d’Hennaya limitée au sud par les piémonts nord des monts de Tlemcen et au nord par le plateau de Zenata.
- Le plateau de Zenata – Ouled Riah situé au nord ouest de la plaine d’Hennaya.
- Le plateau Sidi Abdelli- Ain Nehala situé sur la rive droite de l’oued Isser au Nord d’Ouled mimoun.

➤ **La plaine de Maghnia** : limitée au nord par les piémonts sud des Traras, au sud par les piémonts nord des monts de Tlemcen et à l’ouest par la plaine Angad (Maroc).

➤ **Le grand Tlemcen** : regroupe les communes de Tlemcen, Mansourah, Chetouane où l’urbanisation occupe un espace important avec une forte concentration de population.

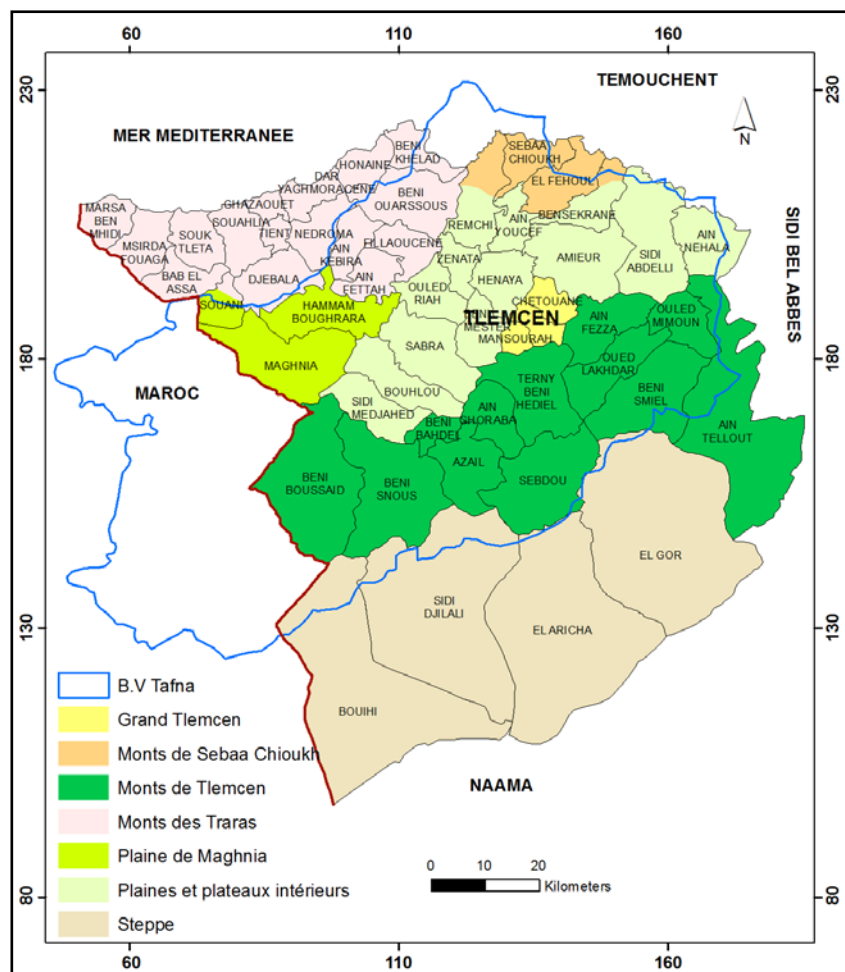


Figure 4 : Cadre géographique du bassin de la Tafna.

#### I.4) Hydrographie :

Le réseau hydrographique de la Tafna est constitué par un ensemble important d'oued et de chaâbat qui déversent tous dans l'oued Tafna (fig 5), soit directement ou par intermédiaire de l'un de ses affluents. Les plus importants sont les oueds Isser, Mouillah, Sikkak, Boumassaoud, Khemis, Boukiou, Dahmane et Chiha. L'oued Tafna mesure 170 Km long et subdivisé en trois parties :

- La haute Tafna : L'oued prend naissance dans Ouled ouriach jusqu'à Sidi Medjahed.
- La moyenne Tafna : à partir de Sidi Medjahed jusqu'aux gorges de Tahouart vers le village de Hadjeret El-gat.
- La basse Tafna : à partir des gorges de Tahouart jusqu'à la mer de Rachgoun.

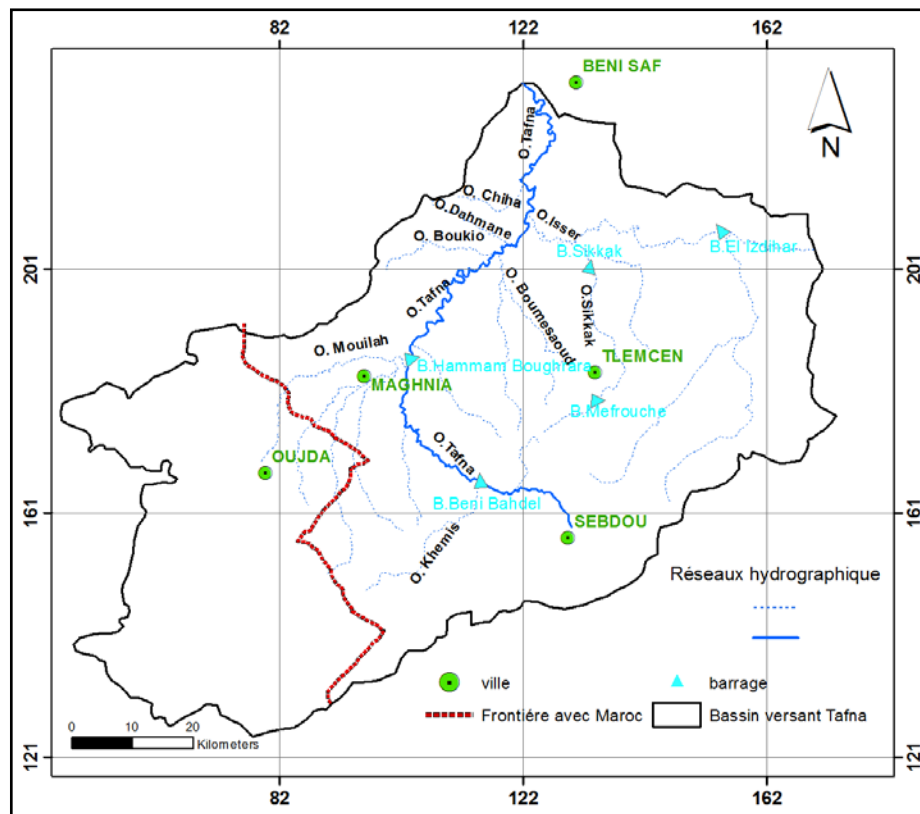


Figure 5 : Réseau hydrographique.

#### I.5) Aspect Géologique :

Les principales formations géologiques du bassin sont (fig 6) :

- Au Nord : Les massifs montagneux des Traras constitués de formations jurassiques composées essentiellement de calcaire, de marne et de calcaire marneux qui se prolongent sous les assises marneuses du miocène.
- Au centre : de fortes accumulations de formations alluviales anciennes recouvertes de dépôts alluviaux marins d'âge miocène supérieur et inférieur et des dépôts lacustres d'âge plus récent. Les formations alluviales récentes sont localisées tout au long des vallées et en particulier dans la basse Tafna.
- Au Sud : Les massifs calcaires des monts de Tlemcen sont constitués de terrains jurassiques carbonatés et dolomitiques qui présentent une karstification importante permettant l'infiltration des eaux pluviales. Cette eau karstique refait surface à travers un nombre élevé de sources.

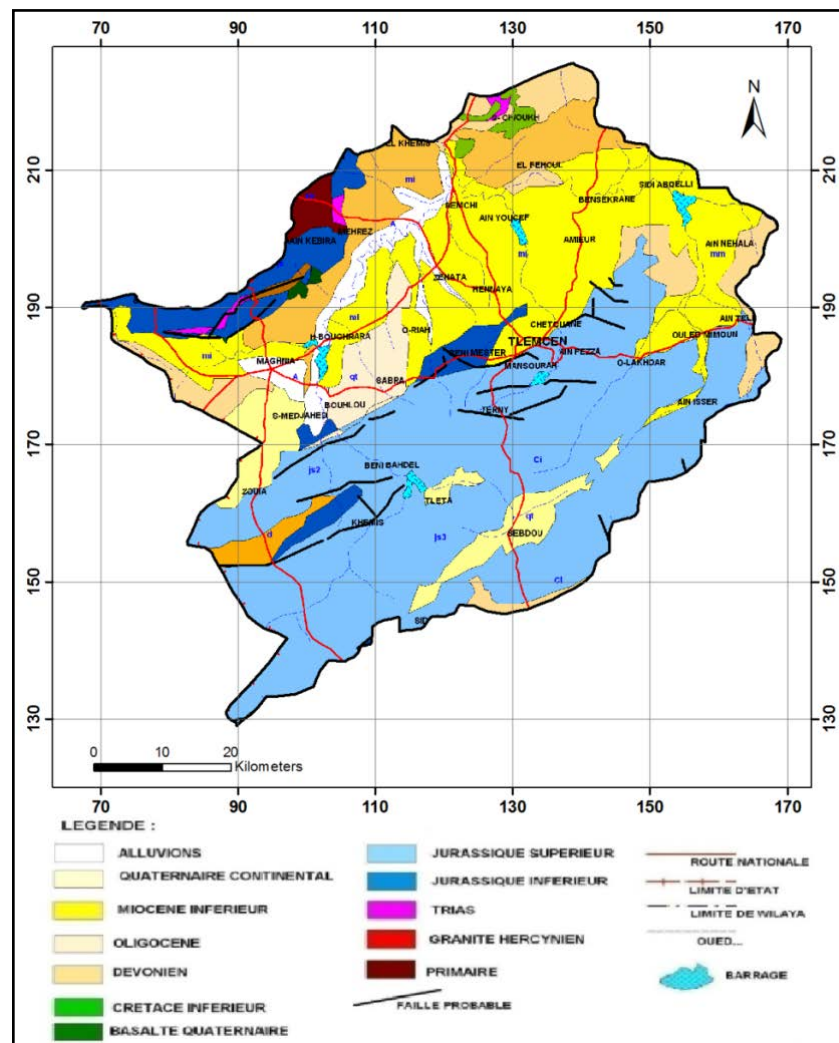


Figure 6 : Extrait de la carte géologique du nord d'Algérie 1/ 500 000  
(A.S.P.E.W.I.T, 2010)



### **I.6) Pédologie :**

Les sols du bassin de Tafna sont composés de quatre grands ensembles (Bouanani, 2004).

- 1- Les terres d'alluvions qui recouvrent les basses terrasses et les lits majeurs des oueds.
- 2- Les terres caillouteuses aux piémonts des monts de Tlemcen et des Traras.
- 3- Les terres rouges à encroûtement localisées dans les plaines de Maghnia et Ouled Riah.
- 4- Les terres marneuses, couvrant une grande partie de la région de Tlemcen.

### **I.7) Occupation agricole :**

L'occupation du sol agricole pour les communes situées dans le bassin versant est représentée dans le tableau 1. On peut dire que Maghnia et Hennaya connaissent une activité agricole intense par rapport aux autres communes situées dans le bassin versant. D'où l'intérêt que porte cette étude pour ces deux régions.

Tableau 1 : Tableau d'occupation du sol agricole Campagne 2011 (DSA, 2012).

COMMUNES	TERRES LABOURABLES		TERRES DES CULTURES PERMANENTES		PARCOURS ET PACAGES y compris les terres non défrichées et les broussailles	TERRES IMPRODUCTIVES
	CULTURES HERBACEES	TERRES AU REPOS	VIGNOBLES	PLANTATIONS D'ARBRES FRUITIERES		
	(Ha)	(Ha)	(Ha)	(Ha)		
	1	2	4	5	7	8
TLEMCEN	498	394	36	230	14	1
MANSOURAH	451	768	0	350	43	0
B / MESTER	2928	0	16	360	409	239
TERNY- B .H	2256	978	0	335	6056	0
A / GHORABA	895	2071	0	423	4422	0
CHETOUANE	2131	222	190	557	400	0
AMIEUR	9132	4002	140	1223	2219	255
A / FEZZA	4044	1010	50	316	8630	331
O / MIMOUN	2677	2825	41	391	67	306
B./ SMIEL	2345	997	0	177	210	303
O./ LAKHDAR	936	732	0	293	1816	0
A./ NEHALA	4298	3059	527	485	128	116
BENSEKRANE	6514	2540	283	568	350	216
S./ ABDELLI	7667	8872	270	528	1500	1365
<b>HENNAYA</b>	<b>6807</b>	<b>720</b>	<b>468</b>	<b>1289</b>	<b>100</b>	<b>118</b>
ZENATA	3441	710	124	175	204	0
O./ RIAH	6149	988	45	157	691	40
REMCHI	4748	3152	20	898	251	729
A./ YOUCEF	2197	1228	112	481	256	113
B./ OUARSOUS	4510	3867	20	1780	1000	1694
EI-FEHOUL	4347	4344	402	330	1267	493
S./ CHIOUKH	2852	495	18	743	100	869
B./ KHELLAD	3165	2650	4	725	297	0
FILLAOUCENE	3936	1148	50	625	0	276
A./ FETTAH	2888	938	3	338	0	3062
A./ KEBIRA	744	0	0	156	1686	40
SOUANI	1217	1880	5	453	0	775
<b>MAGHNIA</b>	<b>9560</b>	<b>11406</b>	<b>143</b>	<b>1653</b>	<b>2606</b>	<b>1184</b>
H./ BOUGHRARA	4356	4870	9	267	5509	370
B./ BOUSSAID	2538	3207	17	757	1561	109
S./ MEDJAHED	1518	998	9	576	661	152
SABRA	3930	6145	388	1197	150	156
BOUHLOU	1075	1616	6	616	434	280
SEBDOU	5794	2859	0	781	8152	200
B./ SNOUS	1324	3161	9	254	2787	150
AZAIL	1120	890	9	432	2000	150
B./ BAHDEL	100	764	0	166	2331	100

### I.8) Les ressources en eau souterraines dans le bassin versant de Tafna :

Les principales nappes à travers le bassin versant de Tafna (Fig 7) se présentent comme suit :

- La nappe Karstique des monts de Tlemcen avec une capacité importante variant de 200 à 400 Mm<sup>3</sup> (Bensaoula, 2006).
- La nappe de Maghnia d'une superficie de 351 Km<sup>2</sup> et peu profonde.
- La nappe de Zriga où l'eau est légèrement saumâtre. Elle est par conséquent peu exploitée.
- La nappe d' Hennaya : d'une superficie d'environ 22,3 Km<sup>2</sup>, elle est peu profonde.
- La nappe de Sidi Senouci
- La nappe alluviale de Sebdou

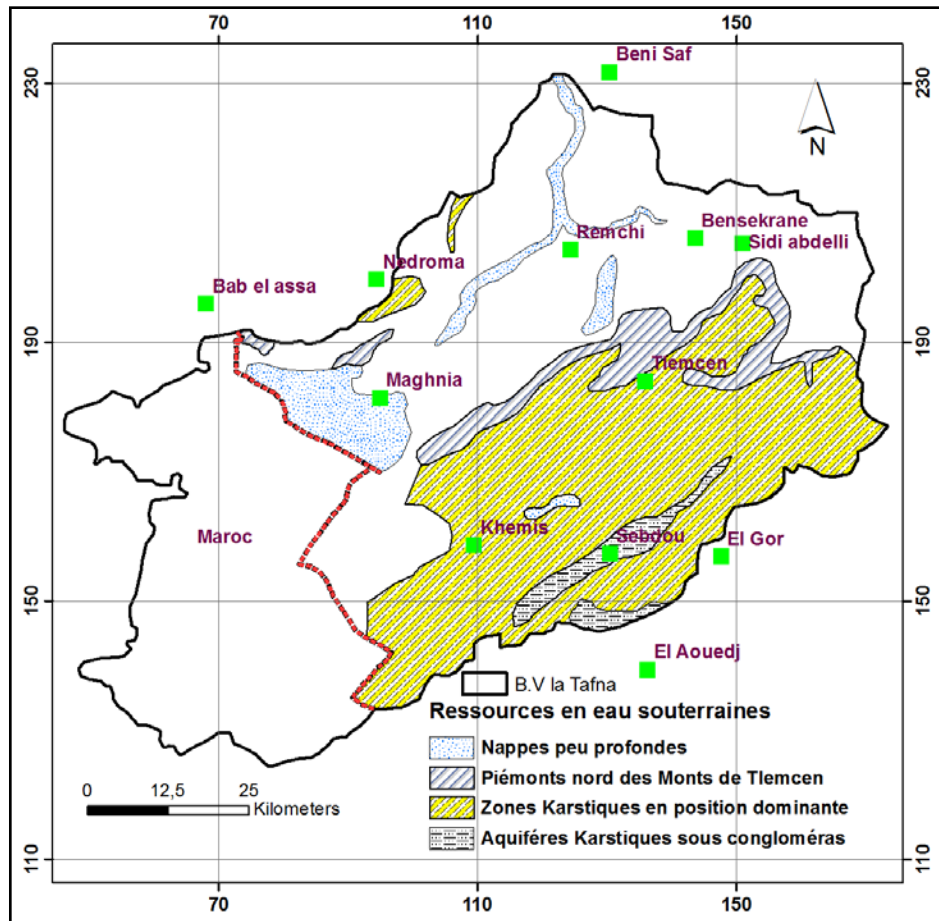


Figure 7 : Zones Aquifères d'après (collignon, 1984).

## I.9) Etude du sous- bassin versant de Sikkak :

La région d'étude de la plaine d'Hennaya est une partie intégrante du sous-bassin versant de Sikkak. Les principales caractéristiques de ce dernier constituent une base indispensable à la compréhension des mécanismes hydrologiques de la zone.

### I.9.1) Délimitation du B.V

La délimitation du bassin versant à été réalisé à l'aide du logiciel ArcGis permettant la modélisation du relief et de la surface de la zone d'étude tout en générant un modèle numérique du terrain (M.N.T) en effectuant les étapes suivante :

- La digitalisation et l'interpolation des courbes de niveaux des cartes topographiques 1/50.000 de Tlemcen, Pond d'Isser et Terny (fig 8).

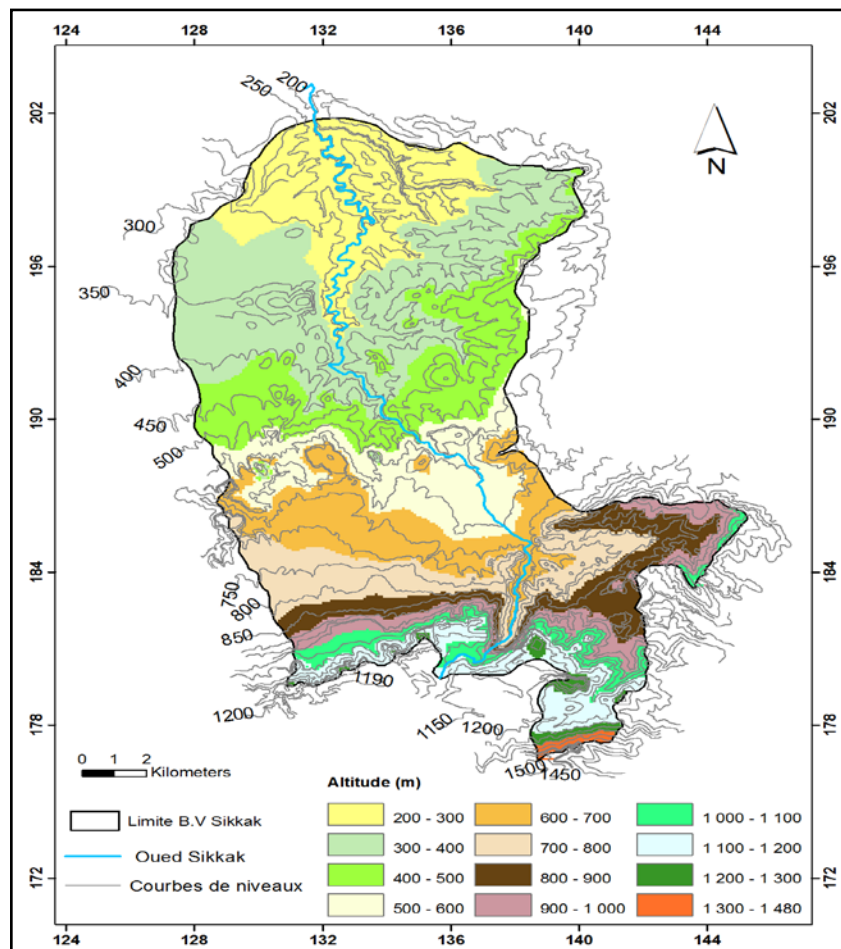


Figure 8 : Carte d'altitudes interpolées avec courbes de niveaux digitalisées.

- La création d'un T.I.N (Triangulated Irregular Network) à partir de la carte d'altitudes interpolées et visualiser notre modèle de terrain en 3D avec ArcScène qui est une application d'Arcgis (fig 9).

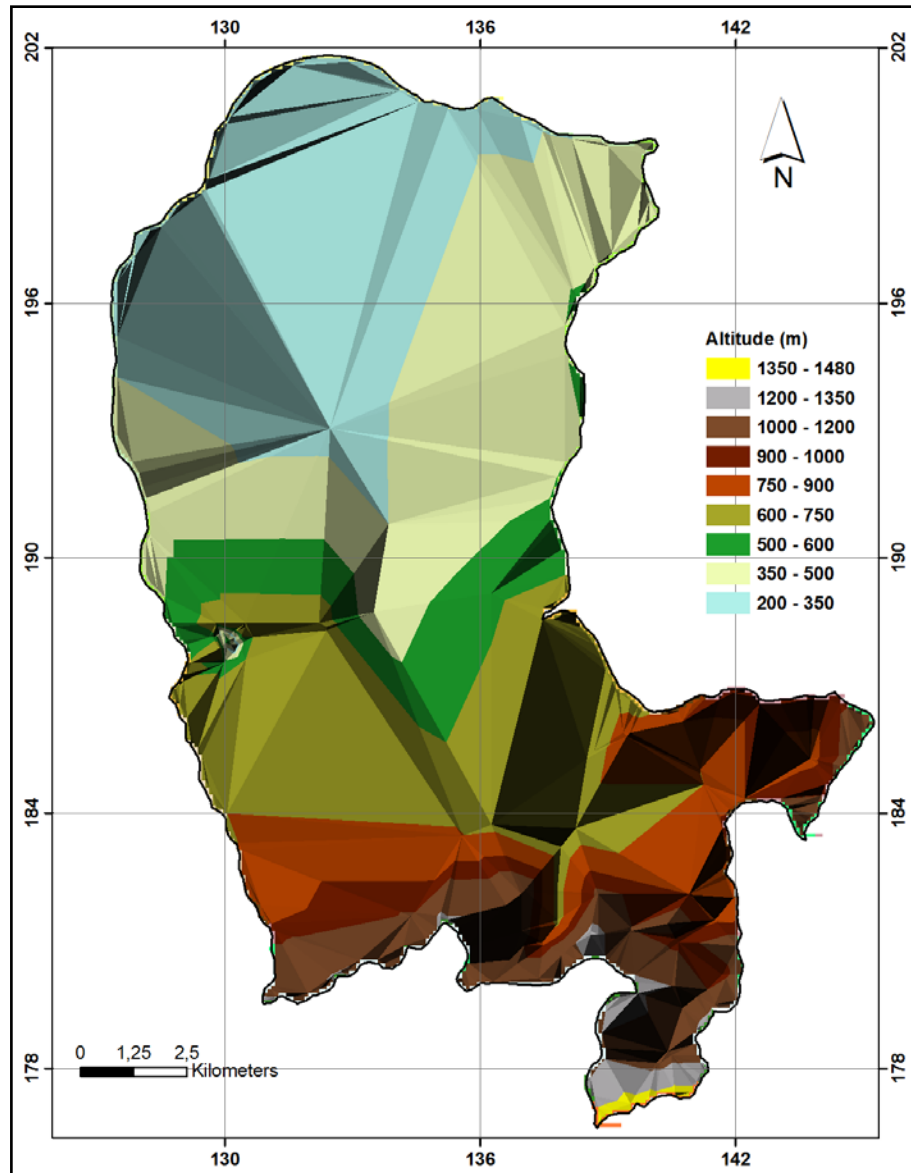


Figure 9 : Carte d'altitudes en T.I.N.

- Le Drapage de l'image satellite de la zone d'étude importée de Google Earth en 2D.ArcScene nous permet de représenter cette image en trois dimensions (fig 10).
- La délimitation du bassin en traçant la ligne de partage des eaux.

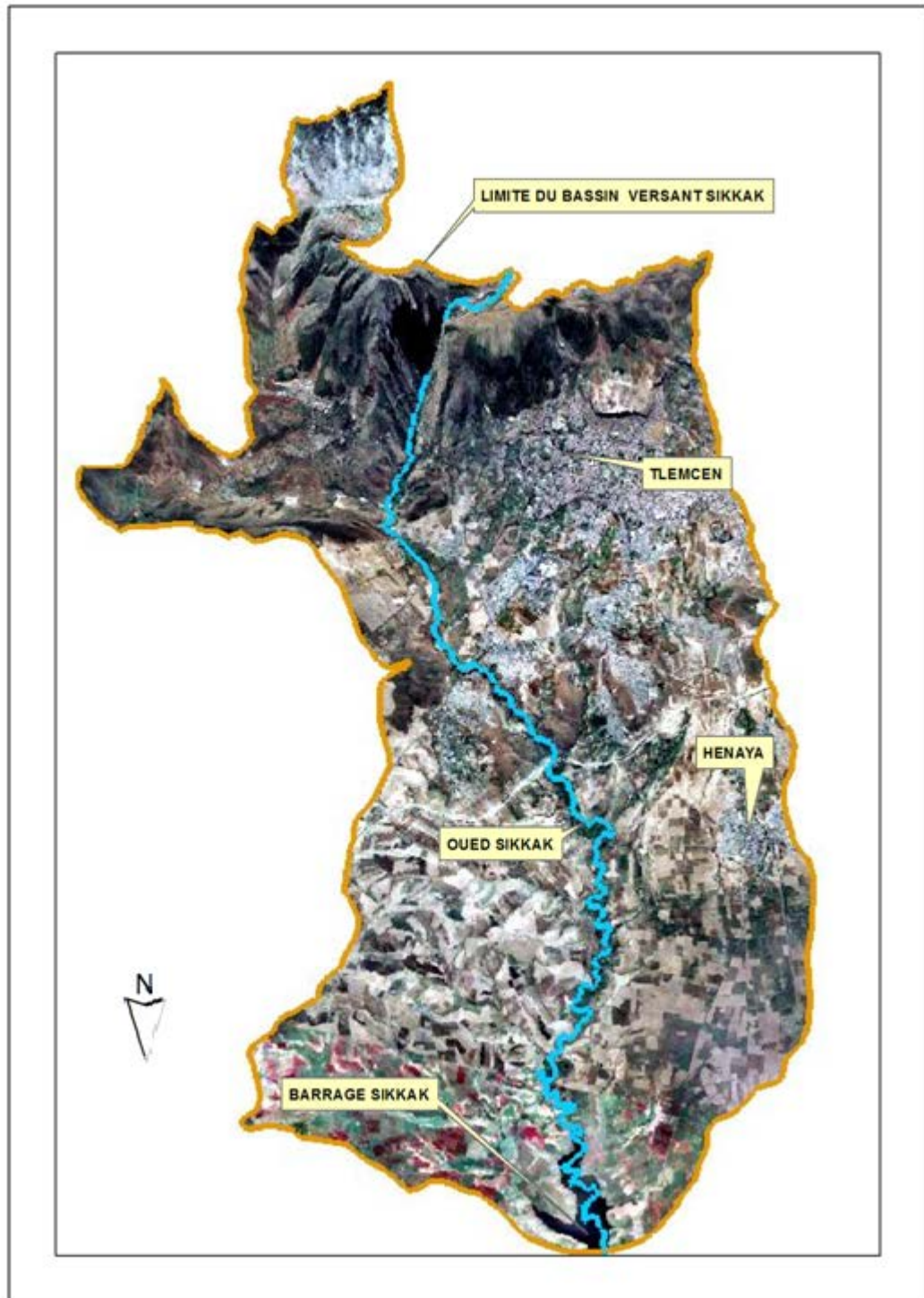


Figure 10 : Carte M.NT du bassin versant.

### **I.9.2) Situation géographique :**

Le bassin versant d'oued Sikkak est délimité comme suit :

- Au Sud : Djebel Nadour et Bouladour.

- A L'est : Djebel Ramlya, Ouakrif et Tabelaout .
- A L'Ouest : Djebel Tefatisset et plateau de Zenata.
- Au Nord : Djebel Touillait.

### **I.9.3) Caractéristique de la forme du bassin versant :**

Le bassin versant a une superficie de 241 Km<sup>2</sup> pour un périmètre de 91 Km. La forme du bassin versant conditionne le temps de réponse aux précipitations.

#### **I.9.3.1) Indice de capacité ou coefficient de gravelius :**

Le coefficient de gravelius  $K_C$  caractérisant la compacité permet de comparer la forme du bassin versant.

$$K_C = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 1,64$$

Où;

P : Périmètre (m)

A : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>)

Plus le coefficient se rapproche de la valeur **1**, plus la forme du bassin devient circulaire. La forte valeur indique un bassin allongé.

La valeur de l'indice de compacité permet de montrer que le bassin de l'oued Sekkak est moyennement allongé.

#### **I.9.3.2) Rectangle équivalent :**

Le rectangle équivalent est une représentation géométrique du bassin versant ayant le même périmètre et la même surface.

$$L = \sqrt{A} \frac{K_C}{1,128} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{K_C} \right)^2} \right] = 38,8 Km$$

### I.9.4) Morphologie des altitudes et pentes :

Les fréquences altimétriques sont présentées dans le *tableau 2* et par la courbe hypsométrique de la *figure 11*. Ces représentations montrent la distribution des tranches d'altitude dans notre bassin.

Tableau 2 : répartition altimétrique du bassin versant de Sikkak

Altitude (m)	Ai (km2)	Ai cumulés (km2)	Ai %	% Ai cumulés
1488-1400	0,22	0,22	0,09	0,09
1400-1300	0,83	1,05	0,34	0,44
1300-1200	1,07	2,12	0,44	0,88
1200-1100	13,31	15,44	5,53	6,41
1100-1000	7,84	23,28	3,25	9,66
1000-900	10,94	34,22	4,54	14,20
900-800	17,63	51,85	7,32	21,52
800-700	21,07	72,92	8,75	30,27
700-600	26,55	99,46	11,02	41,29
600-500	26,02	125,48	10,80	52,08
500-400	34,44	159,91	14,29	66,38
400-300	55,72	215,63	23,13	89,51
300-200	25,27	240,91	10,49	100

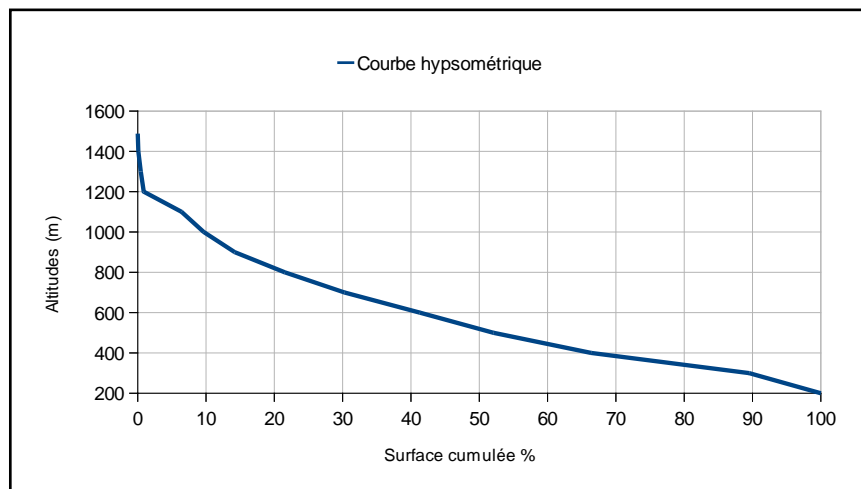


Figure 11 : courbe hypsométrique

#### I.9.4.1) Altitude moyenne et médiane :

Altitude médiane :  $H_{50\%} = 570\text{m}$  (fig 12)

$$H_{\text{moyenne}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i H_i}{A} = 632 \text{ m (tableau 2)}$$



#### **I.9.4.2) L'Indice de pente global :**

Etabli par M. Roche, l'indice de pente global est plus simple à calculer que l'indice de pente.

$$I_G = \frac{D}{L} = 22,7m / Km$$

Où ;

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 881m$$

L : Longueur du rectangle équivalent

D'après la Classification de l'O.R.S.T.O.N, le relief du bassin versant de Sikkak est assez fort :  $20m/Km < I_g < 35m/Km$

#### **I.9.4.3) Dénivelée spécifique (D<sub>S</sub>) :**

Le dénivelé spécifique d'oued Sikkak est classé relief de type très fort (Tableau 3).

$$D_S = I_G \cdot \sqrt{A} = 352,3m$$

Tableau 3 : Classification du relief de l'O.R.S.T.O.N

<b>Ds (m)</b>		
R7	Très fort	500-750
R6	Fort	250-500
R5	Assez fort	100-250
R4	Modéré	50-100
R3	Assez faible	25-50
R2	Faible	10-25
R1	Très faible	0-10

Le dénivelé spécifique d'oued Sikkak est classé relief de type très fort.

#### **I.9.5) Réseaux hydrographique :**

Les affluents les plus importants d'oued Sikkak sont les oueds Tasseddarine, Bou Rhorara, Sennoun et Chaâbat El Hora, El Ihoudi, Ain beida, tishert, Melah, Houad ben Rahou (fig 12).

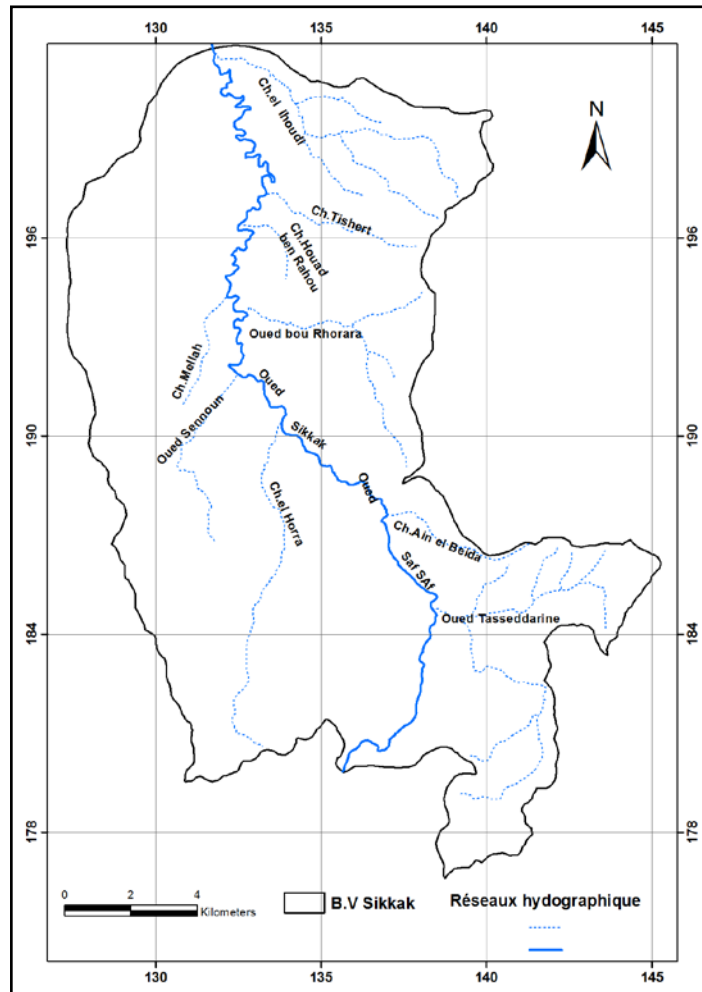


Figure 12 : Réseaux hydrographique d'oued Sikkak.

### I.9.5.1) Classification des tronçons des cours d'eau :

La classification la plus utilisée est celle de Strahler, (1957) qui se base sur les règles suivantes :

- Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre 1.
- Le cours d'eau formés par la confluence de deux cours d'eau d'ordres différents prend l'ordre le plus élevé des deux.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté de 1.

Nous obtenons donc les résultats suivants :

Tableau 4 : Classification des Talwegs (berrezoug, 2002)

Ordre	Nombre des cours d'eau n	Longueur cumulée Lx (Km)	Longueur cumulée Ln (Km)
1	820	226,5	0,276
2	139	129,5	0,649
3	50	100	2
4	13	44,5	3,42
5	1	28	28

### I.9.5.2) Profil en long :

L'Oued Sikkak présente des variations de pentes importantes (Fig 13). Une forte pente est observée dans les zones dont l'altitude est comprise entre 600 et 1100 m. Puis celle-ci devient beaucoup plus faible dans la plaine d'Hennaya.

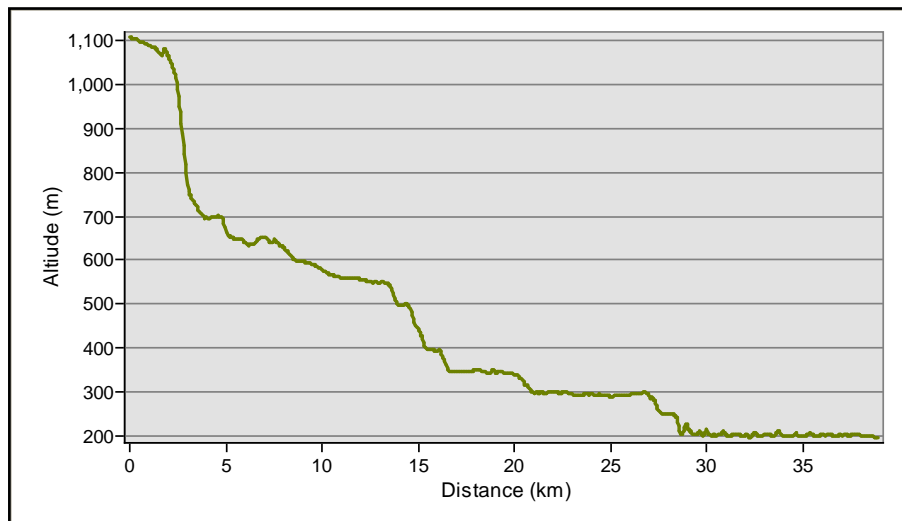


Figure 13 : Profil en long de l'Oued Sikkak

### I.9.5.3) Pente moyenne d'Oued Sikkak :

La pente moyenne du cours d'eau influence le débit. Une pente forte favorise l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente faible favorise l'infiltration.

$$P_{\text{moy}} = \frac{\Delta H}{L} = 23,2 \text{ m / Km}$$

Où ;

$\Delta H$  : Dénivellation de la rivière (m)

L : Longueur du cours d'eau principale (Km)

#### **I.9.5.4) Densité de drainage :**

La densité de drainage est définie comme étant le rapport de la longueur totale des cours d'eau  $L_x$  sur la surface du bassin versant.

$$D_d = \sum_{x=1}^n \frac{L_x}{A} = 2,19 \text{ Km/km}^2$$

Où ;

$L_x$  : Longueur totale de cours d'eau (Km)

$A$  : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>)

En pratique, les valeurs de densité de drainage varient de 3 à 4 pour des régions où l'écoulement n'atteint qu'un développement très limité et se trouve centralisé (Musy et Al, 1998).

#### **I.9.5.5) Coefficient de torrentialité :**

Plus le coefficient est élevé plus la torrentialité augmente traduisant ainsi une grande agressivité des averses.

$$C_t = D_d \cdot \frac{N_1}{A} = 7,45$$

Où ;

$D_d$ : Densité de drainage (Km/Km<sup>2</sup>)

$N_1$  : Nombre de cours d'eau d'ordre 1

$A$  : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>)

#### **I.9.5.6) Temps de concentration :**

Le temps de concentration est défini comme le temps nécessaire que met une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique du point le plus éloigné du bassin à l'exutoire.

$$T_C = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L_p}{0,8\sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}} = 4,2 \text{ heures} \quad (\text{Formule de GIANDOTTI})$$

Où ;

$T_C$  : En heures

$L_p$  : Longueur du cours d'eau principal (Km)

$H_{moy}$  : Altitude moyenne du bassin versant (m)

$H_{min}$  : Altitude minimum du bassin versant (m)

#### **I.9.5.7) Vitesse de concentration :**

Elle est définie comme étant la vitesse moyenne de propagation d'une crue.

$$V_C = \frac{L_P}{T_C} = 9,38 \text{ Km/h}$$

#### **I.9.5.8) Rapport de confluence :**

$$R_C = \frac{N_n}{N_{(n+1)}}$$

$N_n$  : Nombre de cours d'eau d'ordre n

Tableau 5 : Rapport de confluence.

Ordre	Rapport de confluence
1	4,12
2	3,98
3	3,84
4	13

Le  $R_c$  varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence (Strahler, 1964).

Tableau 6 : Caractéristiques du bassin versant Sikkak.

Caractéristiques	Symboles	Unités	Valeurs
Surface	A	Km <sup>2</sup>	241
Périmètre	P	Km <sup>2</sup>	91
Altitude Max	H <sub>Max</sub>	m	1488
Altitude Minimale	H <sub>Min</sub>	m	200
Altitude Moyenne	H <sub>Moy</sub>	m	632
H <sub>5%</sub>	H <sub>5%</sub>	m	1181
H <sub>95%</sub>	H <sub>95%</sub>	m	300
Indice de compacité	K <sub>C</sub>	-	1,64
Longueur rectangle équivalent	L	Km	38,8
Largeur rectangle équivalent	l	Km	6,21
Indice de pente globale	I <sub>G</sub>	m/Km	22,7
Altitude médiane	H <sub>50%</sub>	m	570
Dénivelée spécifique	D <sub>S</sub>	m	352,3
Longueur cours d'eau principale	L <sub>p</sub>	Km	39,43
Pente moyenne d'Oued Sikkak	P <sub>moy</sub>	m/Km	23,2
Densité de drainage	D <sub>d</sub>	Km/Km <sup>2</sup>	2,19
Coefficient de torrentialité	C <sub>t</sub>	-	7,45
Temps de concentration	T <sub>C</sub>	Heures	4,2
Vitesse de concentration	V <sub>C</sub>	Km/Heures	9,38
Rapport de confluence	R <sub>C</sub>	-	6,23

### CONCLUSION :

Les plaines de Maghnia et Hennaya sont des zones agricoles hautement potentielles par rapport aux autres régions dans le bassin versant de Tafna. L'aquifère d'Hennaya est situé dans le sous bassin de Sikkak, ce dernier d'une superficie de 241 km<sup>2</sup>, est de forme moyennement allongée. La distribution des altitudes montre que la majeure partie de ce bassin, soit 79% de la surface, est située entre les cotes 200 et 700m. Le réseau hydrographique de ce bassin versant est très limité avec une densité de drainage Dd=2,19km/km<sup>2</sup>. Le relief de type très fort favorise le phénomène d'érosion.

## CHAPITRE II

### ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE DU SOUS BASSIN VERSANT DE SIKKAK.

#### II.1) Pluviométrie :

L'analyse de la variabilité des précipitations est réalisée sur la base des données de 07 postes d'observation (Tableau 7) selon leurs situations géographiques et les besoins de l'étude. Toutes ces stations sont gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Tableau 7: Caractéristiques des stations Pluviométriques

Code	Nom	X Lambert (m)	Y Lambert (m)	Altitude	Période d'observation
160403	Beni Bahdel	115	164,6	666	1971-2010
160610	Sidi Bounekhla	158,5	200,4	976	1974-2010
160516	Hennaya	126,8	188,2	515	1974-2010
160701	Mefrouche	135,6	180,2	1100	1971-2010
160705	Lala Setti	133,9	181,8	1007	1973-2010
160802	Pierre du chat	122,4	213,2	50	1971-2010
160601	Chouly	151,8	181,2	725	1971-2010

#### II.1.1) Homogénéisation des données par la méthode des « doubles-cumuls » :

Dans une même zone climatique, les totaux annuels sont pseudo-proportionnels. On peut vérifier l'homogénéité des séries par la méthode des « doubles-cumuls ». Le principe consiste à effectuer la vérification des proportionnalités des valeurs mesurées à deux stations. Nous traçons un graphe des quantités en abscisse  $X(t) = \sum_{i=0}^t \chi(i)$  (Valeurs cumulées de station de référence supposée correcte) et en ordonnée  $Y(t) = \sum_{i=0}^t y(i)$  (Valeurs cumulées de la station à contrôler). Si les points forment une ligne droite, on peut conclure que les séries sont homogènes. Dans le cas contraire, on a des segments de droite de pentes différentes  $m_1$  et  $m_2$ . On effectue alors des modifications en multipliant les valeurs par le rapport  $m = (m_1/m_2$  ou  $m_2/m_1)$ . C'est La station pluviométrique de Beni Bahdel qui a été choisie comme station de référence. Ses données s'étalent sur une longue période (1971-2010).

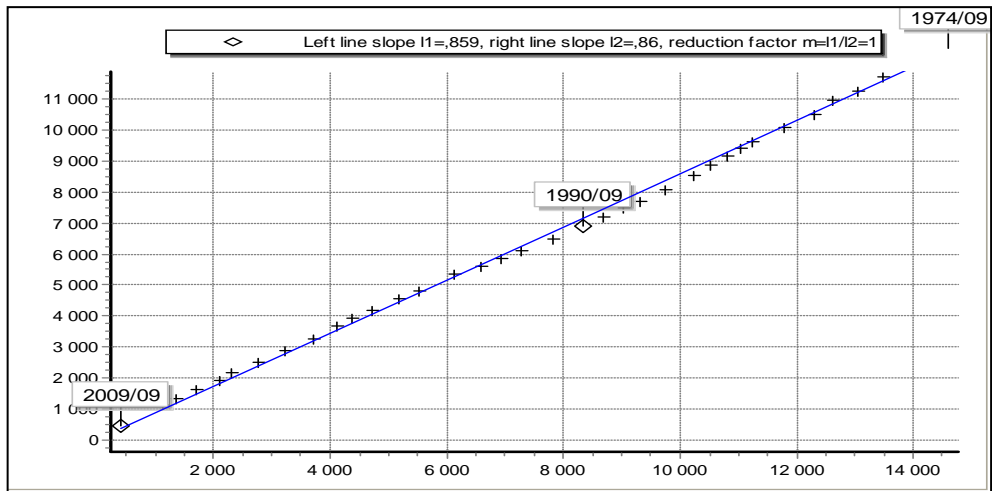


Figure 14 : Homogénéisation de la station Sidi Bounekhla

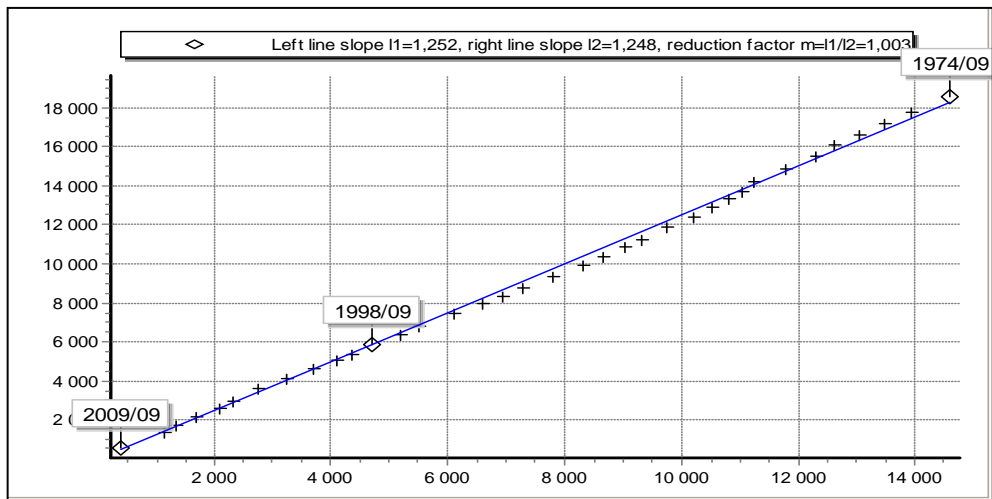


Figure 15 : Homogénéisation de la station de Lala Setti.

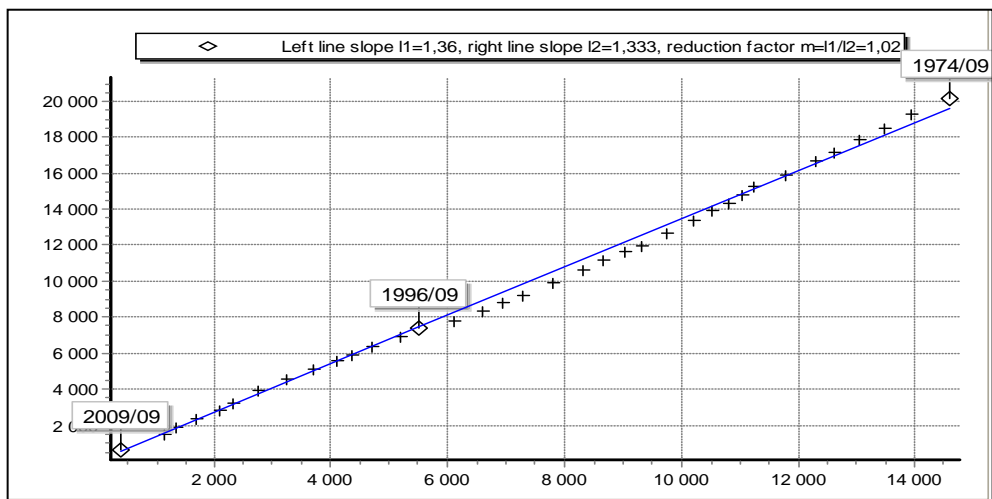


Figure 16 : Homogénéisation de la station Mefrouche



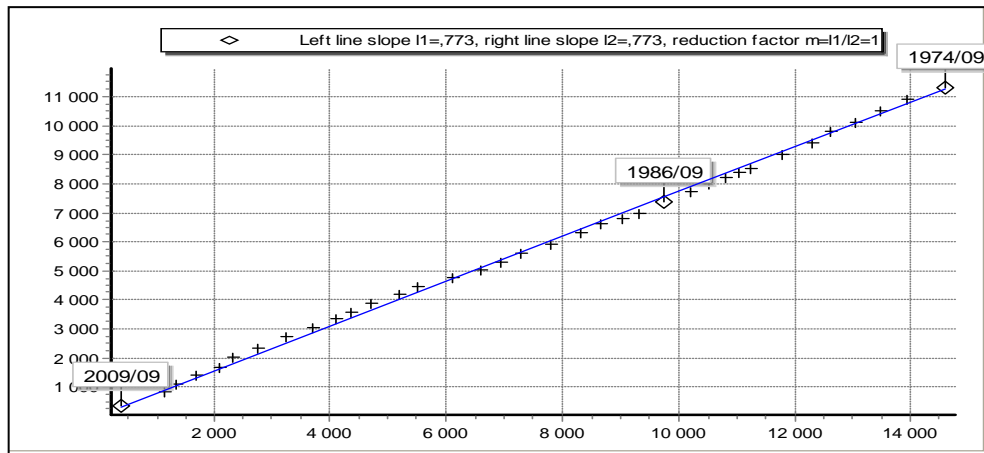


Figure 17 : Homogénéisation de la station Pierre du chat

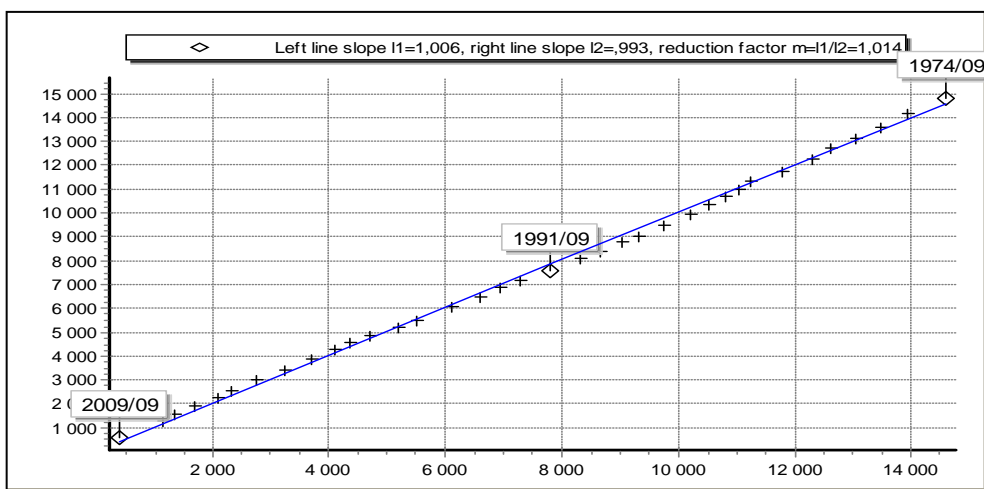


Figure 18 : Homogénéisation de la station Chouly

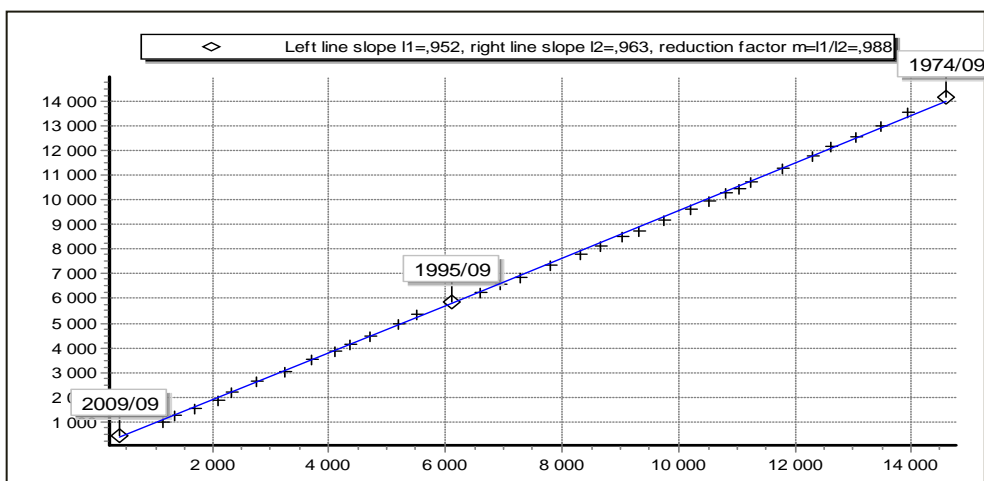


Figure 19 : Homogénéisation de la station Hennaya

D'après l'analyse des graphes (fig 14, 15, 16, 17, 18 et 19) on n'observe pas un changement de pente ou de valeurs très écartées des données. On peut conclure que toutes les stations sont homogènes.

### II.1.2) Période de base des observations :

Pour le calcul des précipitations moyennes annuelles, il est nécessaire si possible de choisir une période unique pour toutes les stations afin d'éviter les variations périodique sèche et humide. En se référant au graphique à barre (fig 20) qui constitue un outil d'aide à la décision, la période optimale est de 1974-2010.

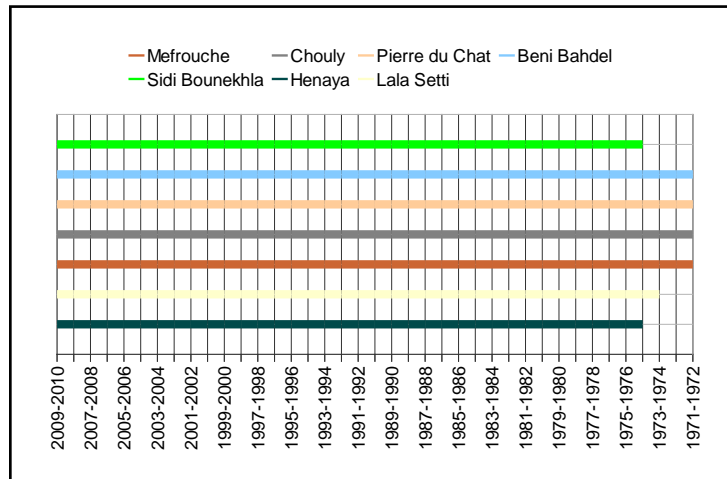


Figure 20 : Graphe représentant les périodes d'observation

### II.1.3) Précipitations annuelles :

A l'échelle du bassin, les stations (Meffrouche, Lala setti, Hennaya) ont été choisies pour servir de base de comparaison (fig 21).

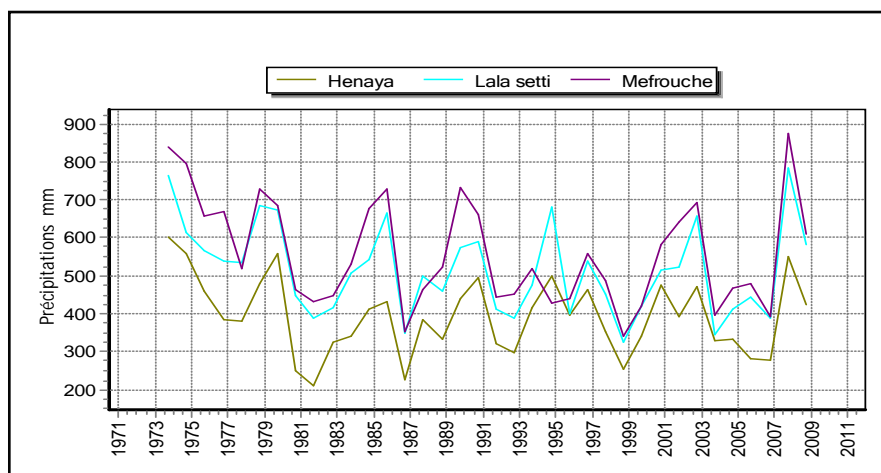


Figure 21 : Variations annuelles des précipitations

On remarque que la hauteur de pluie augmente avec l'altitude et un pic est observé au niveau de la station Mefrouche pour l'année 2008-2009.

Tableau 8 : Paramètres des séries pluviométriques annuelles

Stations	Maximum	Minimum	Moyenne annuelle	Ecart type $\sigma$	Coef Var CV
Mefrouche	875,70	342,40	559,29	141,63	0,49
Lala setti	781,60	325,70	515,29	119,47	0,46
Hennaya	602,20	209,20	393,13	99,45	0,16

La moyenne annuelle au niveau de la station d'Hennaya est faible par rapport aux deux autres stations et le coefficient de variation varie de 0,16 à 0,49 (tableau 8). Ce qui implique une variabilité assez faible dans l'ensemble, par rapport à la variabilité des précipitations mensuelles (tableau 9).

Tableau 9: moy, Ecart type, Coef variation des séries pluviométriques mensuelles

STATIONS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>HENNAYA</b>												
Moyenne	19,16	29,25	54,19	45,41	47,66	50,95	50,91	47,39	37,81	5,74	2,11	3,94
Ecart type $\sigma$	18,46	24,51	34,68	39,53	38,80	36,14	48,69	54,05	32,44	9,33	4,88	6,39
Coef Var CV	1,61	0,83	0,66	2,11	0,77	0,81	1,35	2,71	0,80	3,38	3,84	2,14
<b>LALA SETTI</b>												
Moyenne	22,31	41,16	66,87	60,78	62,18	65,68	74,15	59,67	50,90	8,69	3,30	4,64
Ecart type $\sigma$	20,04	33,80	35,45	47,83	49,90	49,44	75,01	51,03	39,80	12,40	9,71	7,62
Coef Var CV	1,25	0,65	-0,05	1,62	0,69	1,30	1,54	2,27	0,51	2,47	5,45	2,09
<b>MEFROUCHE</b>												
Moyenne	21,54	40,71	71,35	67,85	73,68	75,41	93,25	63,92	51,43	7,94	3,34	4,67
Ecart type $\sigma$	19,35	31,92	44,70	54,02	61,35	56,32	93,50	52,83	44,69	10,82	10,17	8,24
Coef Var CV	1,34	0,44	0,51	1,33	0,85	1,09	1,47	1,95	0,91	2,75	5,54	2,86

### II.1.3.1) Répartition spatiale des précipitations annuelles :

La figure 22 représente la moyenne arithmétique des 07 postes d'observations.

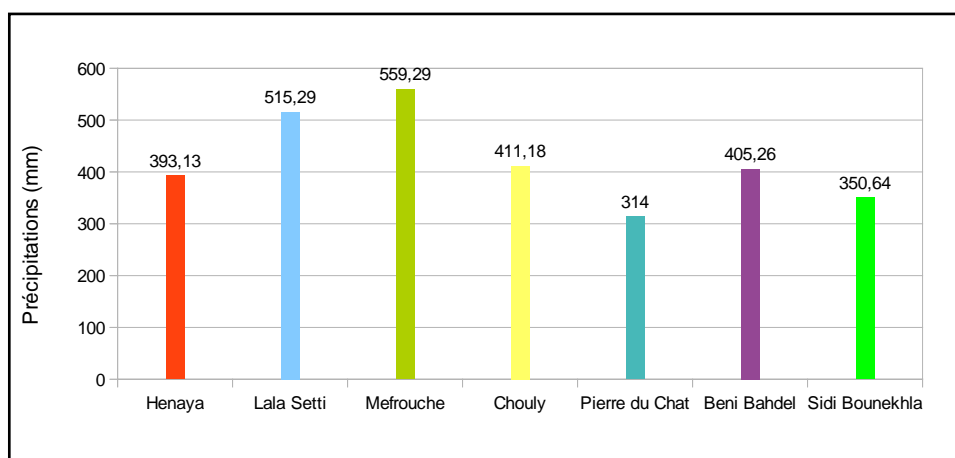


Figure 22 : Précipitations moyennes des différentes stations.

### II.1.3.2) Evaluation de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant

#### a) Méthode de la moyenne arithmétique (fig 22)

$$P \text{ moyenne} = \sum P_i / n = 421,3 \text{ mm}$$

#### b) Méthode des isohyètes :

Cette méthode donne d'excellents résultats sur la base des superficies comprises entre les courbes d'isovaleurs des modules pluviométriques (fig 23).

$$P \text{ moyenne} = \sum P_i A_i / A$$

Où ;

$A_i$  : Superficies comprises entre deux isohyètes (Km<sup>2</sup>)

$P_i$  : Pluviométrie inter isohyètes (mm)

$A$  : Surface totale du bassin versant (Km<sup>2</sup>)

Tableau 10 : Estimation de la lame d'eau moyenne précipitée

Isohyètes (mm)	P moyennes (mm)	Surface (Km2)	Pi*Ai
430,27-450	440,135	1,06	466,54
546,59-540	543,295	0,85	461,80
540-495	517,5	21,6	11178
495-450	472,5	48,66	22991,85
450-405	427,5	60,36	25803,9
405-360	382,5	100,69	38513,92
390-349,72	369,86	7,63	2822,03

$$P_{\text{moyenne}} = 102238,051 / 240,85 = 424,48 \text{ mm}$$

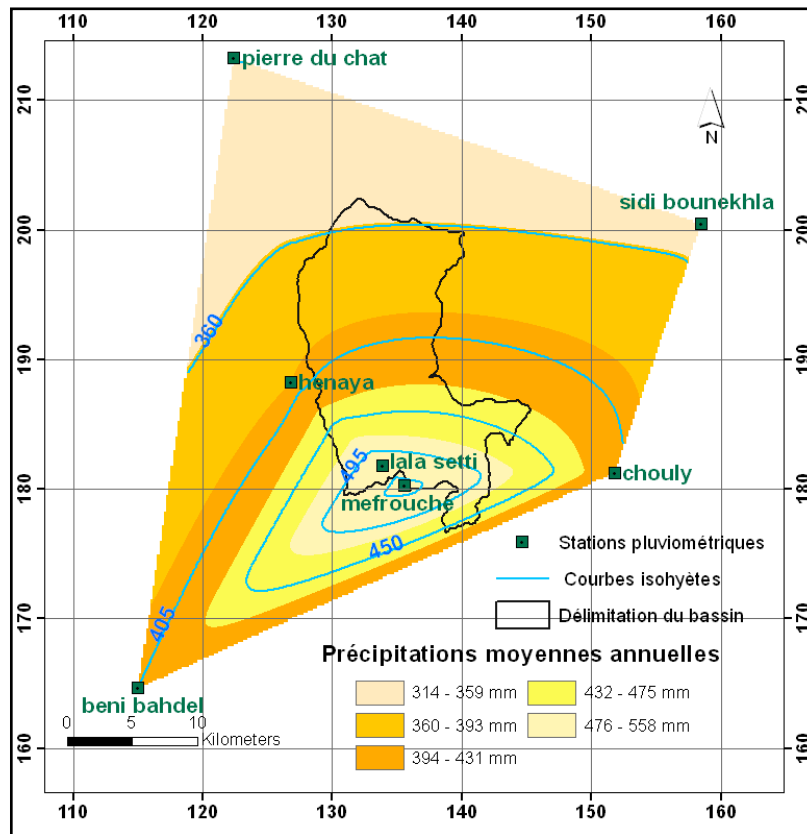


Figure 23 : Carte d'isohyètes

#### II.1.4) Précipitations mensuelles :

La répartition des précipitations mensuelles est importante pour l'étude du comportement hydrologique de l'oued Sikkak.

##### II.1.4.1) Vecteur régional mensuel du bassin versant de Sikkak :

La méthode du vecteur régional consiste à élaborer une série de données pluviométriques représentant la zone d'étude. Le vecteur régional est calculé avec la moyenne mensuelle en utilisant la méthode des isohyètes (exemple ; (fig 24) pour le mois d'août).

Tableau 11: Vecteur Sikkak.

Mois	S	O	N	D	j	F	M	A	M	J	J	A
<b>Vecteur Sikkak</b>	18,86	33,09	56,35	50,23	53,44	56,20	56,92	47,48	38,83	6,93	2,60	4,27

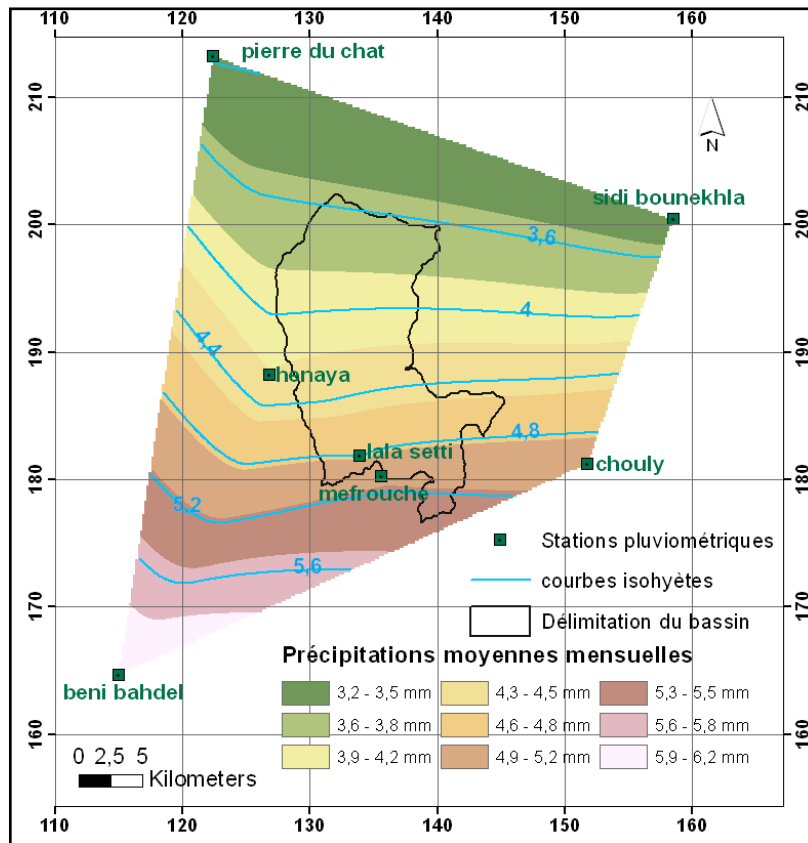


Figure 24 : carte d'isohyètes mois d'août

#### II.1.4.2) Répartition moyenne mensuelle :

On enregistre un minimum au mois de juillet et le maximum au mois de mars (fig 25).

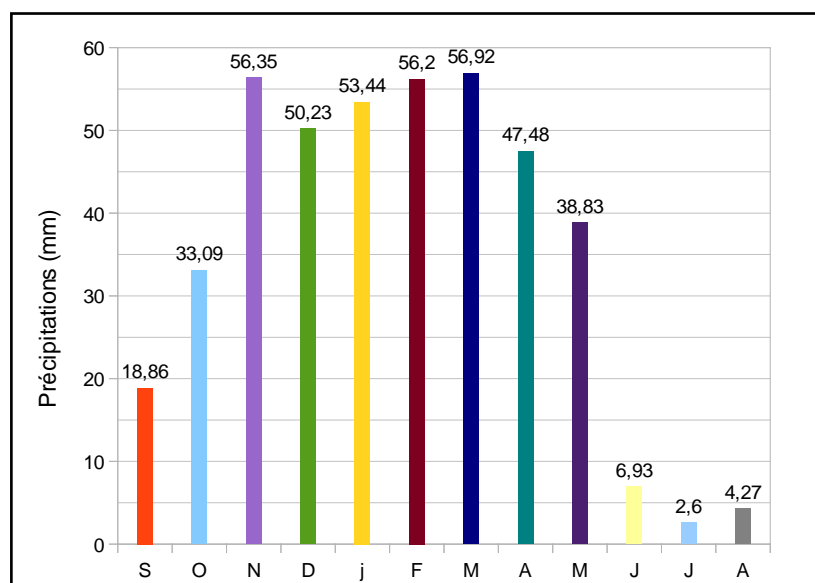


Figure 25 : Variations mensuelles des précipitations du vecteur Sikkak.

### II.1.4.3) Répartition moyenne saisonnière :

On remarque que l'été est la saison la moins arrosée (fig 26).

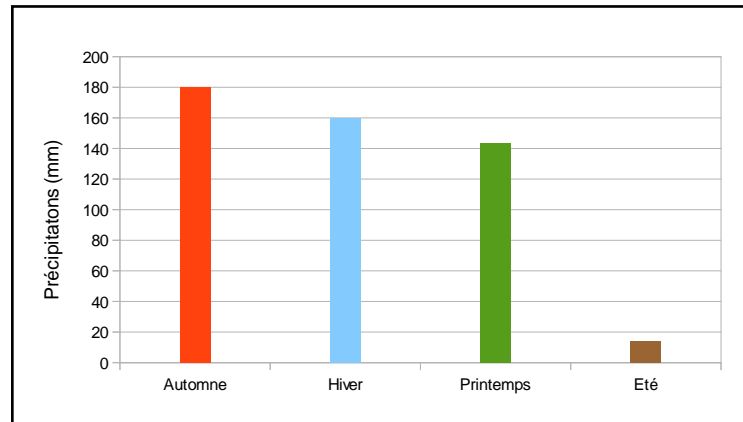


Figure 26 : Répartition saisonnière des pluies du vecteur Sikkak

## II.2) Etude climatique :

Les facteurs thermiques ainsi les autres facteurs météorologiques (précipitation, insolation, etc....) influent directement sur le bilan climatique régional. Nous allons nous pencher sur ces facteurs influents dans ce qui suit.

### II.2.1) Température :

Pour l'étude de la température du bassin de Sikkak, nous avons pu disposer des températures minimales, maximales et moyennes de la station météorologique de Zenata pour la période 1981-2010 (Fig 27).

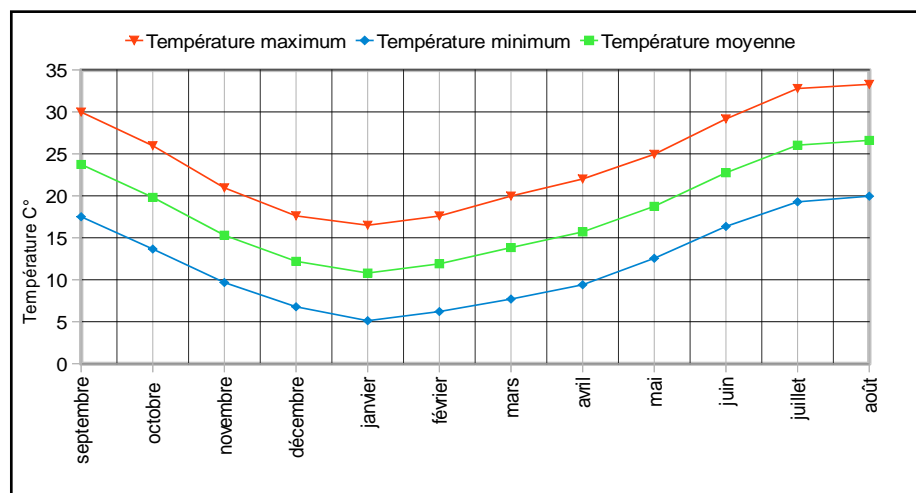


Figure 27 : Variations des températures mensuelles à la station de Zenata.

On remarque que l'écart entre le maximum et le minimum est presque constant. Notre région est caractérisée par un été chaud et sec et un hiver relativement doux. Le mois le plus froid est celui de janvier avec une température moyenne de 10,8°C. Le mois le plus chaud est celui d'août avec une température moyenne de 26,6°C.

## II.2.2) Régime climatique :

L'étude du régime climatique de la région a été réalisée en fonction des disponibilités des données.

### II.2.2.1) Indice De Martone :

M<sup>r</sup> De Martonne (1923) a défini l'indice d'aridité portant son nom en se basant sur les précipitations et les températures.

$$I_a = P / T + 10 = 15,12$$

Où ;

P : Les précipitations moyennes annuelles (mm)

T : La température moyenne annuelle (mm)

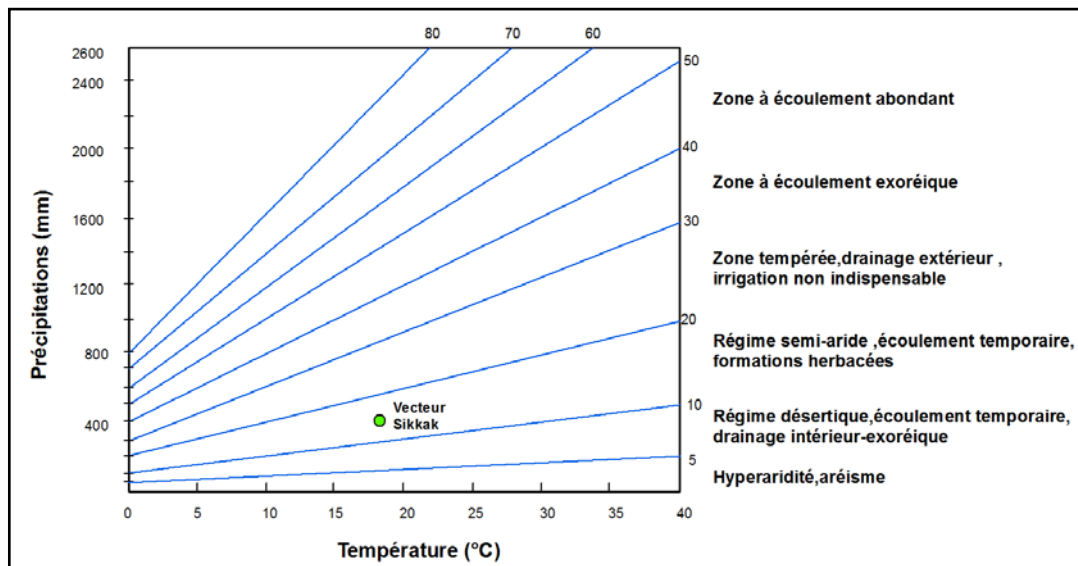


Figure 28 : Représentation graphique de l'indice de Martone du vecteur Sikkak.

Pour le bassin versant de Sikkak le climat est de type semi-aride avec écoulement temporaire et formations herbacées (fig 28).



### II.2.2.2) Etages bioclimatiques :

Le coefficient pluviométrique 
$$Q = \frac{1000P}{(M + m)(M - m) / 2} = 51,7$$

Où ;

P : Précipitation annuelles moyennes (mm)

M: Moyenne des Maxima du mois le plus chaud (K°)

m : Moyenne des minima du mois le plus froid (K°)

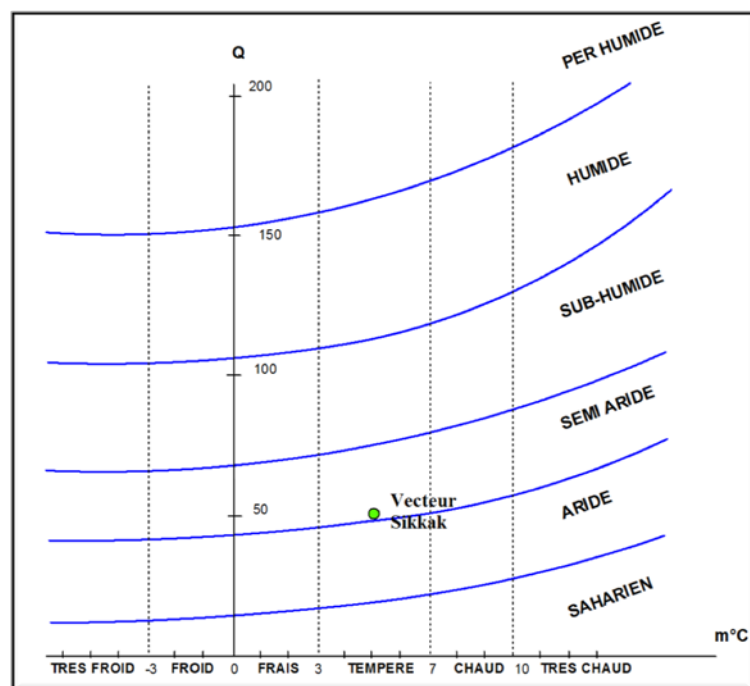


Figure 29 : Climagramme d'Emberger

La classification nous permet de conclure que le climat est semi –aride.

### II.2.2.3) Diagramme ombrothermique (Méthode de Gaussen et Bagnouls) :

La réalisation du diagramme ombrothermique dans lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations, nous permet de déterminer les mois secs.

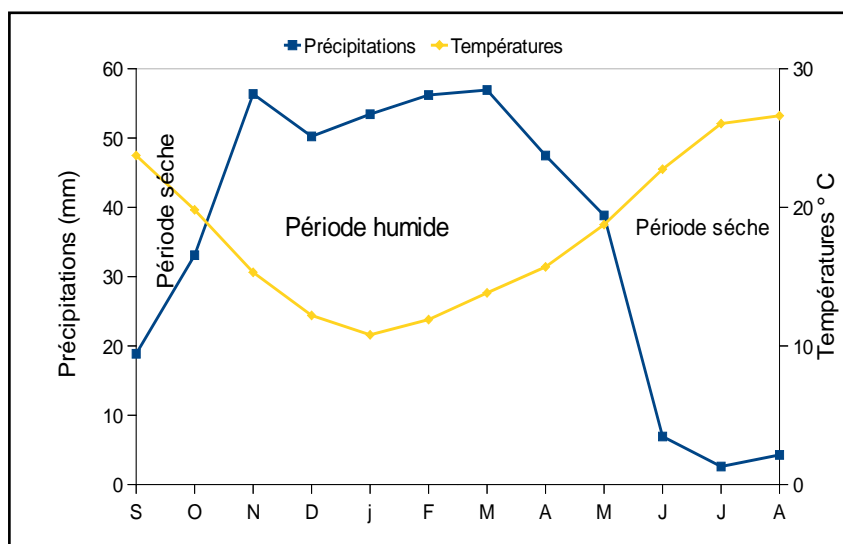


Figure 30 : Diagramme Ombrothermique.

Le graphique du vecteur Hennaya nous permet de définir une période sèche de mai jusqu'à octobre (Fig 30).

#### II.2.2.4) Calcul de l'évapotranspiration potentielle (Formule de Thornthwaite) :

$$ETP = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a \cdot K \quad (\text{mm})$$

$$a = 1,6 \left( \frac{I}{100} \right) + 0,5$$

$$I = \sum_1^{12} i$$

$$i = (t / 5)^{1,514}$$

Où ;

T : Température moyenne du mois en C°

K : Coefficient correctif qui dépend de la latitude du bassin versant

I : Indice thermique annuel

i : Indice thermique mensuel

Les calculs sont faits automatiquement par le logiciel *Hydrognomon* (Fig 31).

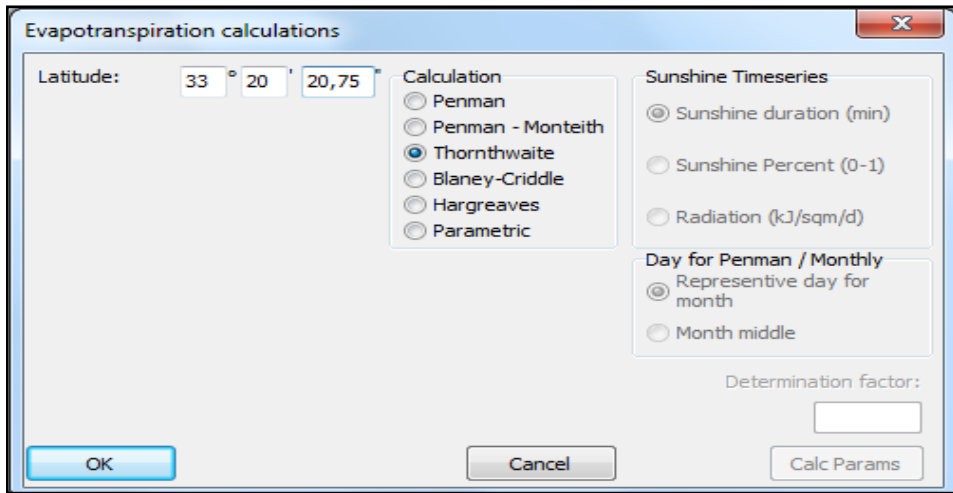


Figure 31 : Calcul de l'ETP avec le logiciel Hydrognomon.

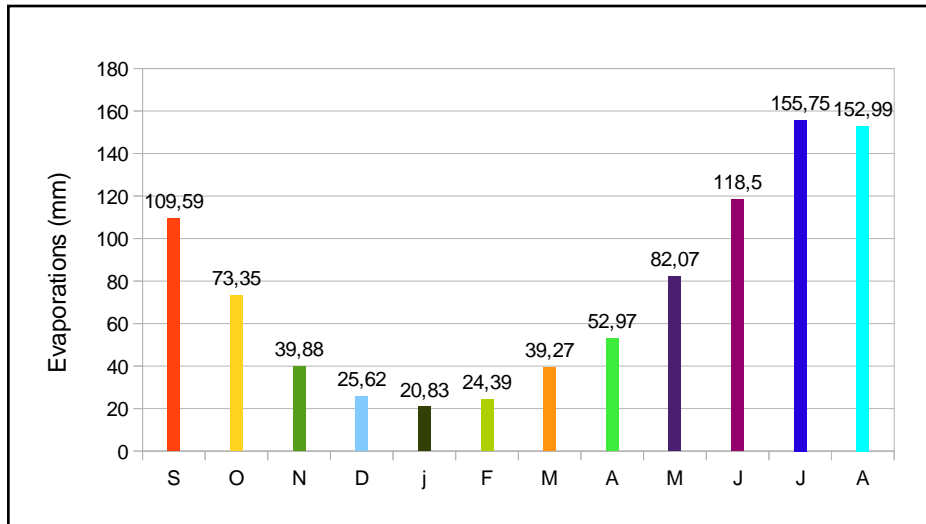


Figure 32 : Evapotranspiration de Sikkak.

### II.3) Etude Hydrologique :

En ce qui concerne l'étude du débit nous avons fait référence aux données des stations hydrométriques d'Ain Youcef (1972-1990) et Sidi Moussa (1991-2006).

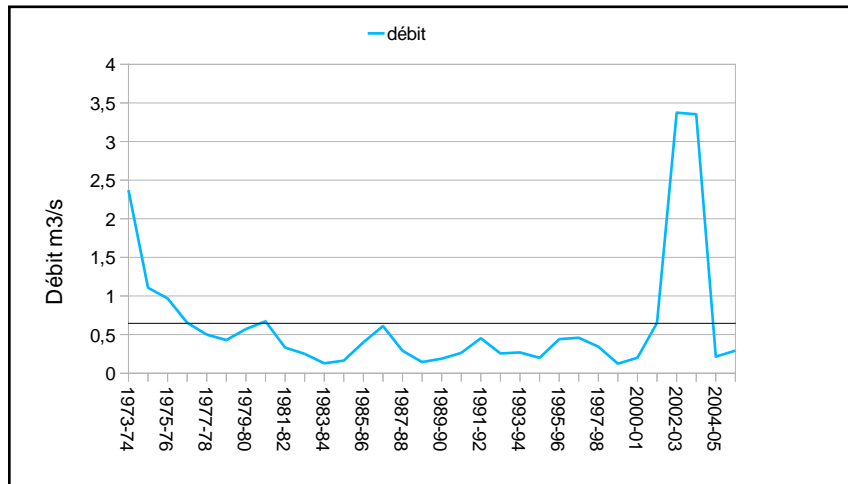


Figure 33 : Variations interannuelles du module d'oued Sikkak.

Le bassin de Sikkak ne draine en moyenne que 0,674 m<sup>3</sup>/s (fig 33). Il est relativement faible. Ceci s'explique par la présence du barrage du Mefrouche en aval sur l'oued Nachef ainsi que le caractère karstique prépondérant des formations géologiques en amont (Bouanani, 2004).

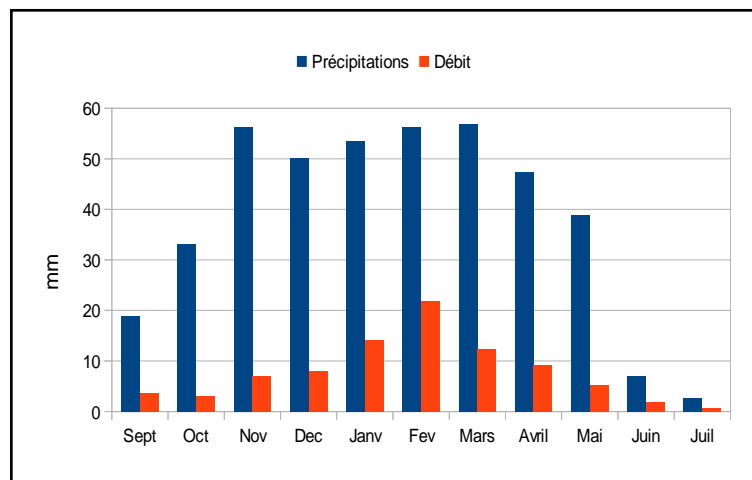


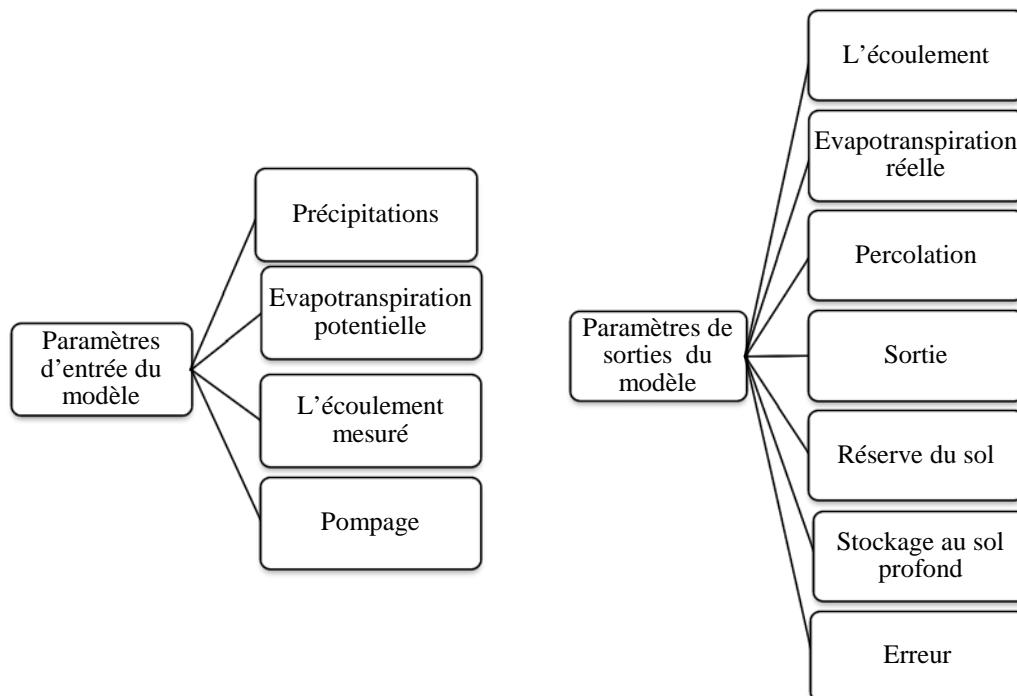
Figure 34 : Variations mensuelles de la lame d'eau écoulé et précipité.

Nous avons remarqué (fig 34) un accroissement de la lame d'eau écoulée du mois de septembre jusqu'au mois de février, suivi d'une diminution à partir de mars jusqu'à juillet et un retard de la réponse hydrologique des pluies importantes d'automne. Ceci est dû aux réseaux de failles et fissures existant dans les dolomies jurassiques des monts de Tlemcen au niveau d'oued Nachef et Mefrouche en amont de Sikkak. Ceux-ci favorisent l'infiltration, après la saison sèche des eaux dans l'aquifère karstique sous le barrage du Mefrouche. Une fois que les niveaux d'eau

remontent, les sources alimenteront alors le ruissellement de surface (Baba Hamed et Kerzabi, 1991).

#### II.4) Modélisation du bilan hydrique du bassin versant de Sekkak à l'aide du logiciel Hydrognomom :

Le modèle Zygos est un outil de modélisation Pluie-Débit conceptuelle au moyen de réservoirs représentant schématiquement le sol et le sous-sol. La simulation du bassin par le modèle Zygos constitue une approche semblable du modèle de Thornthwaite.



Le modèle Zygos comporte de nombreux paramètres pour définir la répartition des écoulements ou les caractéristiques de chaque réservoir (niveau initial et capacité, valeurs de  $H_1$  ou de  $H_2$ ) (fig 35). Les paramètres de calages sont définis comme suit :

- $\varepsilon$  → Précipitations
- $\eta$  → Ecoulement directe
- $\kappa$  → Réserve facilement utilisable

- $\lambda$  → Ecoulement hypodermique
- $\gamma$  → Percolation
- $\xi$  → Ecoulement de base
- $\Phi$  → Evasion souterraine
- $S_0$  → Réserve initiale RFU
- $Y_0$  → Réserve initiale d'eau souterraine

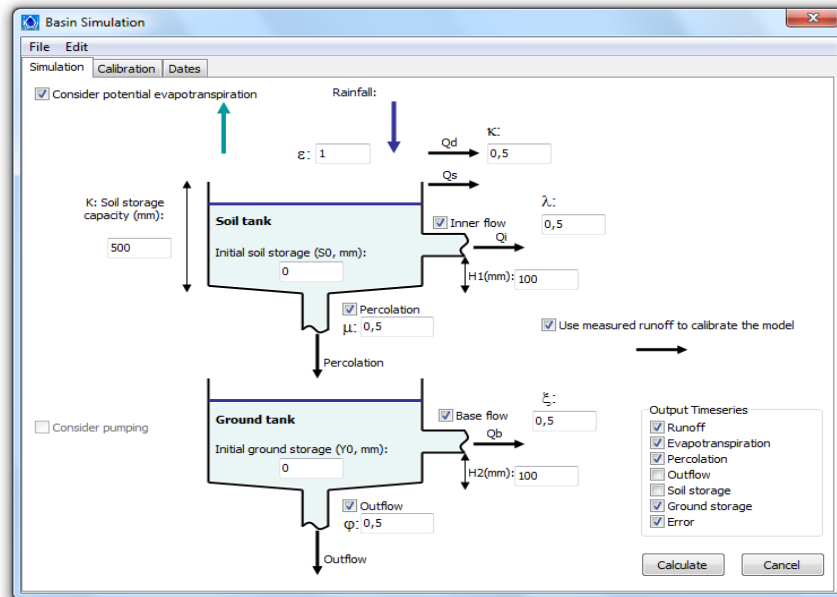


Figure 35 : Interface du logiciel Hydrognomom.

Tableau 12 : paramètres d'entrées du modèle.

Mois	Evapotranspiration Thornthwaite	Vecteur Sikkak	Débit mesuré
S	109,59	18,86	3,61
O	73,35	33,09	2,98
N	39,88	56,35	6,94
D	25,62	50,23	7,95
j	20,83	53,44	14,12
F	24,39	56,20	21,80
M	39,27	56,92	12,26
A	52,97	47,48	9,15
M	82,07	38,83	5,24
J	118,5	6,93	1,84
J	155,75	2,60	0,75
A	152,99	4,27	0,43



Figure 36 : Calage et comparaison entre les apports observés et les apports obtenus lors de l'exercice de calage.

La validation du modèle montre un bon synchronisme entre la courbe de débit simulée (calcul runoff) et mesurée (actual runoff). Cela exprime la bonne performance et l'application du modèle zygos (fig 36).

Après calage du modèle nous avons les résultats suivants :

Tableau 13 : Paramètres de sorties après calage.

Mois	Débit calculée (mm)	Evapotranspiration réelle (mm)	Infiltration (mm)	Erreur
S	3,61	14,4	0,26	1,32
O	2,98	24,37	0,73	-1,04
N	6,94	34,88	2,05	0,1
D	7,95	25,62	3,98	-0,02
j	14,12	20,83	7,62	-0,14
F	21,80	24,39	8,51	-0,16
M	12,26	39,12	8,25	-0,13
A	9,15	47,72	6,59	-0,07
M	5,24	49,64	3,68	0,01
J	1,84	19,6	1,05	0,99
J	0,75	4,52	0,15	0,43
A	0,43	3,69	0,06	-0,09
<b>TOTAL</b>	<b>87,07</b>	<b>308,78</b>	<b>42,93</b>	

Nous constatons que l'évapotranspiration représente 72%, l'écoulement 20% et l'infiltration 10% des précipitations (Tableau 13).

## **CONCLUSION :**

La région du sous bassin de Sikkak est caractérisée par un climat semi aride. La saison sèche commence à partir du mois de mai jusqu'à octobre et la saison humide s'étale sur le reste de l'année.

La lame d'eau moyenne annuelle précipitée sur l'ensemble du sous bassin est estimée à 424,5 mm pour la période 1974-2010, l'évapotranspiration représente 72% des précipitations. Une quantité importante qui est probablement due à la surface du plan d'eau du barrage Sikkak et au couvert végétale important de la zone. L'écoulement est relativement faible. Ceci s'explique par la présence du barrage du Mefrouche, la nature des formations géologiques du bassin et les faibles pluviométries enregistrées.



## CHAPITRE III

### ETUDE GEOLOGIQUE DE LA PLAINE D'HENNAYA

La nappe de la plaine d'Hennaya (Fig 37) d'une superficie d'environ 22.3 Km<sup>2</sup>, se situe à une dizaine de kilomètres, au nord de la ville de Tlemcen (Nord-Ouest algérien). Elle fait partie du bassin versant d'oued Sikkak est délimitée comme suit :

- Au sud : Commune d'Hennaya.
- Au Nord, Est : Oued Sikkak.
- A l'Ouest : Oued Khallouf.

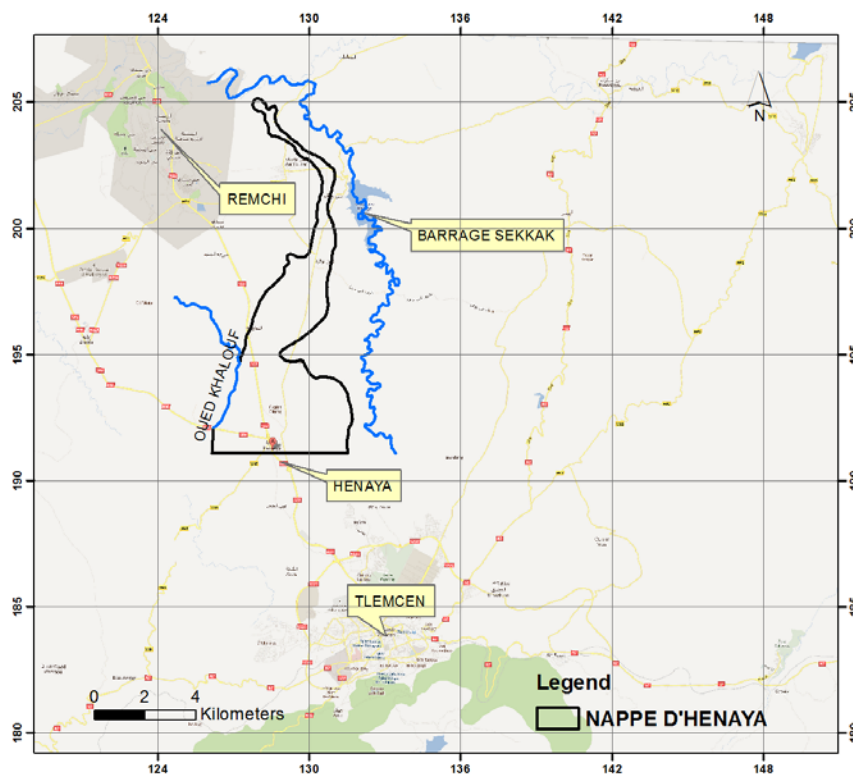


Figure 37 : Délimitation de la nappe d'Hennaya.

La géologie de la plaine d'Hennaya a été étudiée par référence à :

- La carte géologique 1/50 000 (feuille de Tlemcen n° 270) réalisée par M. Doumergue 1926.

- L'étude géologique du bureau d'étude technoexportstroy 1968/69 qui s'est servi de la carte géologique (feuille de Tlemcen n° 270), des données relatives aux puits construits et de la réalisation des sondages de reconnaissances pour un volume de 1023 m pour l'étude de la structure géo - lithologique et conditions hydrogéologiques.
- L'étude géologique de Hayane 1983.

### **III.1) Description lithologique des formations :**

La région d'étude est constituée dans son ensemble de formations quaternaires et miocènes.

#### **III.1.1) Le Miocène :**

Le miocène est représenté par les marnes et grès helvétiques (m<sup>2</sup>) ainsi que les grès tortoniens (m<sup>3</sup>).

##### **III.1.1.1) L'Helvétien :**

Les marnes sont d'un gris bleu à textures très fines intercalées de nombreux bancs de grès jaunes surtout à la base, au milieu et au sommet. Les eaux souterraines dans les marnes helvétiques sont toujours saumâtres, et elles deviennent salées en profondeur (Note explicative 53, carte géologique).

##### **III.1.1.2) Les Grés tortoniens :**

Les grés fissurés jaunes à couches épaisses par endroit s'étagent au dessus des marnes et grés helvétique. Ils affleurent au Sud de la plaine d'Hennaya et sont en grande partie couverts d'alluvions.

#### **III.1.2) Le Quaternaire :**

Les formations du quaternaire de l'œuvre d'oued d'Hennaya a un degré moins important que celui des oueds Sekkak et Khalouf .Ils recouvrent toutes les formations du miocène à l'exception du Sud de la plaine où les grés affleurent. Les sédiments quaternaires sont variés (Conglomérats, graviers, graviers argileux, argiles calcaires, croûtes calcaire et travertins).

### III.1.2.1) Les Conglomérats :

Les conglomérats sont situés au centre et au Nord-Est de la plaine en couches épaisses avec des morceaux de calcaires, grés, quartz à ciments calcaires. Ces ensembles forment un horizon carbonaté dans lequel on trouve des cavités à dimensions variées. L'épaisseur moyenne des conglomérats est de 8m déterminée par voie de sondage. Ils affleurent en petites surfaces au niveau des exutoires de la nappe (fig 38).

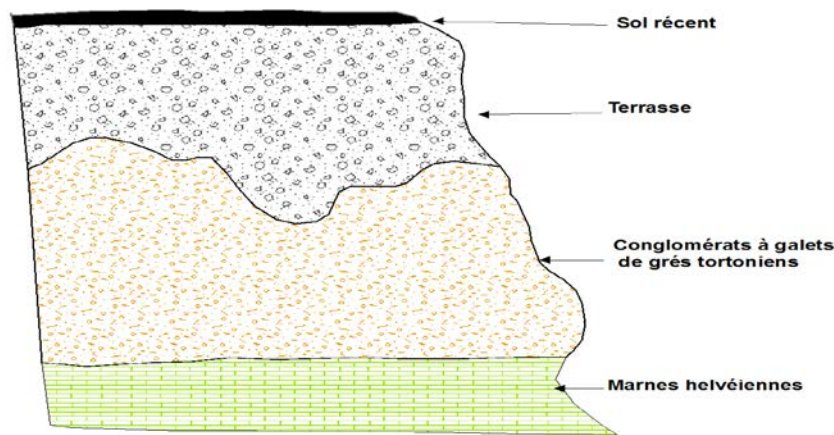


Figure 38 : Conglomérats au niveau de la source d'Ain Hallilifa.

### III.1.2.2) Les graviers et les graviers argileux :

Les graviers et les graviers argileux couvrent les conglomérats, travertins et une partie des grés tortoniens au Sud du périmètre.

### III.1.2.3) Les argiles, les argiles calcaires et les croûtes calcaires :

Les argiles peuvent être considérées comme un seul complexe qui recouvre les graviers et les graviers argileux. Les argiles sont des formations alluviales situées au centre du périmètre. Leur épaisseur varie de 2 à 25 m et est déterminée par voie de sondage. Elles sont peu perméables ou imperméables rendant l'alimentation difficile dans la partie Sud du périmètre et constituant par conséquent un toit étanche (sondage 24 et 12). Les croûtes calcaires apparaissent parmi les argiles. Elles sont sous forme de couches.

### III.1.2.4) Les Travertins :

Les dépôts de sources sont à l'origine des travertins situés au centre et au Nord du périmètre. Ils sont aussi caverneux mais à des dimensions moindres que celles des conglomérats.

### III.2) Tectonique :

Au début du quaternaire, les oueds et particulièrement l'oued d'Hennaya ont débordé et couvert l'ancien relief du périmètre d'Hennaya. Suite à un soulèvement épirogénique, les oueds se sont entaillés dans leurs propres sédiments et ont formé la vallée actuelle.

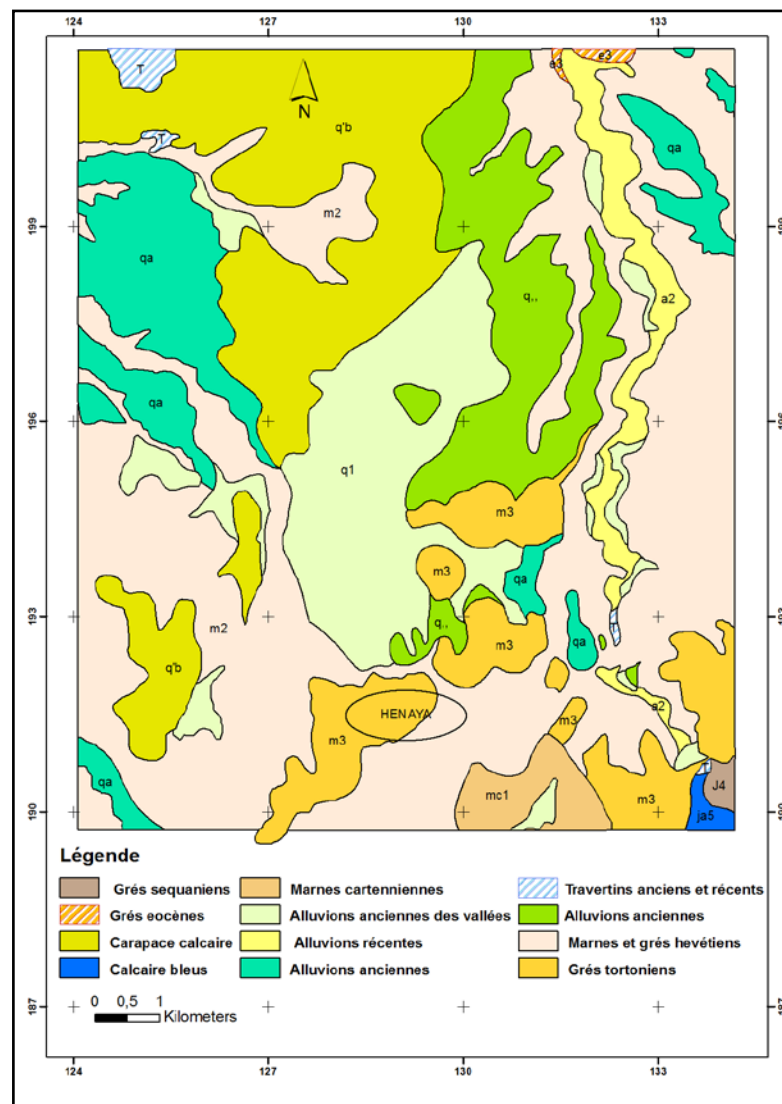


Figure 39 : Extrait de la carte géologique 1/50 000 (feuille de Tlemcen n° 270) réalisée par M. Doumergue 1926.

## **CONCLUSION :**

L'étude géologique permet de reconnaître, selon la nature lithologique, les formations perméables susceptibles d'abriter l'eau souterraine. Elles sont représentées par les grés tortoniens et les sédiments quaternaires. Quant aux formations imperméables constituant le substratum imperméable, elles sont représentées par les marnes Helvétiques à fines couches de grés qui affleurent à la surface à l'est et à l'ouest favorisant ainsi le ruissellement.

## CHAPITRE IV

### ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE D'HENNAYA

#### IV.1) Formations aquifères :

L'étude hydrogéologique et hydrodynamique de l'aquifère a été réalisée à partir des données de sondages de reconnaissance, des puits existants, des essais par pompage et aussi par des coupes géologiques. Les horizons aquifères de la région sont les grès tortoniens et les sédiments quaternaires (fig 40).

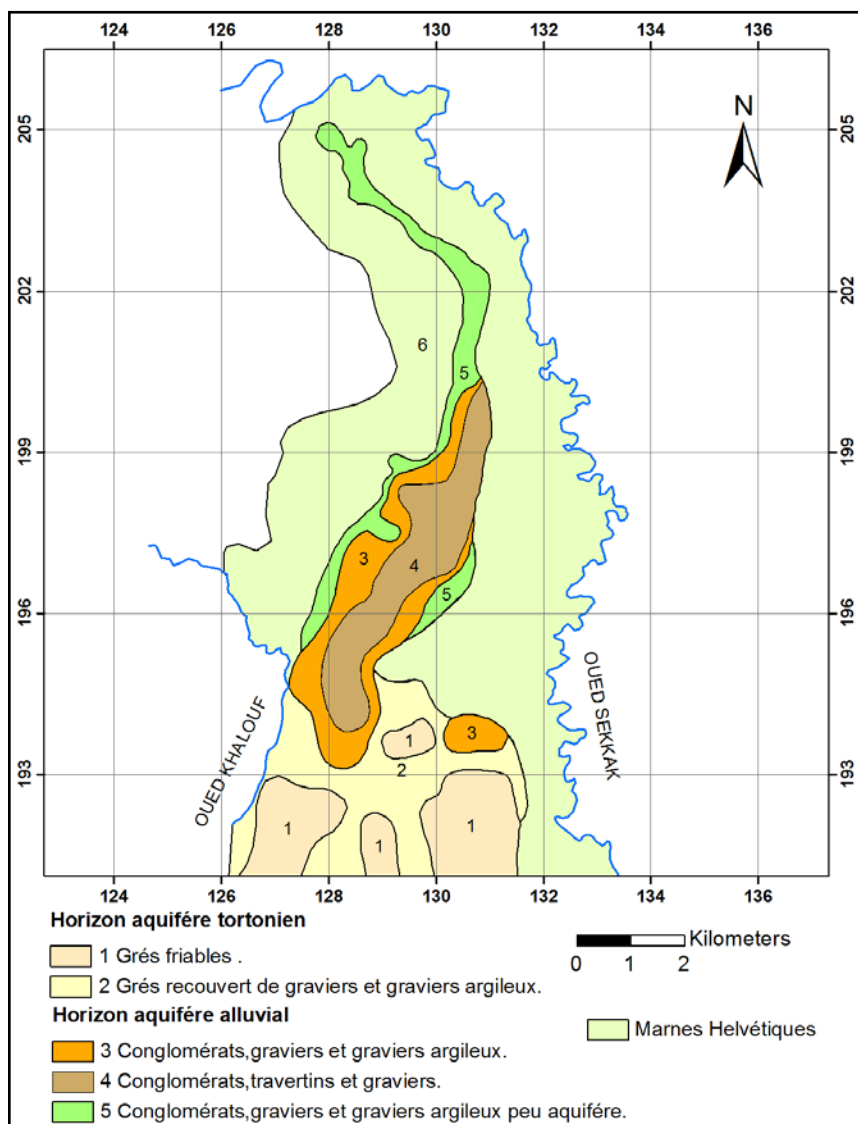


Figure 40 : Carte hydrogéologique des formations aquifères d'après (Technoexportstroy, 1969).

#### **IV.1.1) Horizon aquifère Tortonien :**

Située au sud de la plaine, il est inexistant en allant vers le nord. L'épaisseur totale du Tortonien atteint les 10 m observés dans les sondages et les puits existant ; les débits obtenus à partir de ce niveau aquifère sont faibles.

1. Une partie de l'aquifère est occupée exclusivement par des grès friables. A la surface, l'horizon est libre et alimenté par les eaux de ruissellement. En profondeur, il reçoit l'eau de l'étendue des dolomies jurassiques et des calcaires qui constituent la source principale d'alimentation de l'aquifère.

2. Une partie de l'horizon aquifère est recouverte de graviers et graviers argileux avec lesquels elle forme un horizon aquifère commun. L'alimentation par infiltration est difficile dans les parties où la couverture est constituée d'argile et croûtes calcaires.

#### **IV.1.2) Horizon aquifère alluvial :**

##### **➤ Les Conglomérats**

Les conglomérats représentent la couche la plus importante de l'aquifère formant avec les travertins, graviers et graviers argileux, un complexe aquifère commun. Les débits obtenus dans les puits et sondages sont importants. L'épaisseur des conglomérats décroît en allant vers le nord. On remarque que les vides dans la zone d'Ain Boukora et Ain Wahab représentent des dimensions importantes et peuvent être considérés comme du karst.

##### **➤ Les travertins**

Les travertins sont situés dans la partie centrale et nord de l'aquifère au dessus des conglomérats également caverneux. Mais ils sont moins importants en comparaison avec les conglomérats.

##### **➤ Graviers et graviers argileux**

Situés au dessus des conglomérats, ils couvrent pratiquement tout l'aquifère. Cet horizon est recouvert d'argile et croûtes calcaires. Ces derniers sont plus importants au sud où ils atteignent une épaisseur de 22,6 m (Sondage 24).

#### IV.1.3) Horizon non aquifère :

Les marnes Helvétiques à fines couches de grés sont couvertes d'argile et d'encroutement calcaires. Elles sont très peu ou non aquifères.

#### IV.2) Géométrie de l'aquifère :

Les informations à caractères géologique et hydrogéologique nous ont permis de préciser la géométrie des diverses unités hydrogéologiques régionales. Nous les présenterons dans ce qui suit.

##### IV.2.1) Les limites de l'aquifère :

- A l'est et à l'ouest : par des marnes helvétiques imperméables.
- Au nord : l'horizon aquifère est drainé vers la surface par des sources.
- Au sud : par les terrains karstiques du jurassique supérieur de Tlemcen.

##### IV.2.2) Carte du toit du substratum :

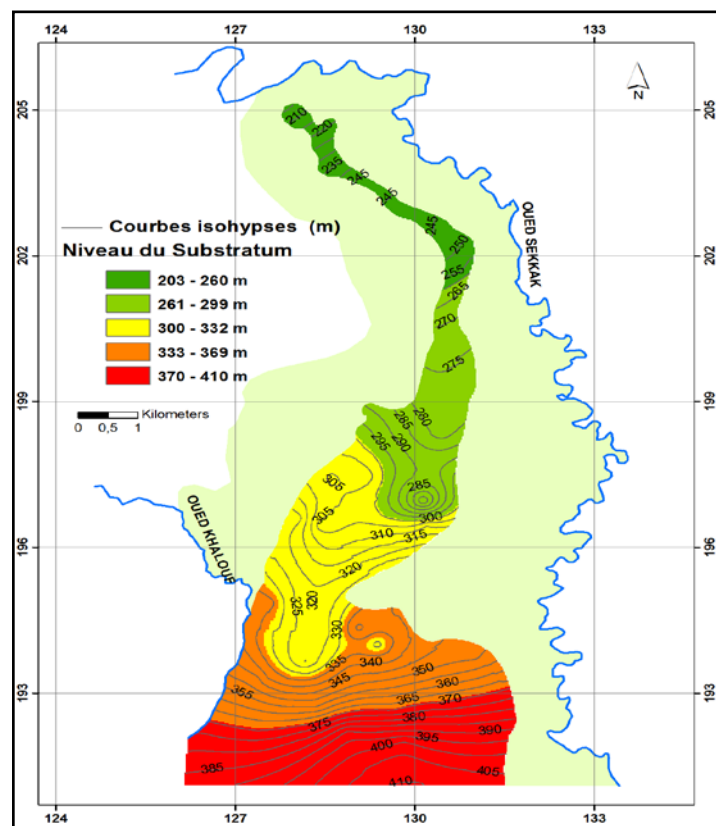


Figure 41 : Carte en courbes isohypses de la surface du substratum.



La carte du toit du substratum (fig 41) établie en courbe isohypses ou d'égle altitude, nous informe sur la profondeur maximum de la nappe aquifère. Elle constitue ainsi une base de calcul de volume de l'aquifère. Cette dernière a été réalisée à l'aide de la méthode d'interpolation des données du niveau du substratum par l'utilisation du logiciel géostatistique ArcGis.

#### IV.2.3) Carte d'épaisseur des formations aquifères :

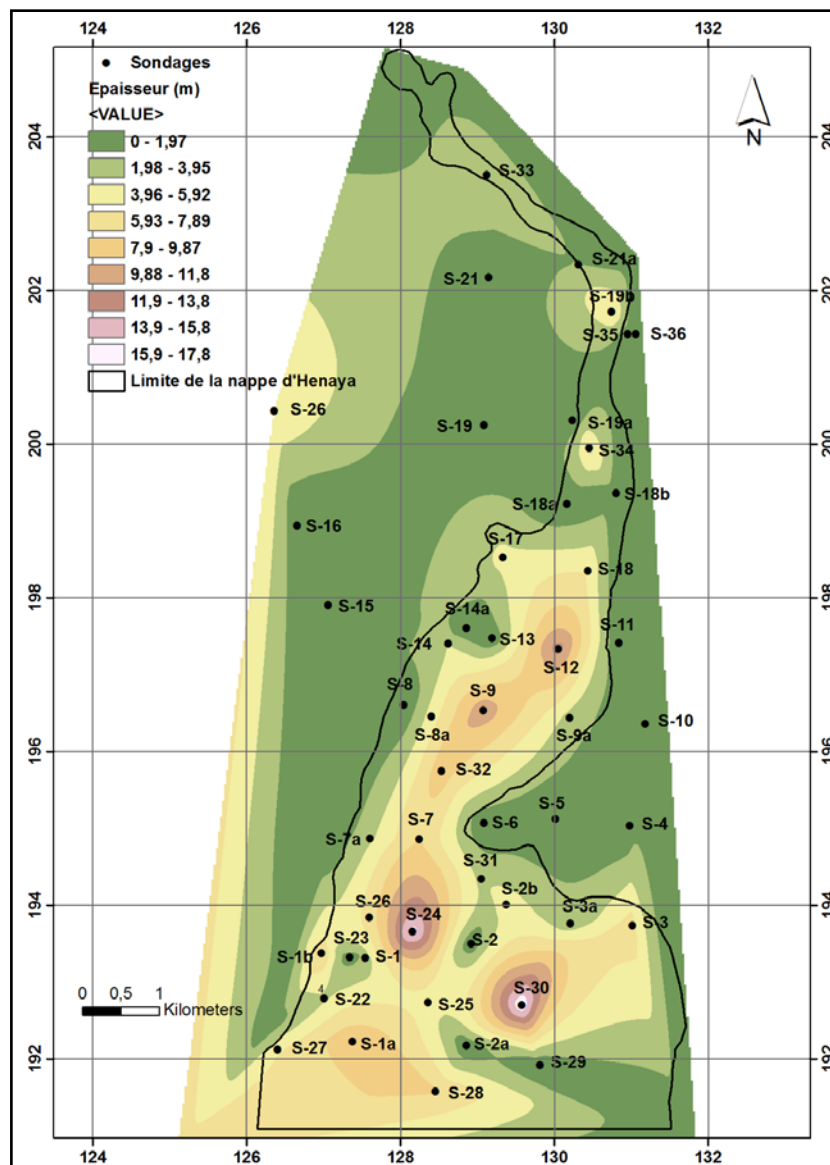


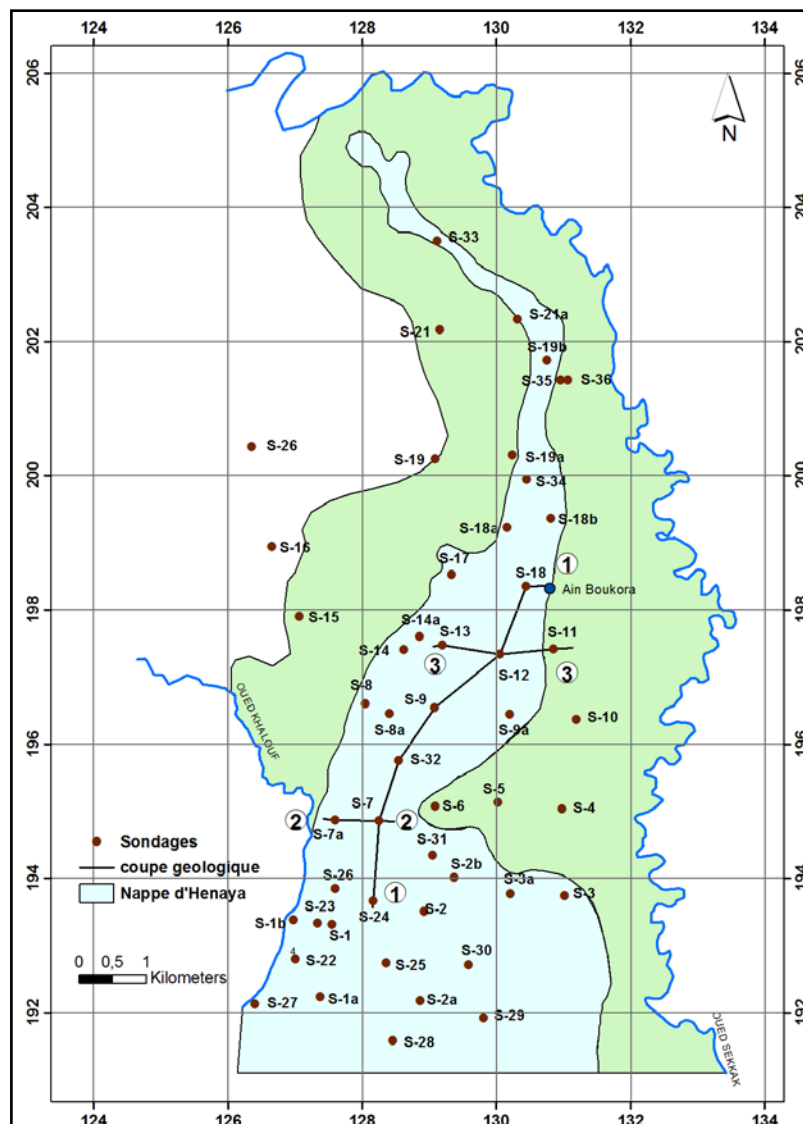
Figure 42 : Carte d'épaisseur

La carte d'épaisseur (fig 42) est établie en courbes isobathes ou d'égle profondeur. La connaissance de la variation d'épaisseur du réservoir nous informe sur le potentiel hydrogéologique de la nappe. Les débits de pompage des formations aquifères

sont conditionnés par l'épaisseur saturée de ces dernières qui sont généralement proportionnelle à l'épaisseur totale des couches des grés tortoniens et les sédiments quaternaires.

L'épaisseur des formations sont importantes dans la partie centrale de la plaine et dans la zone sud qui atteint 17,8m. On enregistre des épaisseurs beaucoup plus faibles en allant vers le nord dans la zone d'Ain wahab et Ain Boukora.

#### IV.2.4) Coupes géologiques :



**Figure 43** : Situation des coupes géologiques des figures 44 et 45.

A l'est et à l'ouest le substratum représenté par des marnes helvétiques remonte à la surface. Au sud, l'aquifère est constitué de grés. Du sud au nord, les conglomérats sont couverts de graviers argileux et graviers. Vers le nord les travertins sont au dessus des conglomérats (fig. 44 et 45).

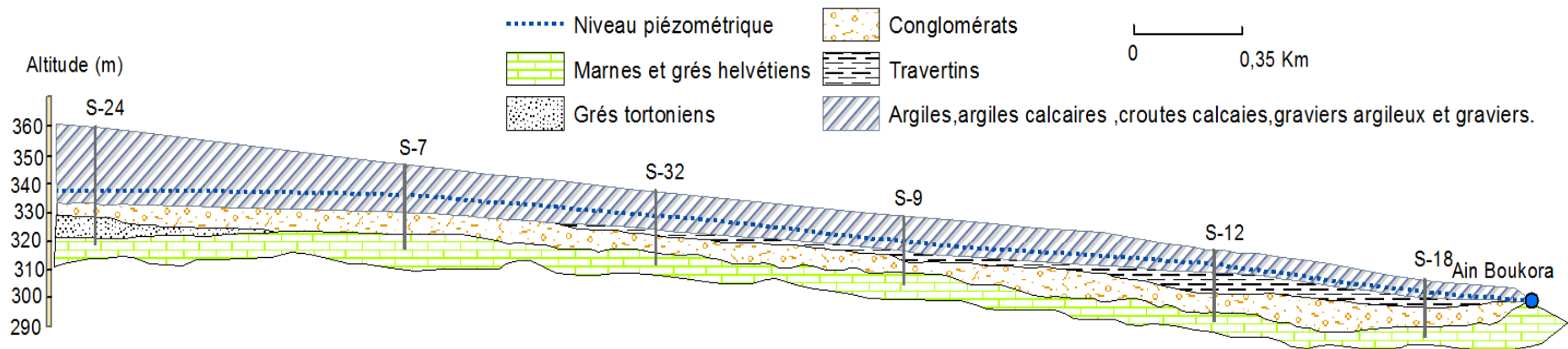


Figure 44 : Coupe géologique 1-1 d'après (Technoexportstroy, 1969).



Figure 45 : Coupe géologique 2-2 et 3-3 d'après (Technoexportstroy, 1969).

### IV.3) Exutoires :

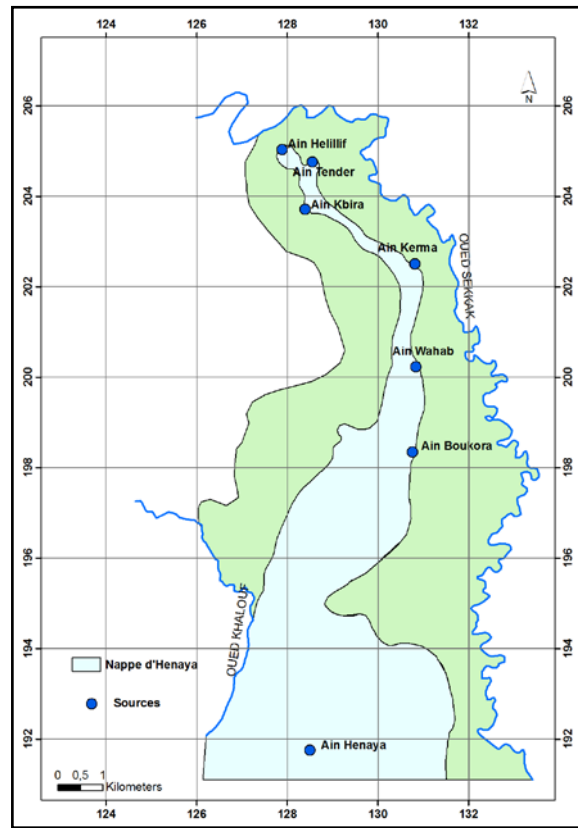


Figure 46 : Les sources

Toutes les sources émergent des conglomérats en contact avec les marnes helvétiques sauf pour la source d'Hennaya qui émerge des grés tortoniens. Les sources les plus importantes sont celles d'Ain Waheb et Ain Boukora. Mais actuellement les débits sont beaucoup plus faibles en comparaison avec l'historique où l'on a enregistré 50l/s pour Ain Wahab et 20l/s Ain Boukora (fig 46).

### IV.4) Caractéristiques hydrogéologiques :

L'étude hydrogéologique est basée principalement sur la détermination des caractéristiques et des propriétés de l'aquifère.

#### IV.4.1) Piézométrie et écoulement :

Un réseau de surveillance (fig 48) comportant 64 puits d'observation a été choisi en fonction de la répartition spatiale des points d'eau existants pour représenter les mesures de la surface libre de l'aquifère. Une campagne de mesure du niveau

piézométrique a été effectuée au mois de mars, période des hautes eaux, et deux campagnes aux mois de mai juin, période des moyennes eaux (fig 47).

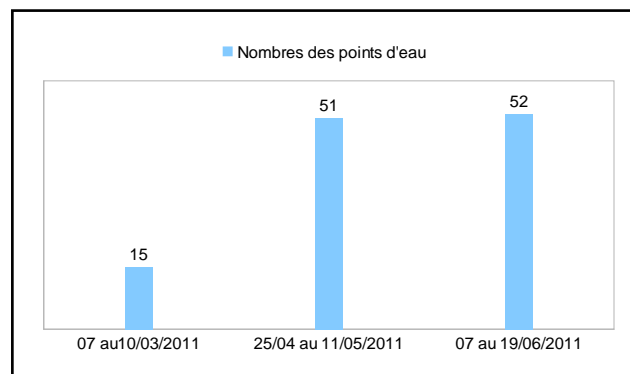


Figure 47 : Campagnes piézométriques

➤ **Piézométrie :**

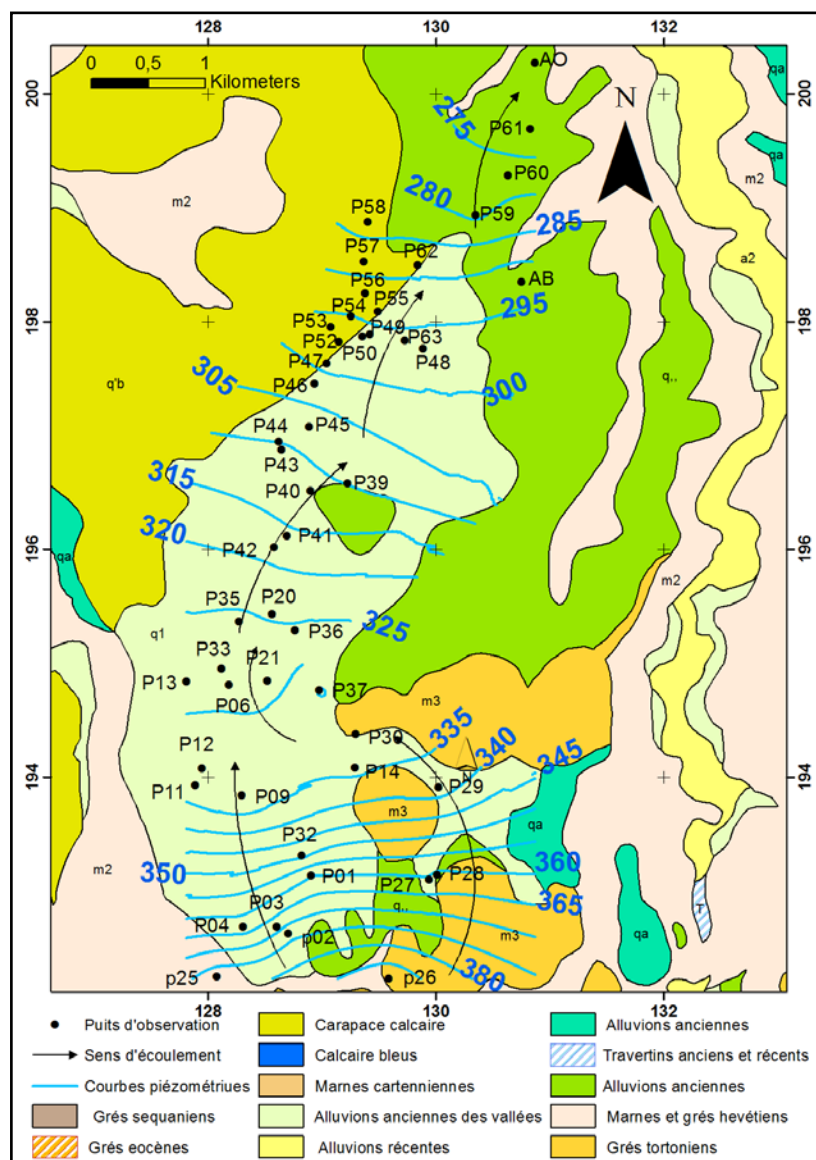


Figure 48 : Carte piézométrique (juin 2011)

L'écoulement de la nappe se fait du sud jusqu'à la zone de drainage au nord. Les apports proviennent du sud sans échange latérale. L'équidistance des isopièzes au sud est plus faible qu'au nord.

➤ **Evolution piézométrique :**

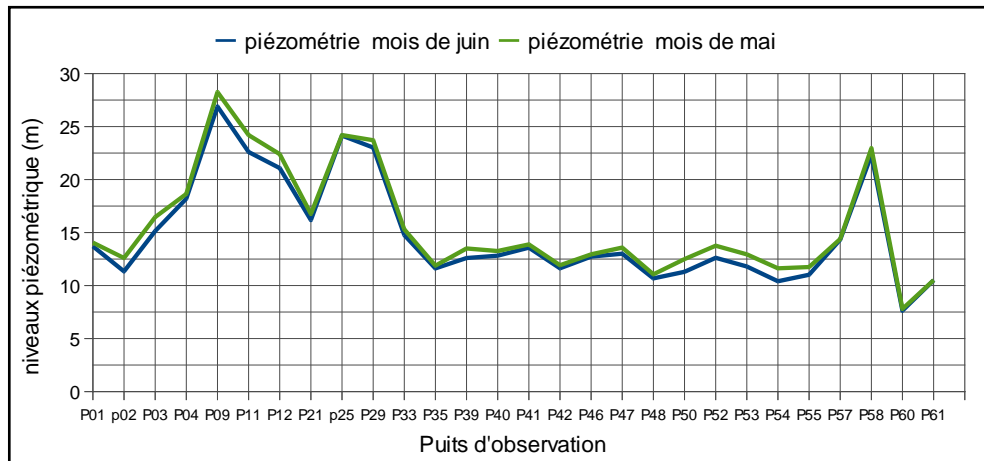


Figure 49 : Courbes de battement de la nappe d'Hennaya (mai- juin 2011)

La fluctuation piézométrique entre les deux périodes varie entre 0.01 et 1.36 m. On ne remarque pas un abaissement important entre les deux périodes (Fig 49).

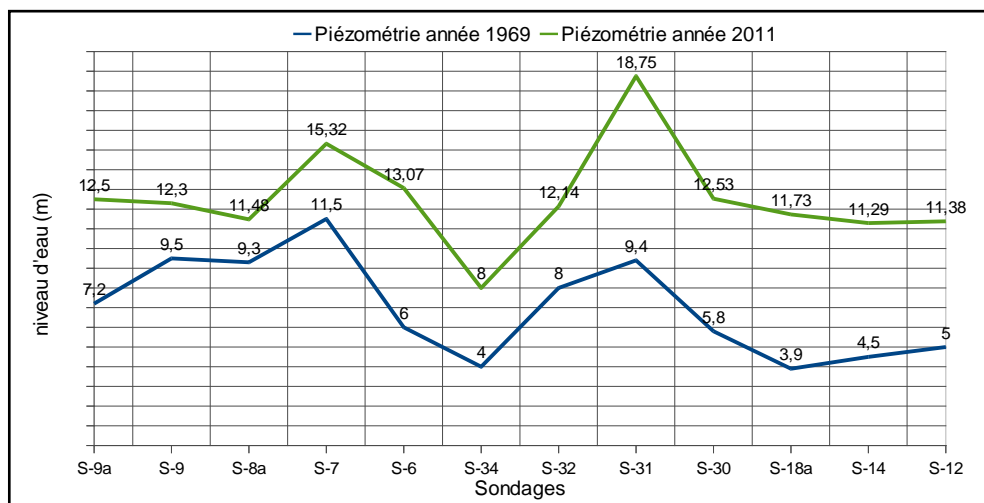


Figure 50 : Courbes de battement de la nappe d'Hennaya (1969-2011)

L'estimation du niveau piézométrique dans les sondages pour l'année 2011 est basée sur la carte d'interpolation des profondeurs des moyennes eaux (fig 51). La comparaison de la piézométrie estimée en juin 2011 avec celle de Technoexportstroy réalisée en juin

et juillet 1969 à montré un abaissement important entre les deux périodes qui est dû principalement aux changements climatiques et à la surexploitation de la nappe. La fluctuation piézométrique entre les deux périodes varie entre 2,18 et 9,35m (fig 50).

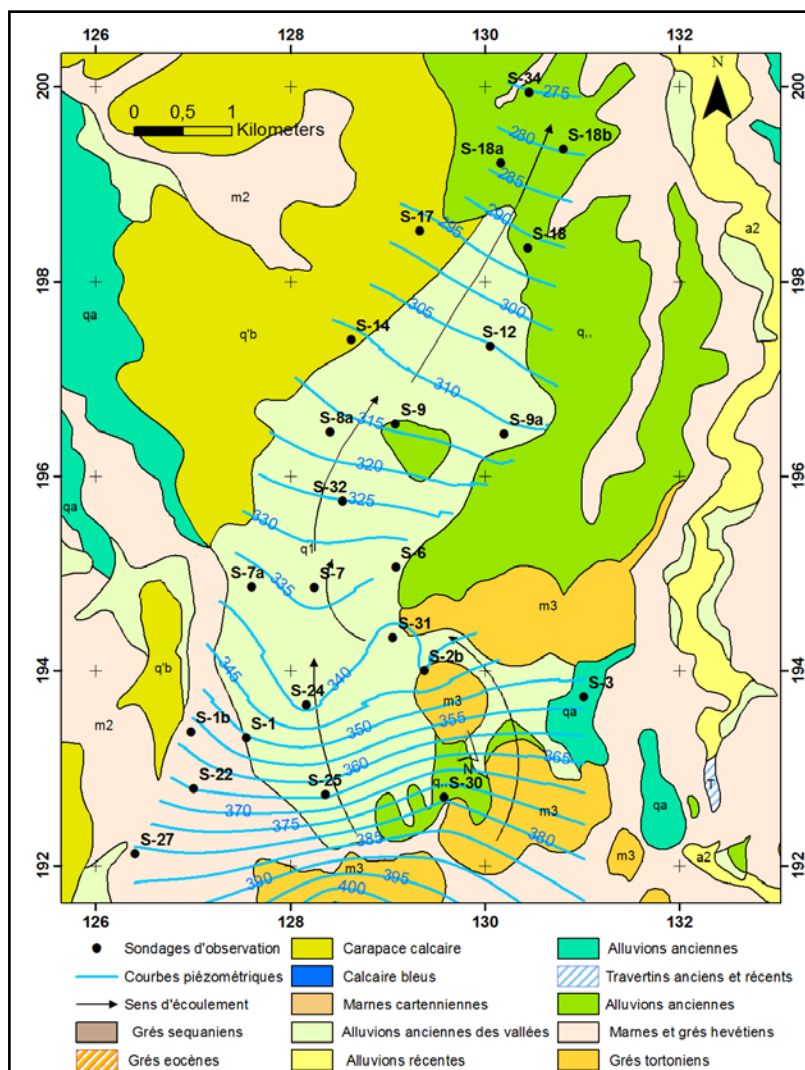


Figure 51 : Carte piézométrique (juin, juillet 1969).

#### IV.4.2) Gradient hydraulique :

$$\text{gradient hydraulique } i = \Delta H / L$$

Où ;

$\Delta H$  : Différence de potentielle

L : L'équidistance des isopièzes.

**Au sud**       $L=0.144 \text{ m}$        $\Delta H=375-370=5 \text{ m}$        $i = \frac{5}{.14410^3} = 0.0347$

**Au centre**       $L=0.364 \text{ m}$        $\Delta H=320-315=5\text{m}$        $i = \frac{5}{0.364 \cdot 10^3} = 0.013$

**Au nord-est**       $L=0.638 \text{ m}$        $\Delta H=280-275=5\text{m}$        $i = \frac{5}{.638 \cdot 10^3} = 0.0078$

Au nord, le gradient hydraulique est beaucoup plus faible par rapport au sud. Ceci est du à la perméabilité des grès qui est plus faible que celle des conglomérats.

Le gradient hydraulique de l'horizon aquifère à Ain Boukora  $i=0.007$

**IV.4.3) Profondeur de la nappe :**

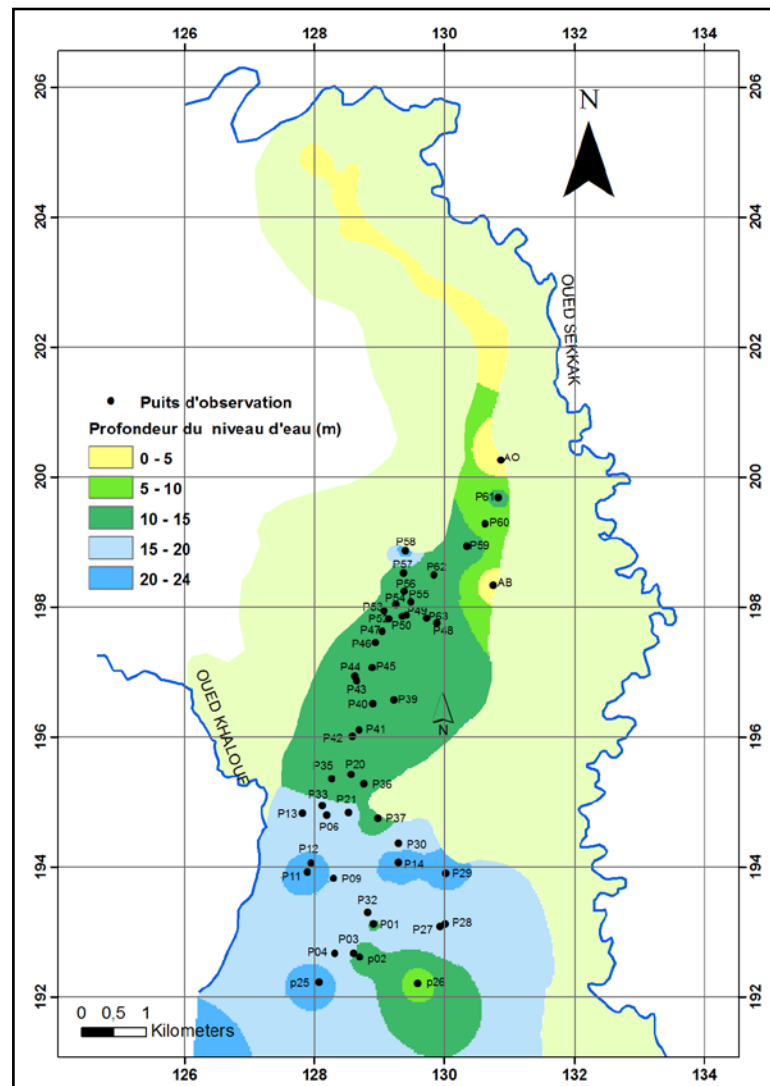


Figure 52 : Carte de profondeur.



On remarque que la profondeur du niveau d'eau de la nappe décroît à mesure que l'on avance vers le nord (fig 52).

#### IV.5) Caractéristiques hydrodynamique :

La détermination des caractéristiques hydrodynamiques (Transmissivité, perméabilité, coefficient d'emménagement) a été effectuée sur la base des données des essais de pompage réalisés par le bureau d'étude Technoexportstroy.

##### IV.5.1) Transmissivité :

La figure 53 montre la répartition spatiale de la transmissivité dans la plaine d'Hennaya.

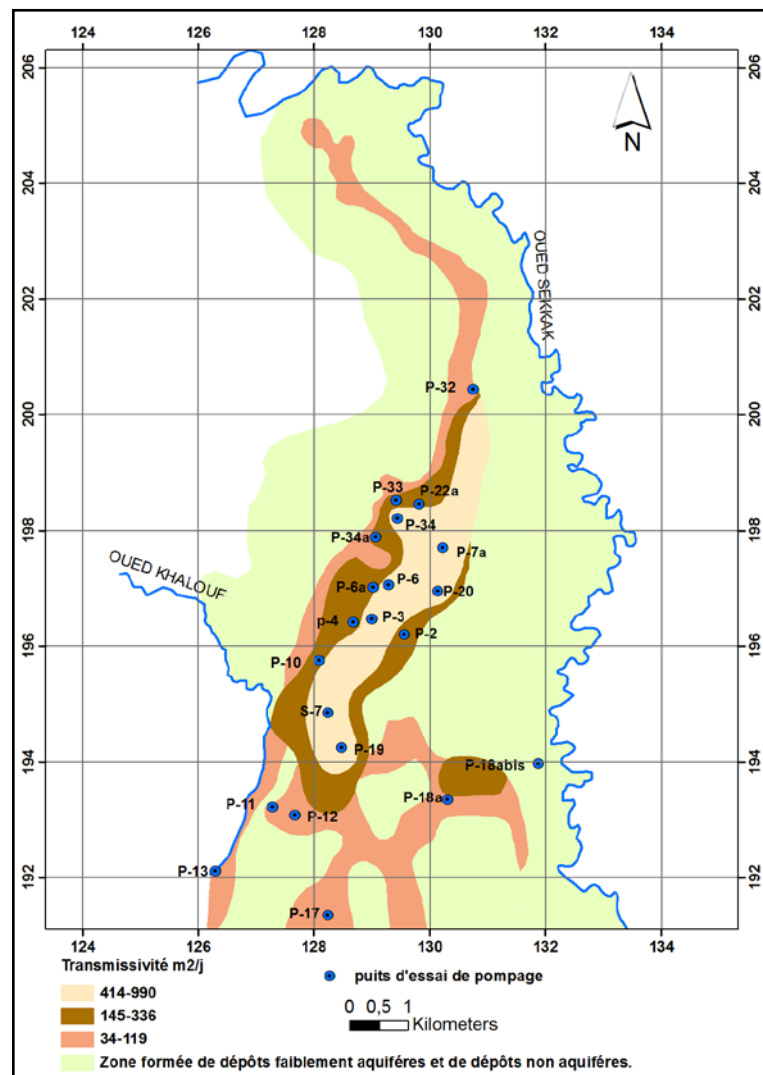


Figure 53: Carte de Transmissivité

- **T** variant de  $414 - 990 m^2/j$  zone d'abondance en eau forte des horizons aquifères conglomérats, travertins et graviers, les débits varient de 8 à 14,2 l/s.
- **T** variant de  $145 - 336 m^2/j$  zone d'abondance en eau moyenne dans l'horizon aquifère conglomérats, graviers et graviers argileux, les débits varient de 4 à 7 l/s.
- **T** variant de  $34-119 m^2/j$  zone d'abondance en eau faible horizon aquifère tortonien. , les débits varient de 0,6 à 3,4 l/s.

#### IV.5.2) Perméabilité :

On remarque que la perméabilité est plus importante au centre de la plaine dans les conglomérats et plus faible au sud dans les grés (fig 54).

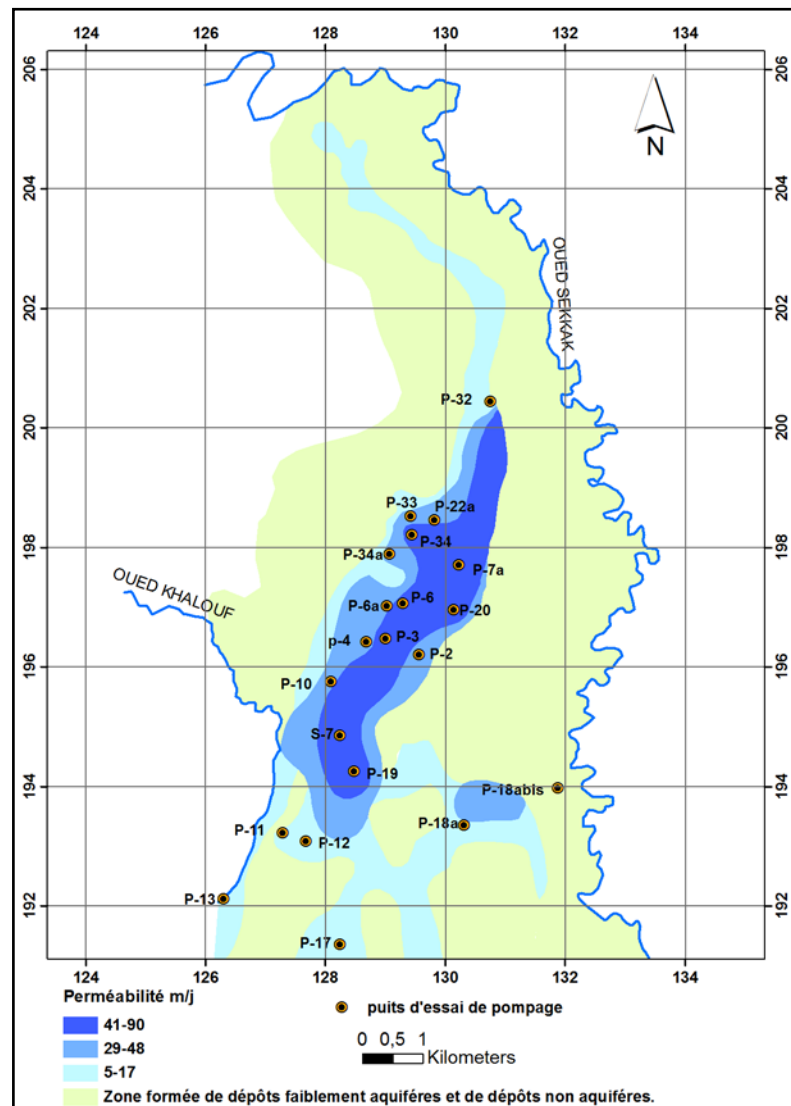


Figure 54 : Carte de perméabilité.

#### IV.6) Calcul du volume des formations aquifères :

Le calcul du volume de l'aquifère se fait à l'aide de l'outil surface différence du logiciel Arcgis (figure 55) avec la superposition des deux cartes substratum imperméable (fig. 41), toit de l'aquifère (fig. 56).

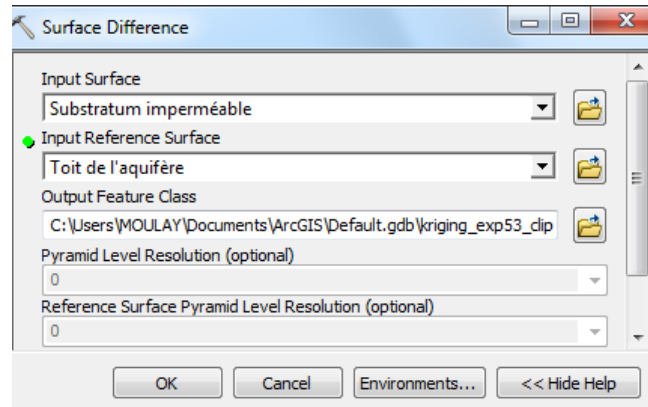


Figure 55 : Outil Surface Différence.

Le volume total des formations aquifères calculé est de  $111. 10^6 \text{ m}^3$ .

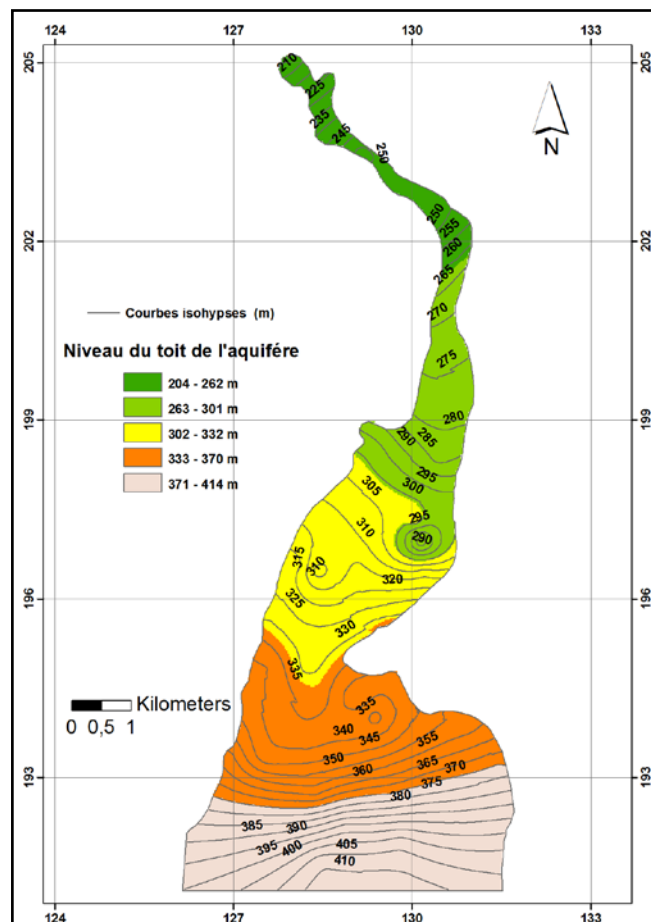


Figure 56 : Carte du toit de l'aquifère.

#### IV.7) Calcul du volume d'eau :

$$\text{Volume d'eau} = S.V_T$$

**S** : Coefficient d'emménagement

**V<sub>T</sub>** : Le volume total des formations aquifères.

Le coefficient d'emménagement a été déterminé par des essais de pompage varie de 0,196 à 0,226. Nous garderons la valeur moyenne  $S=0,2$ .

$$V_{\text{d'eau}} = 0,2 \cdot 111 \cdot 10^6 = 22,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Ce volume d'eau dépend de l'épaisseur de la couche saturée lors des essais de pompage.

#### IV.8) Calcul du débit de l'alimentation du Sud :

Sur la base de la carte piézométrique établie en juin 2011, nous avons pu calculer le débit  $Q=K.i.e$ .

**K** : perméabilité.

**i** : gradient hydraulique

**e** : épaisseur de la couche saturé.

$$\text{Avec } \Delta H = 375 - 370 = 5\text{m} \quad l = 0,16 \cdot 10^3 \text{ m} \quad i = 0,031$$

Sur la base des cartes d'interpolation de la surface piézométrique et de perméabilité, la moyenne de 50 pts des valeurs  $K$  et  $e$  sur la courbe piézométrique 375 m nous donnent les résultats suivants :

$$K_{\text{moyen}} = 12,7 \text{ m/j}$$

$$e_{\text{moy}} : \text{épaisseur moyenne} = 2,38 \text{ m}$$

**L** : longueur de la courbe piézométrique aux limites est de 5,75 Km

$$Q = 5,387 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{j} = 62,3 \text{ l/s.}$$

**IV.9) Calcul de la recharge efficace de l'aquifère(I), bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite :**

Le vecteur régional d'Hennaya (Tableau 14) est calculé avec la moyenne mensuelle par l'application de la méthode des isohyètes pour le bassin de la plaine d'Hennaya exemple (fig. 57) pour le mois de juillet.

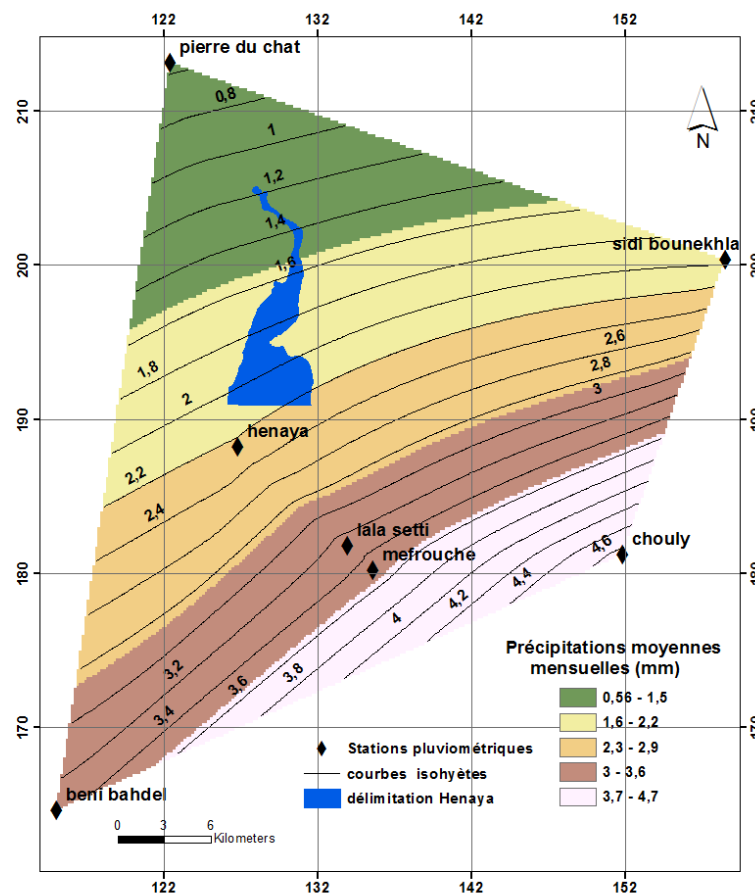


Figure 57 : Carte d'isohyètes. Mois de juillet

Tableau 14: Vecteur Hennaya

Mois	S	O	N	D	j	F	M	A	M	J	J	A
<b>Vecteur Hennaya</b>	17,41	29,72	51,6	44,82	47,07	50,57	49,86	43,74	33,85	5,96	1,92	3,93

**Calcul de la réserve facilement utilisable :** La réserve utile RU est égale au volume d'eau emmagasiné dans le sol et disponible pour les plantes. La RU dépend de la texture du sol et de la profondeur exploitable par les racines. Elle est définie en mm (Perarnaud et Raynal, 1991).

$$RU = d \times H_{PC} - H_{Pf} / 100 \times Z$$

$d$  : densité apparente du sol

$H_{PC}$  : humidité pondérale à la capacité au champ  $H_C$

$H_{Pf}$  : Humidité pondérale au point de flétrissement  $H_f$

$Z$  : épaisseur du sol exploré par les racines, en mm

Profitant de bonnes conditions pédologiques, l'INRA (Perarnaud et Raynol, 1991) a mesuré les profondeurs d'enracinement de plusieurs plantes cultivées (tableau 15).

Tableau 15: Profondeur d'enracinement de différentes plantes cultivées.

Cultures	Profondeur d'enracinement (Cm)	Cultures	Profondeur d'enracinement (Cm)
Colza	60	Blé	50 à 150
Prairie	70 à 90	Mais	50 à 130
Trèfle luzerne	50 à 130	Pomme de terre	50
Orge	20 à 50	Betterave	50 à 150

Le sol limoneux argileux de la plaine d'Hennaya est peu profond avec une valeur moyenne de 80 cm. On prend  $Z = 80$  cm.

$(H_{PC} - H_{Pf}) = 20\%$  pour un sol limoneux argileux.

$d = 1$

$RU = 160$  mm

La réserve facilement utilisable correspond à la moitié ou aux deux tiers de la RU.

Nous retiendrons  $R_{FU} = 160/2 = 80$  mm.

Tableau 16: Calcul du bilan hydrologique pour la plaine d'Hennaya.

mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	total
<b>P</b>	47,07	50,57	49,86	43,74	33,85	5,96	1,92	3,93	17,41	29,72	51,6	44,82	380,45
<b>ETP</b>	20,83	24,39	39,27	52,97	82,07	118,5	155,75	152,99	109,59	73,35	39,88	25,62	895,21
<b>P-ETP</b>	26,24	26,18	10,59	9,23	48,22	112,54	153,83	149,06	92,18	43,63	11,72	19,20	514,76
<b>ETP-P</b>	26,24	26,18	10,59	9,23	48,22	112,54	153,83	149,06	92,18	43,63	11,72	19,20	-
<b>RFU</b>	57,16	80	80	70,77	22,55	0	0	0	0	0	11,72	30,92	-
<b>ETR</b>	20,83	24,39	39,27	52,97	82,07	28,46	1,92	3,93	17,41	29,72	39,88	25,62	366,47
<b>EXEDENT</b>	0	3,34	10,59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Excédent =  $R + I = 14$  mm.

Le ruissellement dans la plaine d'Hennaya est peu important, le relief est pratiquement plat. Les pentes varient en général de 0 à 2%. Par conséquent, nous pouvons négliger le terme ruissellement  $R$  qui dépend très fortement des conditions topographiques locales.

$I$  (Infiltration) = 14 mm.

### CONCLUSION :

La plaine d'Hennaya renferme un aquifère alluvionnaire d'une capacité d'environ 22 millions  $m^3$  avec une épaisseur importante dans la partie centrale et beaucoup plus faible en allant vers le nord. Le gradient hydraulique diminue du sud vers le nord et les paramètres hydrodynamiques sont plus importants au centre de l'aquifère. L'étude piézométrique met en évidence des limites étanches à flux nul à l'est et à l'ouest contrairement au sud constituant l'alimentation principale de l'aquifère par rapport à la recharge qui est plus faible.

### V.1) Etude physico-chimique des eaux souterraines de la nappe d'Hennaya :

L'étude du chimisme des eaux nous permet d'identifier leurs faciès chimiques, leur qualité de potabilité et leur qualité d'eau d'irrigation. Cette étude aide également à suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et de déterminer leurs origines.

#### V.1.1) Echantillonnage :

La figure n° 58 indique le nombre d'échantillons par fréquence de prélèvement. Un total de 109 échantillons a été effectué durant la période des trois campagnes piézométriques.

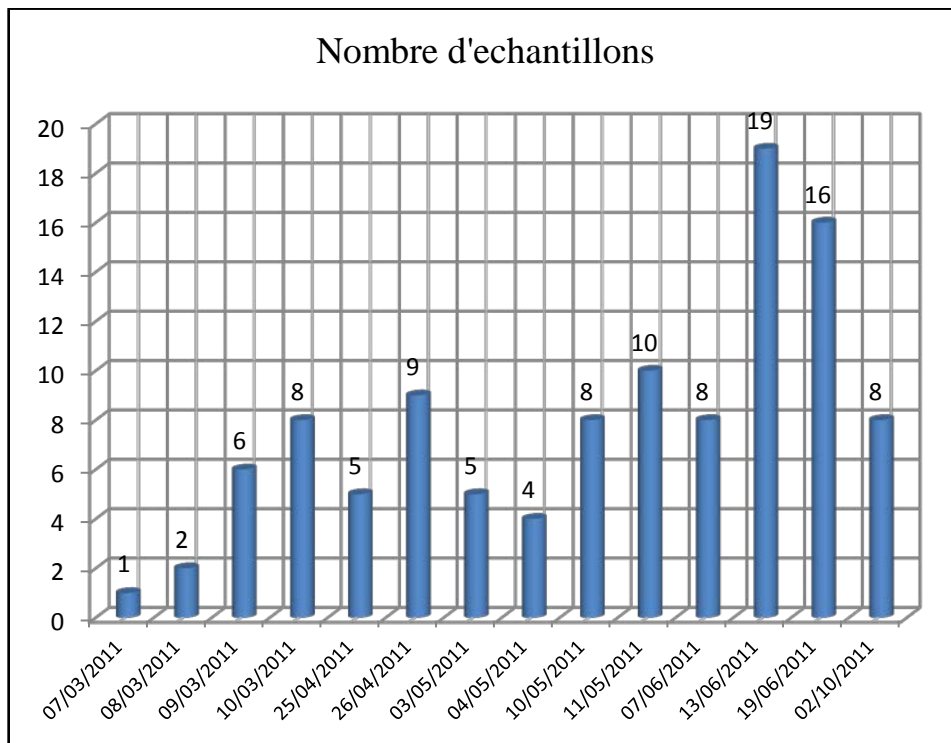


Figure 58 : Nombres d'échantillons



Les mesures de température, pH et conductivité ont été réalisées *in situ* sauf pour les prélèvements en date du 02/10/2011 où l'on a enregistré uniquement la température de l'eau faute de disponibilité d'appareil.

### V.1.2) Laboratoire d'analyse :

Tableau 17: Laboratoires d'analyse.

Laboratoire	Nombre d'échantillons analysés	Date de prélèvement	Série
Laboratoire de Science de la terre Université Tlemcen	21	07, 08, 09, 10,25/03/2011	1
Laboratoire Vétérinaire de Tlemcen	14	26/04,03/05/2011	2
	38	07, 13,19/06/2011	4
Laboratoire de l'INSID Alger	26	03, 04, 10,11/05/2011	3
Laboratoire de l'A.N.R.H Oran	08	02/10/2011	5

### V.1.3) Contrôle des résultats de l'analyse :

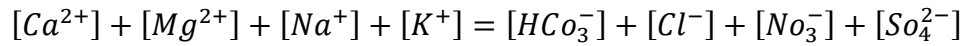
La qualité des analyses chimiques a été contrôlée en utilisant le logiciel *Diagramme* développé par le laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon.

#### V.1.3.1) La procédure de contrôle :

Pour l'interprétation des résultats d'analyses, la procédure de contrôle a comporté quatre étapes :

##### ➤ 1<sup>ère</sup> étape : Calcul de la balance ionique

La vérification de l'équation d'électro-neutralité pour un pH voisin de 7, la somme des anions doit correspondre à la somme des cations exprimés en meq.



En pratique, il existe un écart entre ces deux chiffres.

La formule utilisée par le logiciel pour calculer l'erreur est donnée par :

$$\frac{(\sum cations - \sum anions)}{\sum cations + \sum anions} * 100$$

La balance ionique doit être équilibrée. On admet généralement une erreur de 5% dans le cas où elle est inférieure à 1%. Les résultats d'analyses ont probablement été falsifiés ou arrangés.

➤ **2<sup>ème</sup> étape : Vérification de la cohérence de la conductivité mesurée et calculée**

En dehors de 25°C, une correction a été effectuée de la conductivité d'après la formule suivante :  $C_{25^\circ C} = C_T \times f$

$C_T$  : la conductivité obtenue à la température lue par le thermomètre.

$f$  : le facteur de correction de la température.

Les appareils de mesure utilisés effectuent en général cette conversion. Pour estimer la conductivité électrique à partir de la composition chimique élémentaire 05 méthodes sont utilisées par le logiciel, à savoir :

- WATQ Debye – Huckel
- Debye – Huckel simple
- Debye – Huckel
- Gum telberg
- Davies

La conductivité électrique mesurée est comparée à la fourchette des 05 estimations. On admet en général une erreur de 10%.

➤ **3<sup>ème</sup> étape : Vérification de la cohérence entre pH et alcalinité**

Dans les cas où l'alcalinité n'est pas mesurée, une estimation est donnée par la balance ionique.

Le titre alcalimétrique complet en *meq/l*.

$$TAC = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H_3O^+]$$

Pour un  $pH < 8,2$   $TAC = [HCO_3^-]$

Si  $TAC < 0$  alors  $pH < \log_{10}(-TAC) + \varepsilon$

$\varepsilon$  : dû au coefficient d'activité de  $H^+$

Si  $TAC > 0$  alors  $pH < 14 - \log_{10}(TAC)$

➤ **4<sup>ème</sup> étape : Vérification entre la conductivité mesurée *in situ* et au laboratoire.**

Les résultats doivent être proches.

**V.1.3.2) Test des échantillons analysés :**

Pour les séries 1 et 2 l'analyse physico-chimique est incomplète faute de disponibilité des réactifs au niveau du laboratoire.

➤ **Test de balance ionique :**

En ce qui concerne les séries 3 et 5 l'analyse physico-chimique est complète mais l'on peut remarquer que seule la dernière série présente une balance ionique correcte (figures 59 et 60).

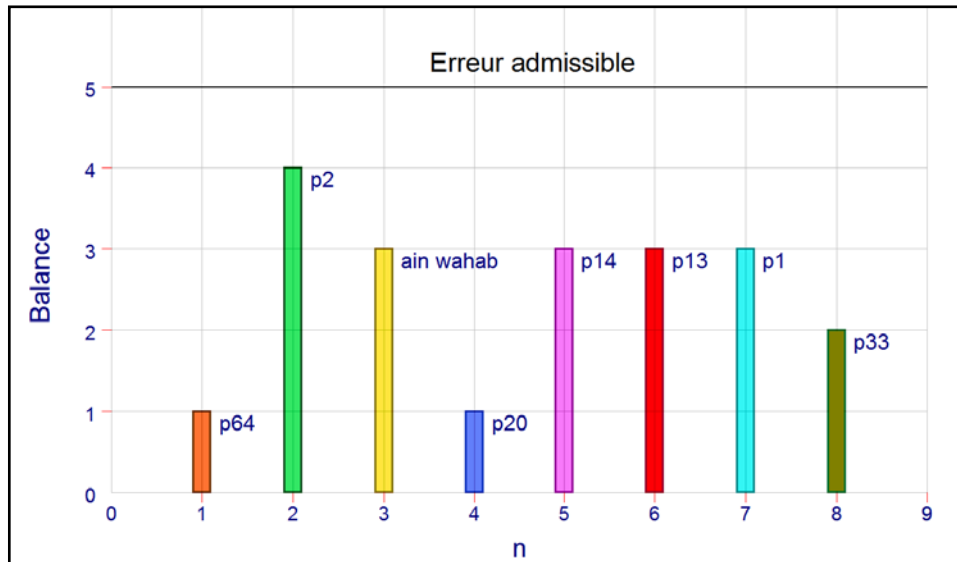


Figure 59 : Balance ionique de la série 5

Pour toute la série il y a un équilibre entre cations et anions et l'erreur est comprise entre 1 et 4%.

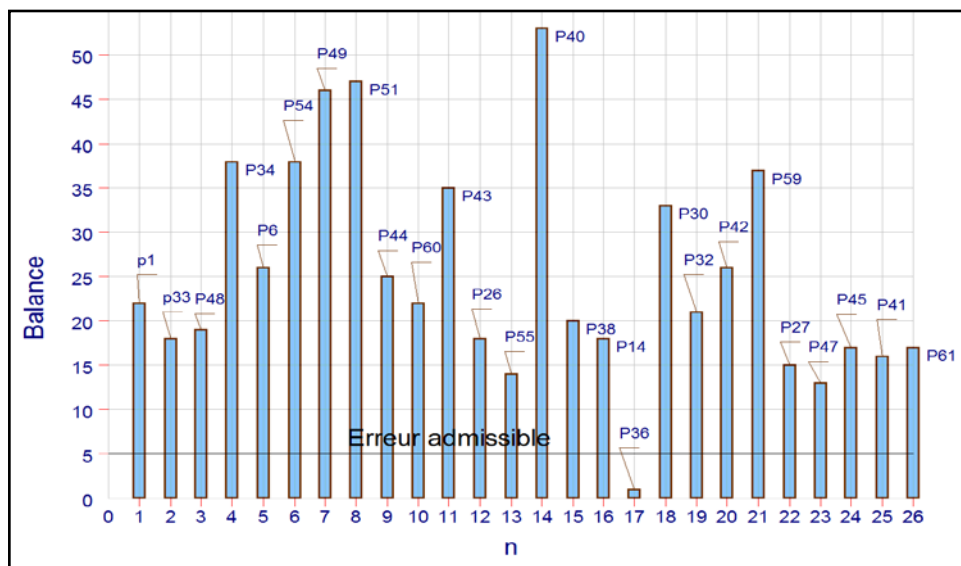


Figure 60 : Balance ionique de la série 3

Nous pouvons observer un déséquilibre de charges et l'erreur est comprise entre 13 et 53%, sauf pour l'échantillon P36 où l'erreur est de 1%.

➤ **Test de la conductivité : Pour la série 5**

Les échantillons analysés présentent une erreur comprise entre 0 et 8% inférieure à la fourchette admise avec le calcul de 05 approximations du logiciel (fig 61).

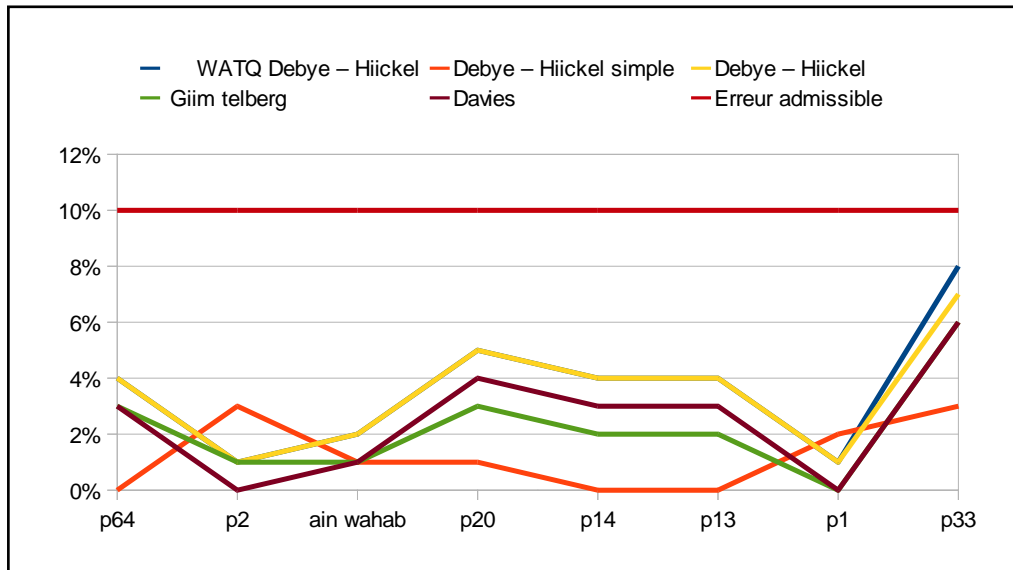


Figure 61 : Conductivité avec les 05 approximations.

➤ **Test de la cohérence entre pH et alcalinité :**

Les résultats dans le tableau 18 montre que pour la totalité des échantillons l'alcalinité est positive et le  $pH < 14 - \log_{10}(TAC)$  .

Tableau 18: Test PH

N°	Nom d'échantillons	TAC>0 meq/l	(14 - log <sub>10</sub> TAC)	pH
1	P64	5,981	13,22	7,21
2	P2	8,751	13,05	7,25
3	Ain Wahab	6,965	13,15	7,24
4	P20	7,522	13,12	7,18
5	P14	8,538	13,06	7,18
6	P13	8,538	13,06	7,22
7	P1	7,735	13,11	7,26
8	P33	8,604	13,06	7,18

**V.1.3.3) Conclusion :**

Après analyse et test de contrôle des échantillons seuls les 08 échantillons de la série 05 analysée par l'A.N.R.H sont retenus pour l'interprétation.

#### V.1.4) Normes de qualité :

Les eaux souterraines de la plaine d'Hennaya sont destinées pour AEP et l'irrigation, donc elles doivent répondre aux deux normes (Tableaux 19 et 20).

➤ Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 Mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine :

Tableau 19: Paramètres avec valeurs indicatives et limites.

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
<b>Paramètres organoleptiques</b>	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
<b>Paramètres physico chimique en relation avec la structure naturelle des eaux</b>	Alcalinité	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	500
	Calcium	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	μ S/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
Température	°C	25	
<b>Un des paramètres chimiques</b>	Paramètres	Unités	Valeurs limites
	Nitrates	mg/l	50
	Ammonium	mg/l	0,5

➤ (FAO ,1988) Bulletin n°29 :

Tableau 20: Barème de qualité pour l'eau d'irrigation

Type de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	Légère	Elevée
Salinité ■ Conductivité (ds/cm)	< 0,57	0,75 – 3	> 3
■ Matières dissoutes	< 700	700 - 2000	> 2000
RAS (ration d'absorption du Sodium)	< 3	9	> 9
Alcalinité ou dureté équivalent en CaCO <sub>3</sub>	80 – 120	120 – 200	> 200
pH (risque de colmatage)	< 7	7 – 8	> 8
Fe mg/l (risque de colmatage)	< 0,2	0,2 – 1,5	>1,5

### V.1.5) Caractéristiques physico-chimiques et Interprétation des résultats d'analyse:

Les résultats d'analyses sont interprétés en fonction des normes relatives à la qualité de l'eau de consommation humaine et à l'eau d'irrigation.

#### ➤ L'alcalinité :

L'alcalinité mesure le pouvoir de l'eau à neutraliser les acides. Ce pouvoir est attribué à la présence des bicarbonatés de calcium et de magnésium dissous dans l'eau (fig. 62).

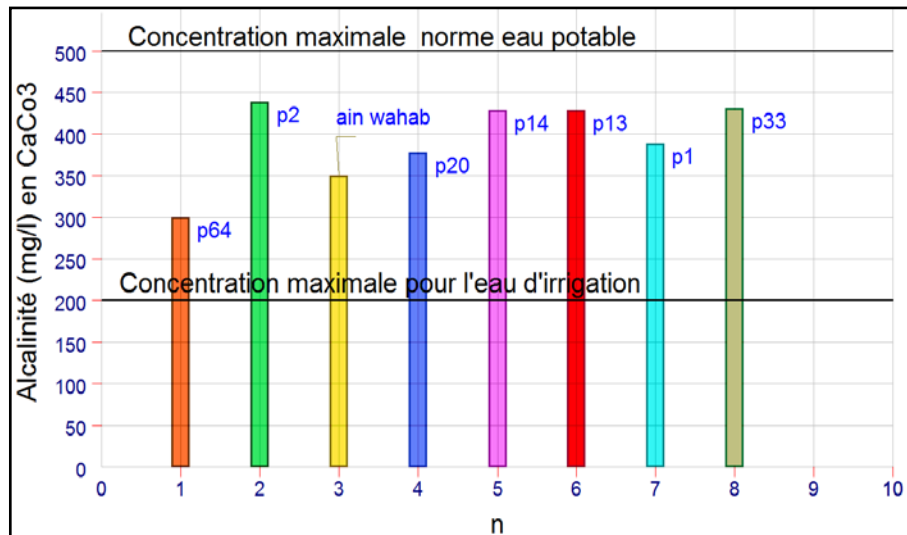


Figure 62 : Alcalinité des échantillons analysés au laboratoire.

Les échantillons des points d'eau analysés respectent les normes de potabilité mais dépassent largement les normes d'irrigation.

➤ **Calcium :**

Le calcium est un alcalino-terreux extrêmement répandu dans les roches calcaires sous forme de carbonatés.

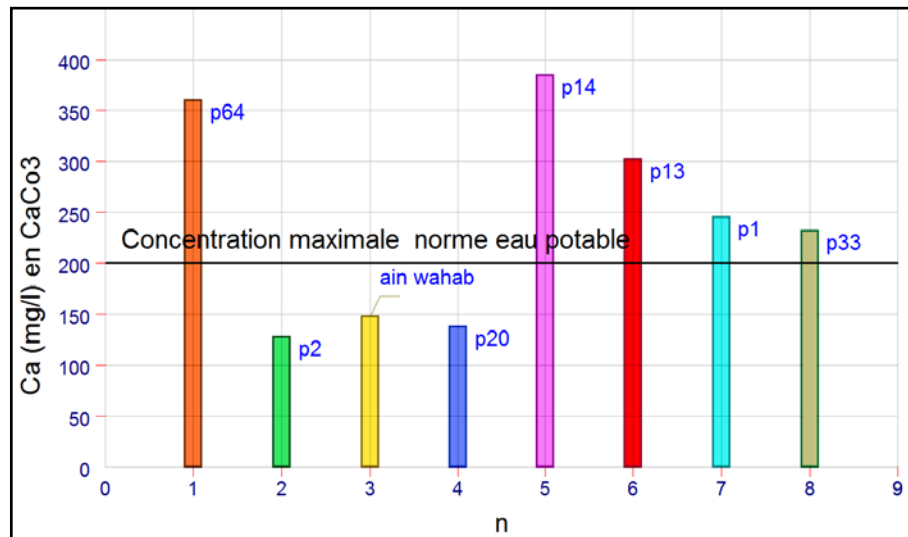


Figure 63 : Concentration en calcium des échantillons analysés au laboratoire.

On remarque que les teneurs en calcium des puits 64, 14, 13, 1 et 3 dépassent les normes de potabilité (fig. 63).

➤ **Les Chlorures :**

Les concentrations variables de chlorures dépendent de la nature des terrains traversés. Des concentrations importantes dépassant les 25 mg/l ont pour origine la traversée des marnes salifères, les rejets d'eau usée, les infiltrations dans les nappes des eaux de surface chargée en chlorure de sodium ainsi que l'eau de mer.



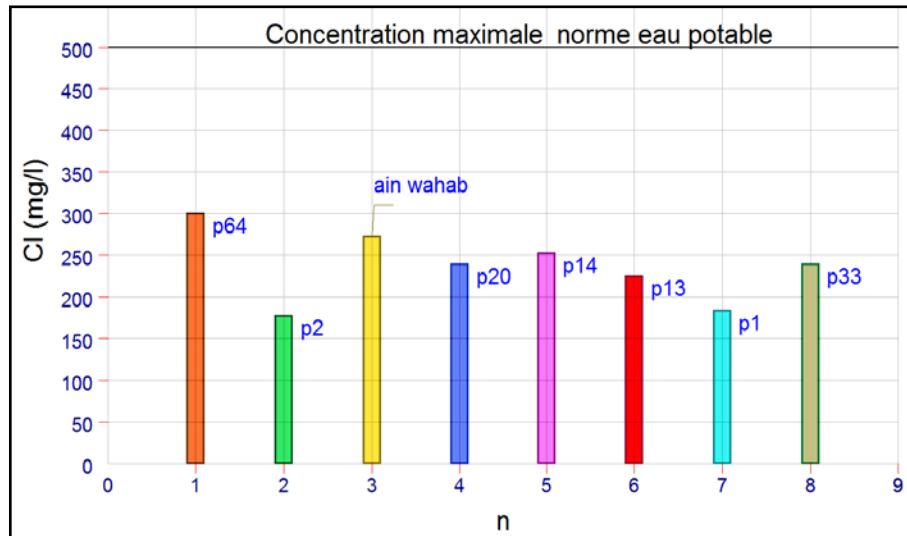


Figure 64 : Concentration en Chlorures.

Toutes les valeurs de concentration en chlorure sont inférieures au critère de qualité d'eau potable (fig. 64).

➤ **Concentration en ions d'hydrogène :**

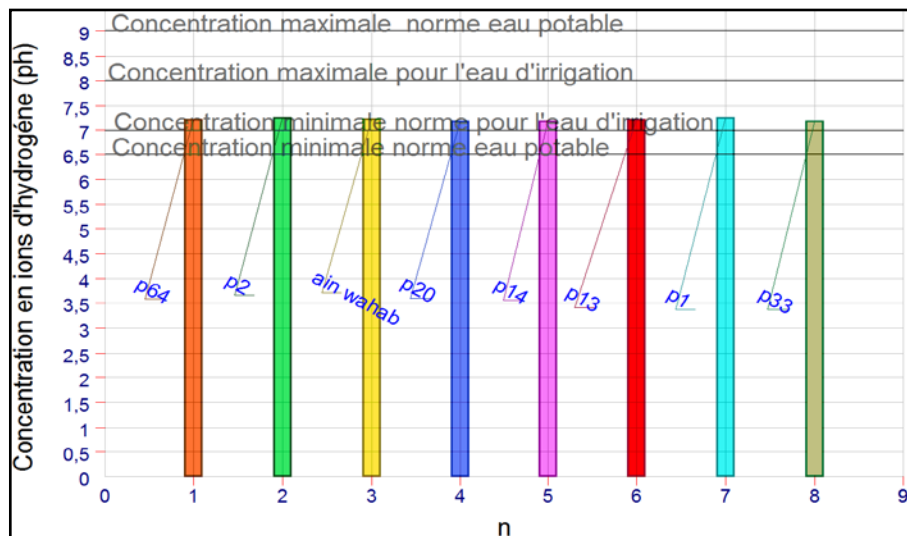


Figure 65 : Concentration en ions d'Hydrogène.

Le pH indique le degré d'activité ou d'alcalinité de l'eau.

- pH = 7      —————>    eau neutre.
- pH > 7     —————>    eau alcaline.
- pH < 7     —————>    eau acide.

Les valeurs du pH varient entre 7,18 et 7,26 avec de très faibles variations d'un point d'eau à un autre. Tous les échantillons analysés présentent une concentration en ions d'hydrogène circonscrite au domaine 6,5-9 respectant les normes de potabilité et la qualité de l'eau pour l'irrigation (fig. 65).

➤ **Conductivité :**

La mesure de la conductivité électrique renseigne avec une bonne approximation sur la salinité de l'eau. Elle est proportionnelle à la quantité des sels (ions) dissous dans l'eau. Une conductivité élevée traduit une salinité élevée (Tableau 21).

Tableau 21: Classification FAO 1985

	Conductivité en $\mu$ s/cm
<b>Eau non saline</b>	< 700
<b>Eau légèrement saline</b>	700 – 3000
<b>Eau modérément saline</b>	3000 – 6000
<b>Eau très saline</b>	> 6000
<b>Eau très fortement saline</b>	> 14000
<b>Saumure</b>	> 42000

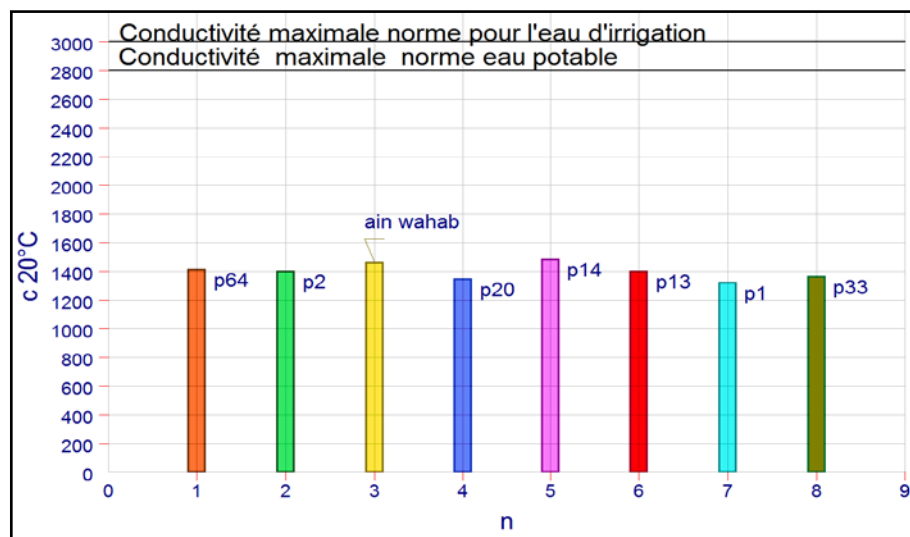


Figure 66 : Conductivité.

L'eau des points d'eau analysée ont des valeurs de conductivité largement inférieure à la norme (fig. 66).

➤ **Dureté de l'eau :**

La dureté représente la quantité de calcium et magnésium contenue dans l'eau. Elle est responsable de l'entartrage et de la consommation excessive de savon.

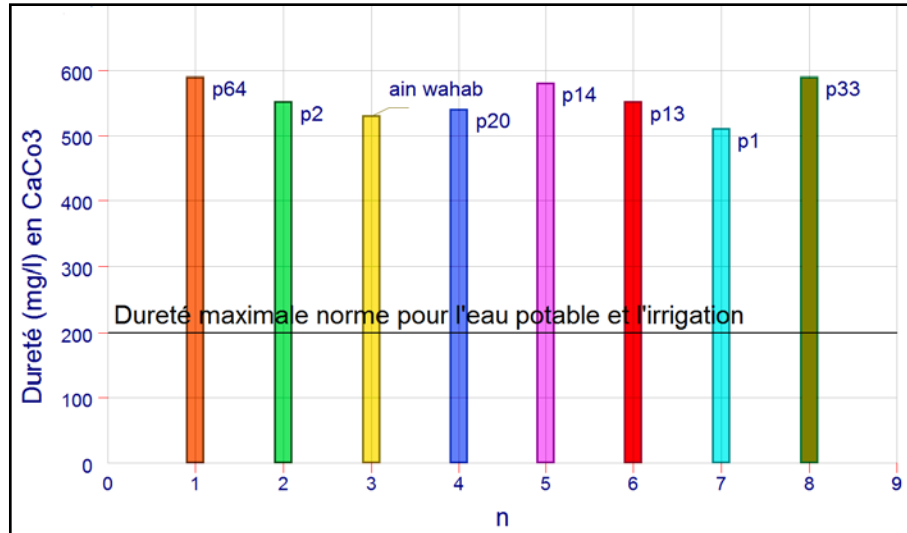


Figure 67 : Dureté.

Tableau 22: Degré de la dureté de l'eau.

Dureté en mg/l CaCO <sub>3</sub>	Degré relatif de la dureté
0 – 50	Très douce
50 – 100	Douce
100 – 200	Modérément douce
200 – 300	Dure
> 300	Très dure

L'eau des points d'eau analysés est très dure (Tableau 22) et dépasse largement les normes de potabilité et d'irrigation (fig. 67).

➤ **Potassium :**

Le potassium est un élément naturel dans l'eau, sa concentration est pratiquement constante. Elle ne dépasse pas 10 à 15 mg/l. Des teneurs élevés de cette substance peuvent provenir des mines de sels et de potasse ou du rejet d'engrais.

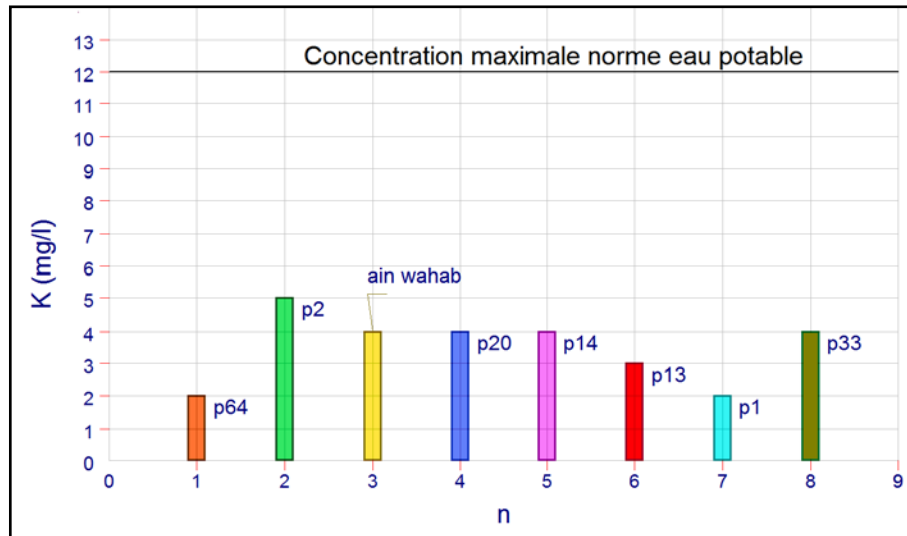


Figure 68 : Concentration en Potassium.

Nous constatons que les teneurs sont largement en dessous de la limite des normes de potabilité (fig. 68).

➤ **Minéralisation :**

La conductivité caractérise le degré de minéralisation de l'eau. Toutefois, la minéralisation de l'ensemble des résidus (sel et minéraux) pesés après évaporation de l'eau n'est pas rigoureusement la même avec celle calculée à partir de la conductivité (Tableau 23).

Tableau 23: Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité.

Conductivité ( $\mu$ s/cm)	Minéralisation mg/l
Conductivité comprise entre 333 et 833 $\mu$ s/cm	0,715920 x conductivité ( $\mu$ s/cm) à 20°C
Conductivité comprise entre 833-10000 $\mu$ s/cm	0,758544 x conductivité à 20°C

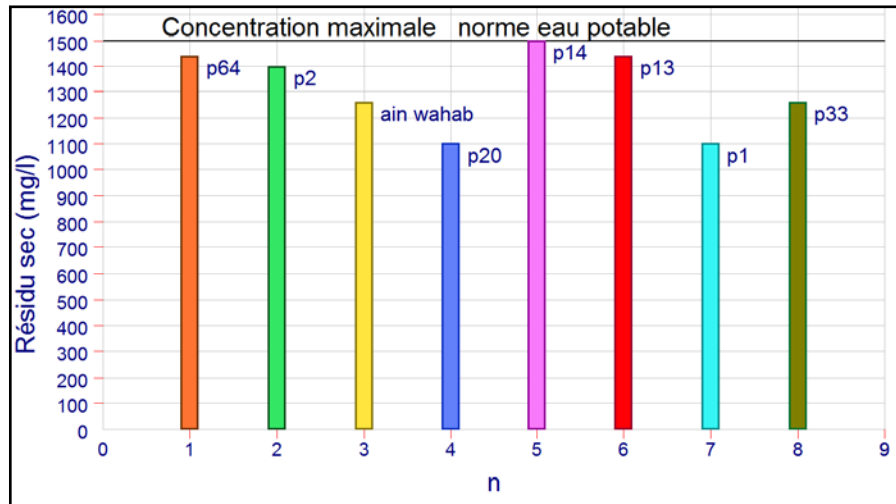


Figure 69 : Résidu sec analysé au laboratoire.

Tous les points d'eau analysés présentent une concentration en résidu sec conforme à la norme de potabilité (fig. 69).

Tableau 24: Relation entre minéralisation et conductivité à 20°C.

100 $\mu\text{s/cm}$ < conductivité < 200 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation faible
200 $\mu\text{s/cm}$ < conductivité < 333 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation moyenne
333 $\mu\text{s/cm}$ < conductivité < 666 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
666 $\mu\text{s/cm}$ < conductivité < 1000 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation importante
conductivité > 1000 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation élevée

On remarque que les échantillons analysés *in situ* et au laboratoire ont une minéralisation supérieure à 1110  $\mu\text{s/cm}$ , ce qui veut dire que les eaux souterraines de la plaine d'Hennaya présentent une minéralisation élevée (fig. 70).

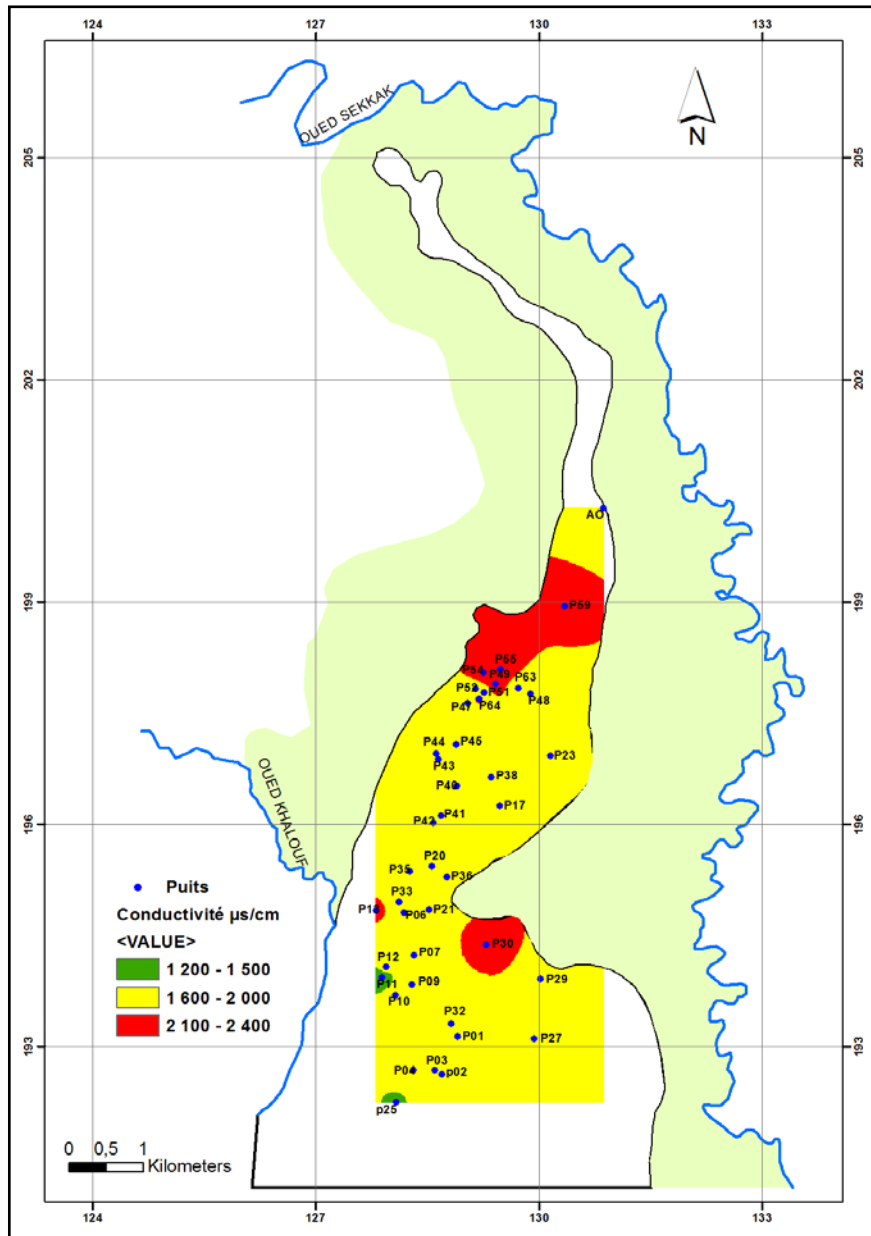


Figure 70 : Conductivité mesurée en juin 2011.

### ➤ Sodium :

Le sodium est un élément très répandu dans la nature. Des quantités importantes sous forme de chlorure NaCl donnent un goût salé à l'eau qui peut être toxique pour les cultures sensibles. Pour les raisons de qualité organoleptique, la concentration de sodium dans l'eau potable est fixée à un maximum de  $200 \text{ mg}/\text{l}$ . Un dépassement de ce niveau donne un goût désagréable à l'eau.

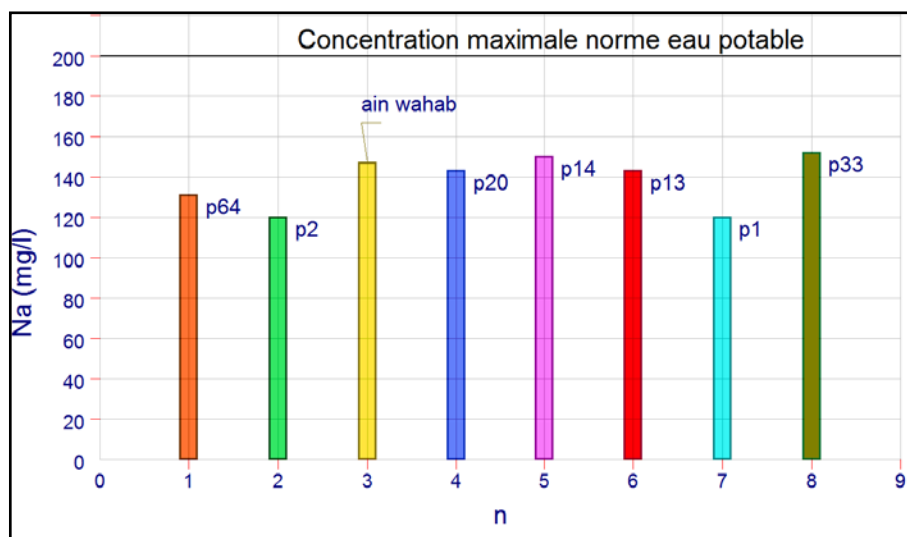


Figure 71 : Concentration de Sodium

Pour tous les points d'eau analysés aucun dépassement n'est observé .Ceci est conforme aux critères de qualité de l'eau potable (fig 71).

➤ **Sulfate :**

Les eaux naturelles contiennent des ions de sulfates en quantités variables. Leur présence dans l'eau résulte de la solubilité des minéraux dans le sol de certaines roches (gypses) et de l'oxydation des sulfures métalliques. Ils peuvent aussi provenir de l'utilisation des hydrocarbures émettant des composés soufrés et contribuant à la formation de pluies acides, des industries qui déversent des effluents chargés en sulfates et des engrais utilisés pour les cultures fruitières.

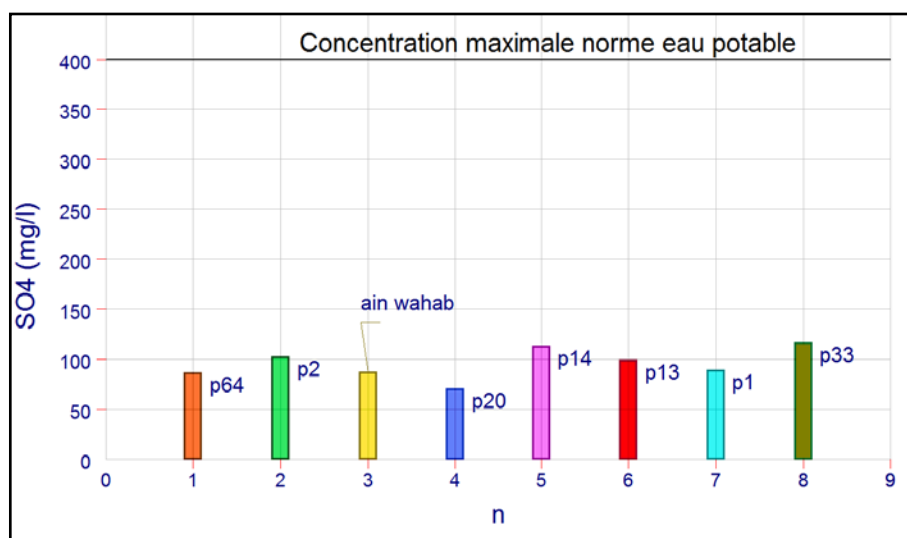


Figure 72 : Concentration en Sulfates.

Les teneurs en sulfate des points d'eau analysés sont largement inférieures aux normes de qualité d'eau potable (fig 72).

➤ **Température :**

La température relevée de tous les échantillons analysés *in situ* est inférieure à 25°C.

➤ **Les nitrates :**

Toutes les formes d'azote (azote organique, anionique, nitrites, etc...) peuvent être à l'origine des nitrates par processus d'oxydation biologique. Ils se trouvent dans la plupart des eaux et dans les plantes qui sont nécessaires à la synthèse des végétaux. Des concentrations importantes constituent un bon indicateur de pollution azotée des eaux souterraines et superficielles dont l'origine essentielle se rapporte aux engrais et aux rejets d'eaux usées.

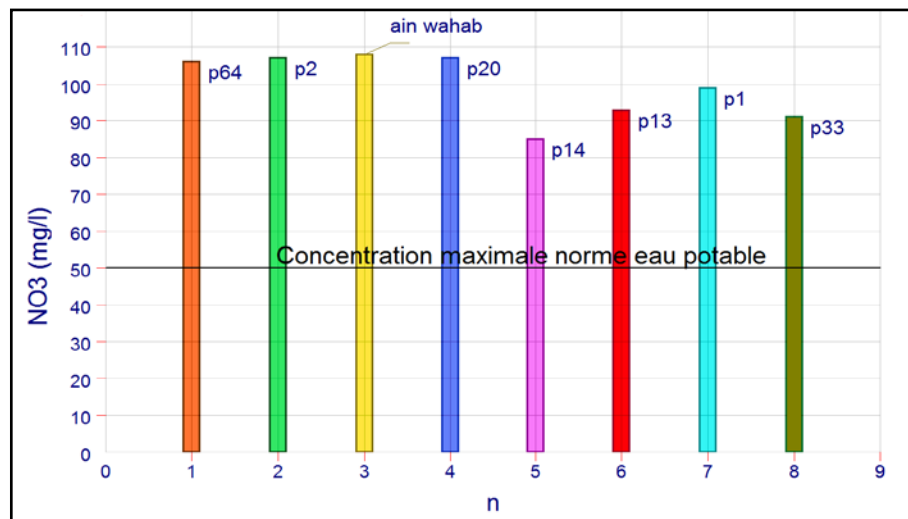


Figure 73 : Concentration en Nitrates.



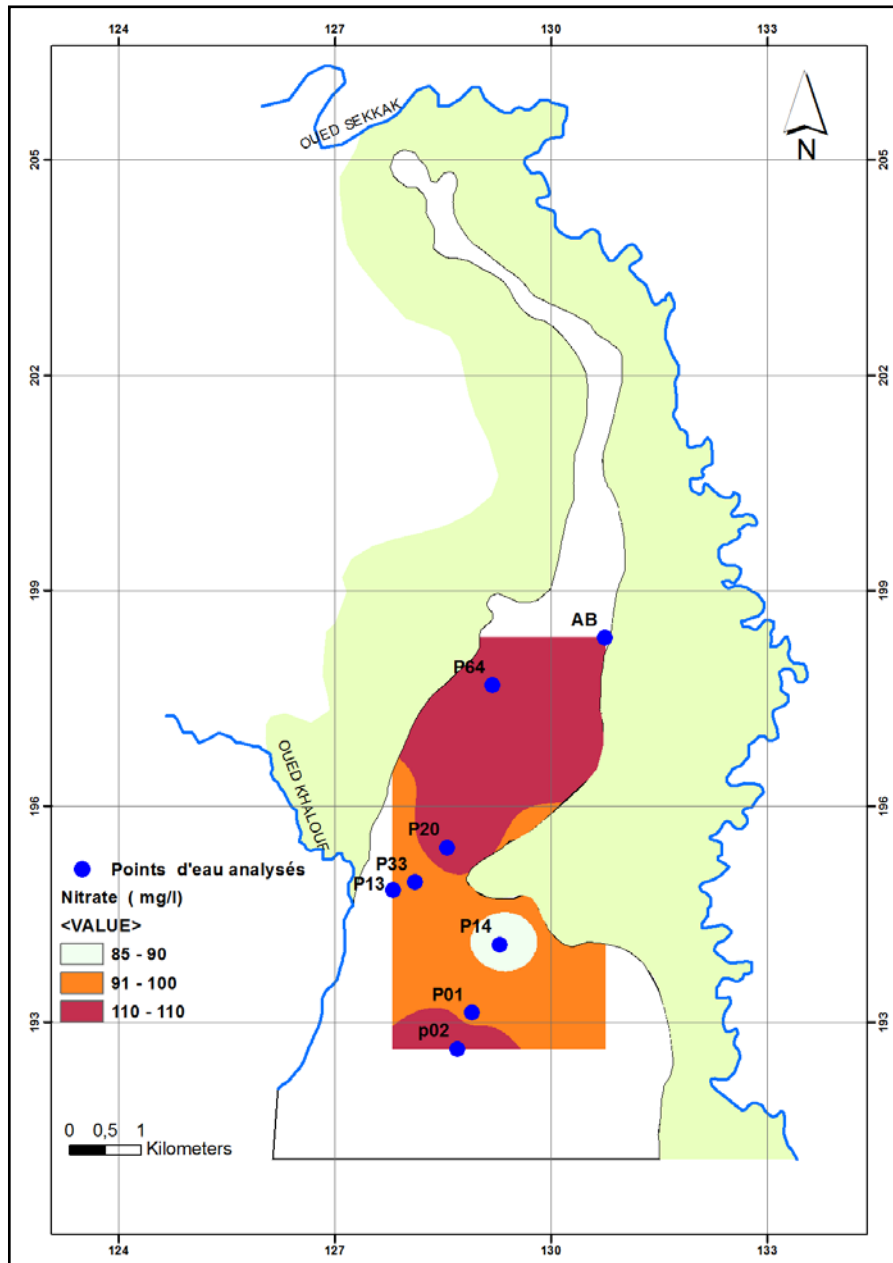


Figure 74 : Carte des concentrations en Nitrates.

On remarque que pour tous les points d'eau analysés les teneurs en nitrates dépassent les normes de potabilité (fig. 73 et 74).

#### V.1.6) Caractérisation hydro-chimique des faciès.

La représentation graphique des résultats d'analyses dans le diagramme de Piper, Schöeller et Berkloff nous permet l'identification des faciès chimiques des eaux.

➤ **Diagramme de Piper :**

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et cations sur deux triangles. Les unités utilisées sont les pourcentages en *meq/l* par rapport au total de ces ions. L'intersection des deux lignes issues des triangles dans le losange représente l'analyse de l'échantillon.

La classification des eaux souterraines d'Hennaya met en évidence un type de faciès chloruré, sulfaté, calcique, magnésienne et bicarbonaté sans anions et cations abondant, sauf pour le puits 64 et Ain Wahab où l'on remarque une abondance de  $Cl^-$  au niveau des anions.

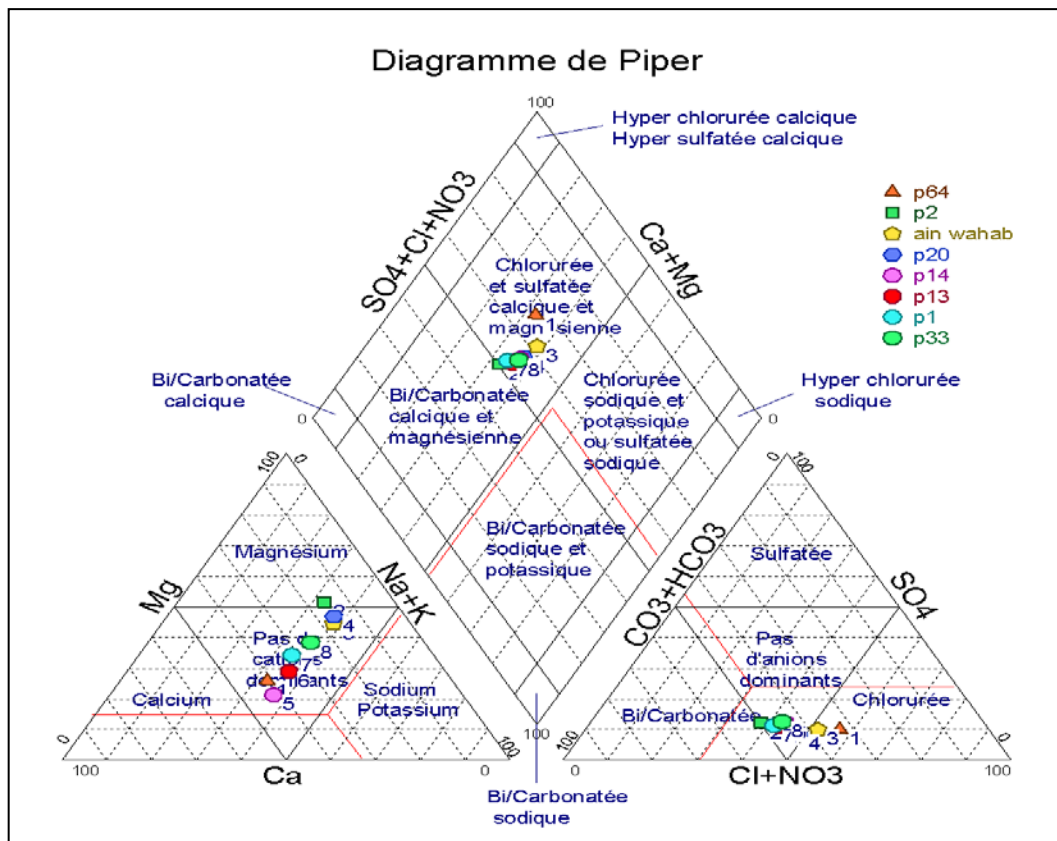


Figure 75 : Classification des eaux souterraines d'Hennaya dans le diagramme de Piper.

➤ **Diagramme de Schöeller et Berkloff :**

Le diagramme logarithmique de Schöeller et Berkloff nous permet de classer les eaux en familles correspondant aux principaux ions analysés.

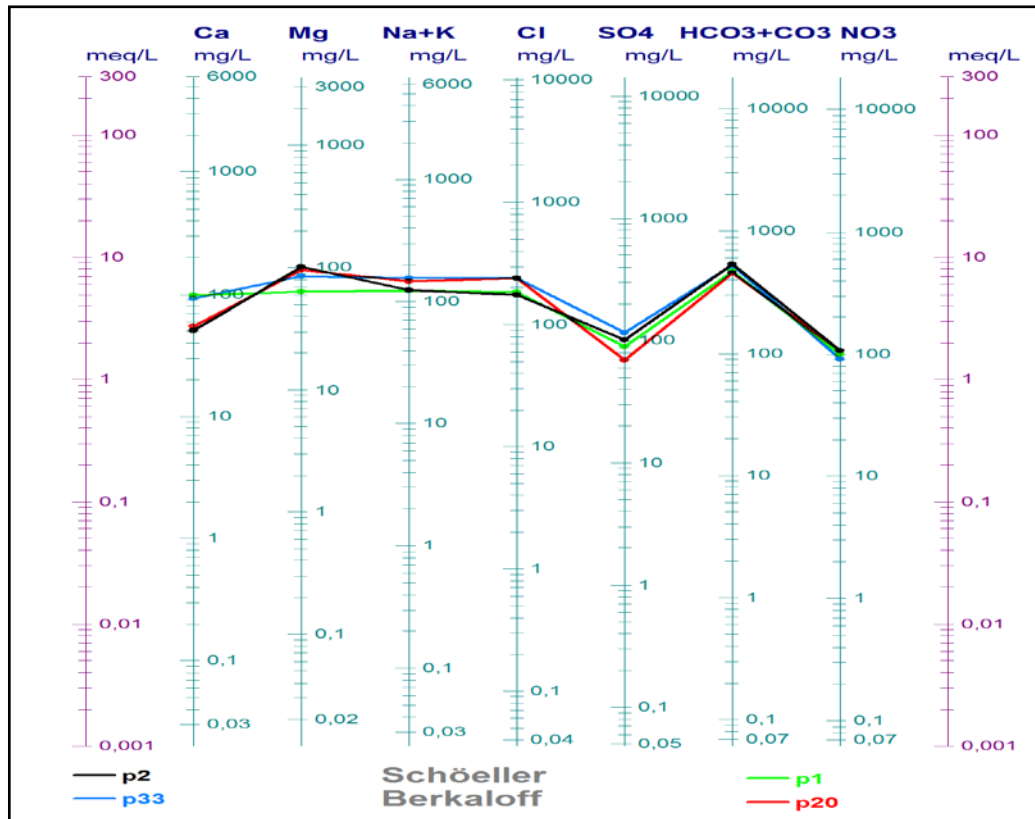


Figure 76 : Classification de Schöeller et Berkaloff des points d'eau P1, P2, P20, P33.

- Facies bicarbonatés magnésien :  $Mg > Ca > Na+K$  et  $HCO_3 > Cl > SO_4$  (P1, P2, P20, P33) (fig. 76)

- Facies chloruré magnésien :  $Cl > HCO_3 > SO_4$  et  $Mg > Ca > Na+K$  (Ain Whab) (fig. 77)

Facies chloruré calcique:  $Cl > HCO_3 > SO_4$  et  $Ca > Mg > Na+K$  (P64) (fig. 77)

- Facies bicarbonatés sodique :  $HCO_3 > Cl > SO_4$  et  $Na+K > Ca > Mg$  (P13) (fig. 77)

- Facies bicarbonatés calcique:  $HCO_3 > Cl > SO_4$  et  $Ca > Na+K > Mg$  (P14) (fig. 77)

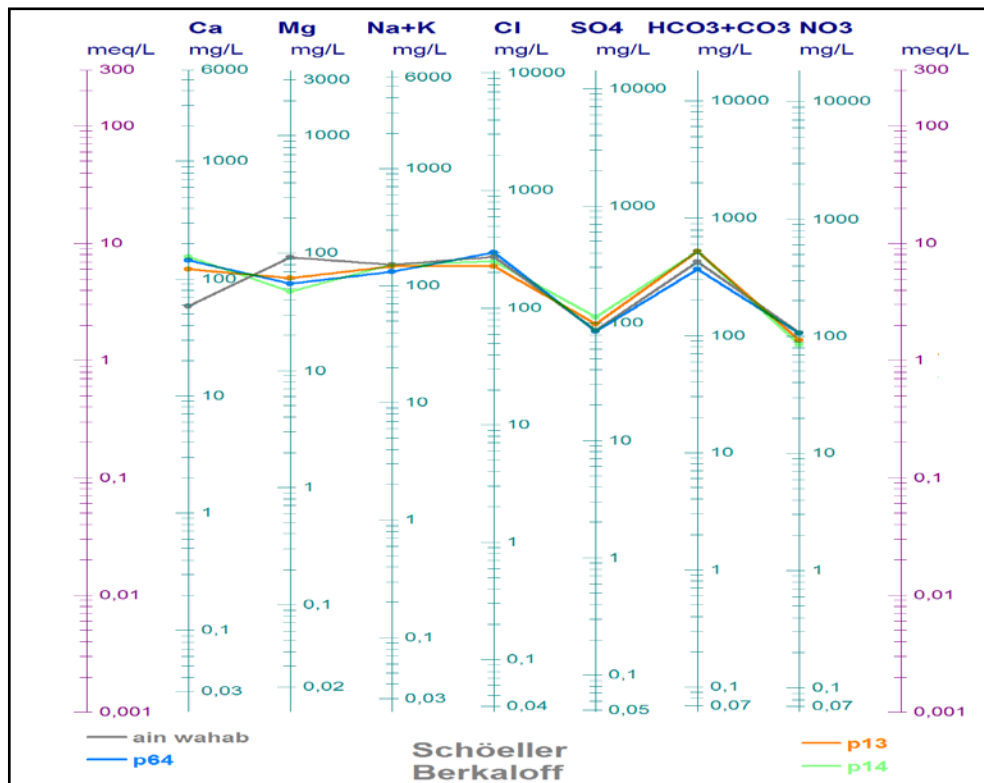


Figure 77 : Classification de Schöeller et Berkaloff des points d'eau P13, P14, P64 et Ain Wahab.

### V.1.7) Classifications et caractéristiques de l'eau :

L'eau de tous les points d'eau analysés est impropre à la consommation par leurs taux élevés en nitrates.

### V.1.8) Origines de la minéralisation :

La répartition spatiale de ces facies chimiques dépend de la géologie des terrains traversés et des conditions de recharge. Les facies bicarbonatés représentent 75% des échantillons analysés. Ils proviennent généralement de la dissolution des calcaires. Les puits (P2, P20, P1, P3, P13, P14) se trouvent aux niveaux des formations de grés (ciment siliceux ou calcaire) et conglomérats (horizon carbonaté). Le facies anionique chloruré (P64, AinWahab) provient probablement du contact avec les marnes helvétique salines ou à l'irrigation avec les eaux non conventionnelles.

Tableau 25: Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques.

	pH	c25°C	Ca	Mg	Na	K	HCO3	CO3	Cl	SO4	NO3	Ca+Mg	Na+K
pH	1												
c25°C	-0,15	1											
Ca	-0,32	0,34	1										
Mg	0,15	-0,27	<b>-0,96</b>	1									
Na	<b>-0,75</b>	0,43	0,19	-0,07	1								
K	-0,2	0,31	-0,55	0,66	0,29	1							
HCO3	-0,1	-0,06	-0,11	0,14	0,13	0,56	1						
CO3	0	0	0	0	0	0	0	1					
Cl	-0,48	0,53	0,41	-0,3	0,55	-0,23	-0,68	0	1				
SO4	-0,18	0,34	0,38	-0,26	0,27	0,3	0,67	0	-0,17	1			
NO3	0,45	-0,19	-0,65	0,6	-0,48	0,03	-0,59	0	0,06	-0,76	1		
Ca+Mg	-0,68	0,38	0,58	-0,34	0,43	0,08	0,05	0	0,5	0,55	-0,45	1	
Na+K	-0,75	0,43	0,16	-0,04	1	0,33	0,16	0	0,53	0,28	-0,47	0,43	1

On considère que deux variables sont suffisamment liées pour pratiquer des interpolations et extrapolations lorsque  $r \leq -0,75$  ou quand  $r \geq +0,75$ .  $r$  étant le coefficient de corrélation. En dehors de ces limites, les liaisons se dégradent rapidement pour devenir insignifiantes. L'analyse de la matrice (Tableau 25) montre qu'il s'est établi une bonne corrélation entre:

- Le calcium et magnésium.
- Les nitrates et les sulfates.

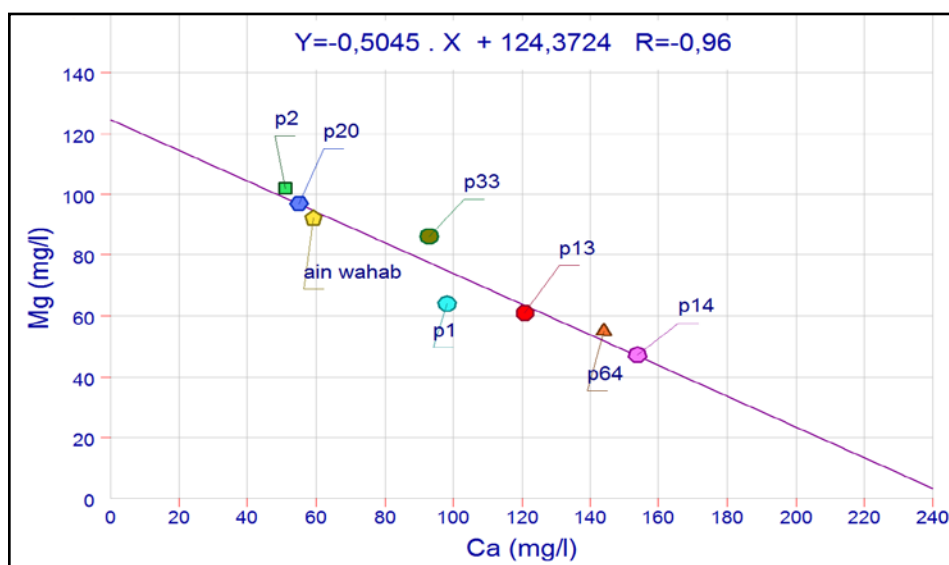


Figure 78 : Corrélation entre le Magnésium et le Calcium.

Dans les réservoirs calcaires les eaux sont dures et moyennement à fortement minéralisées en sels de calcium et magnésium. Il ressort de cette valeur de corrélation (fig 78) que les couples ont une origine commune, évoluent dans le même sens et sont produits par des phénomènes naturels identiques.

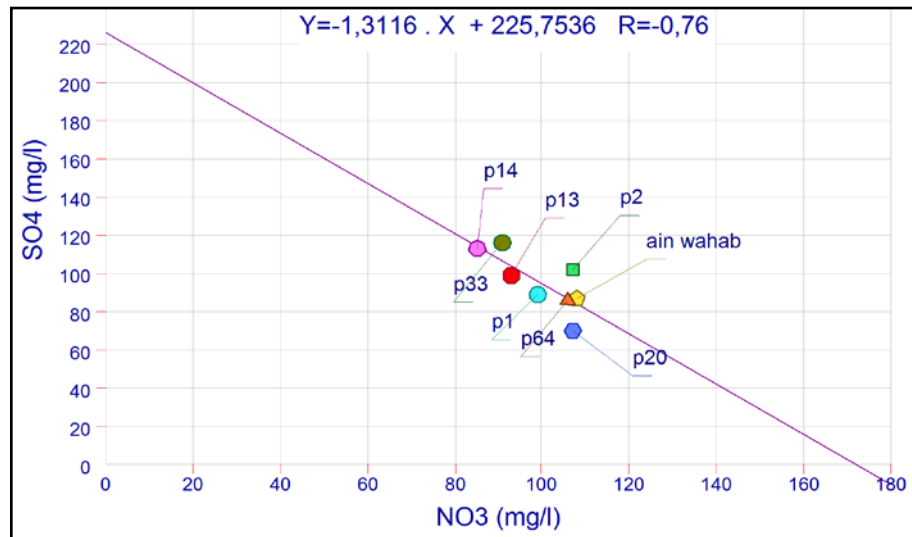


Figure 79 : Corrélation entre Nitrates et Sulfates

Cette valeur de corrélation permet de dire que les couples ont une origine commune qui est probablement due à l'utilisation des engrais (fig. 79).

## V.2) Etude de la qualité de l'eau souterraine de la nappe d'Hennaya pour l'irrigation :

Les principaux facteurs qui peuvent dégrader la qualité des eaux d'irrigation sont :

- La concentration en sels dissous qui peut être exprimés par la conductivité.
- La conductivité en sodium.
- Les éléments toxiques (Bore et Chlore).
- L'alcalinité de la dureté.
- La concentration en ions d'hydrogène.

Les eaux d'irrigation quelles que soient leurs origines contiennent des substances chimiques susceptibles de réduire les rendements des cultures et de détériorer la fertilité des sols.

### V.2.1) Salinité :

La salinité est mesurée couramment par la conductivité électrique. Les valeurs des échantillons analysés *in situ* et au laboratoire (fig. 66 et 70) sont inférieures à  $3000 \mu s/cm$  traduisant une salinité légère des eaux souterraines.

### V.2.2) Sodium :

Les teneurs élevés en sodium dans l'eau d'irrigation provoquent la détérioration de la structure du sol le rendant ainsi imperméable à l'eau et à l'air. Ce dernier a un impact direct sur la santé et la productivité des plantes par manque d'infiltration d'eau d'irrigation dans le sol.

Des quantités élevées de calcium et de magnésium par rapport au sodium accentuent ce problème. Cette relation est exprimée par le SAR (ratio d'absorption en sodium).

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

Les concentrations sont exprimées en meq/l.

Tableau 26: Calcul du Ratio d'absorption en sodium des points d'eau analysés.

N°	Pt d'eau	R.A.S
1	P64	2,35
2	P2	2,23
3	Ain Wahab	2,78
4	P20	2,68
5	P14	2,71
6	P13	2,64
7	P1	2,31
8	P33	2,73

Les échantillons analysés ont un SAR variant entre 2,23 et 2,78 (tableau 26) inférieur à la limite de qualité des eaux d'irrigation (fig 80).

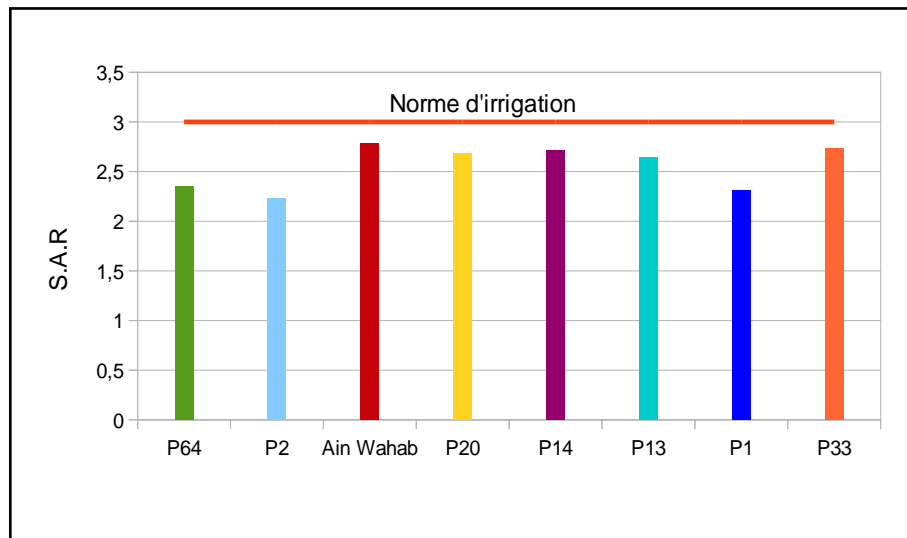


Figure 80 : SAR des échantillons analysés.

### V.2.3) Alcalinité et dureté

La dureté composée des éléments de calcium et magnésium ont tendance à précipiter avec les carbonatés qui compose l'alcalinité. On remarque pour tous les points d'eau analysés une alcalinité et dureté  $> 200 \text{ mg/l}$  en  $\text{CaCO}_3$  (fig. 62 et 67) dépassant largement les normes de qualité de l'eau d'irrigation.

Il en résulte que l'eau est incrustante présentant des risques élevés de colmatage des canalisations d'eau et des systèmes d'irrigation. Les teneurs élevés en calcium et magnésium variant de  $510$  à  $590 \text{ mg/l}$  en  $\text{CaCO}_3$  causent le problème d'obturation des goutteurs par des dépôts calcaires. Dans ces conditions il est déconseillé d'utiliser le goutte à goutte.

### V.2.4) Classification et caractéristique de l'eau d'irrigation :

La représentation graphique des échantillons analysés sur le diagramme de Riverside permet le classement (fig 81) de l'eau d'irrigation et par conséquent des diverses utilisations (variétés des cultures).



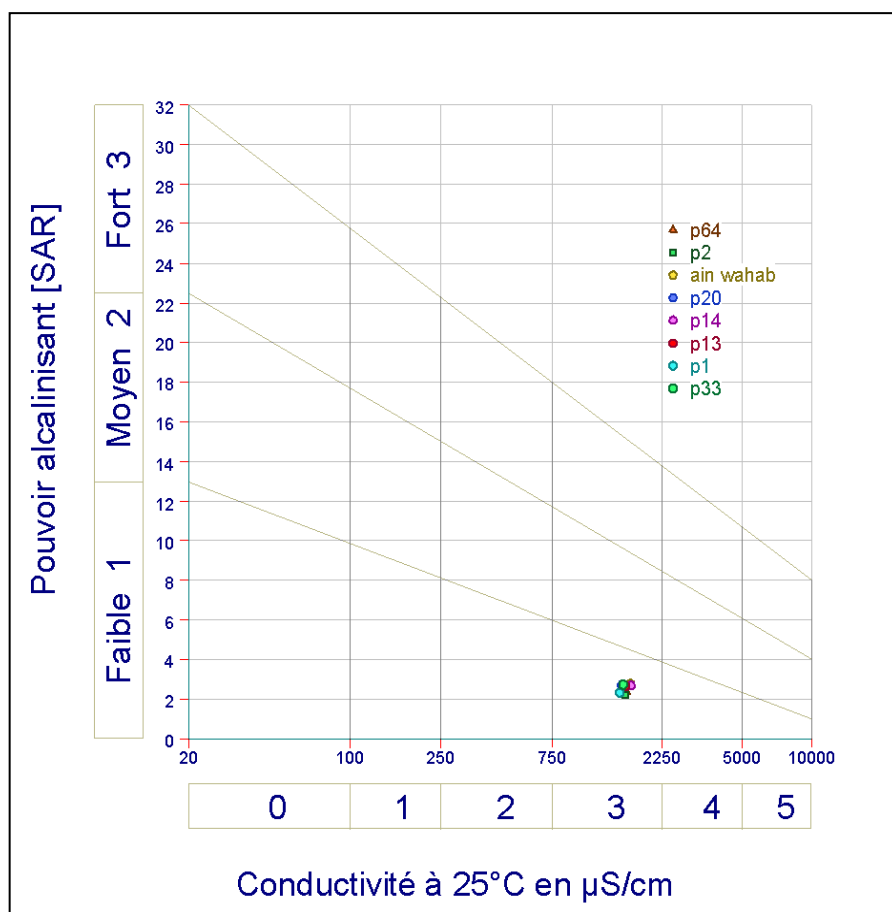


Figure 81 : Diagramme Riverside

Tableau 27: Classification et caractéristiques de l'eau d'irrigation.

Pt d'eau	SAR/Conductivité	Classement	Caractéristiques
P64, P2, Ain Wahab, P20, P14, P13, P1, P33	$C_3 - S_1$	Eau admissible	-Eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel. -Sol bien aménagé (bon drainage). -Contrôle périodique de l'évolution de la salinité

### V.3) Analyse microbiologique de l'eau souterraine de la nappe d'Hennaya :

L'analyse microbiologique a été entreprise pour évaluer l'impact des eaux usées brutes et épurées sur la qualité des eaux souterraines. Un réseau de surveillance a été choisi en fonction des zones vulnérables pratiquant l'irrigation avec les eaux non conventionnelles.

### V.3.1) Echantillonnages :

La figure 82 indique le nombre d'échantillons analysés par fréquence de prélèvement. Un total de 16 échantillons a été effectué à différentes dates.

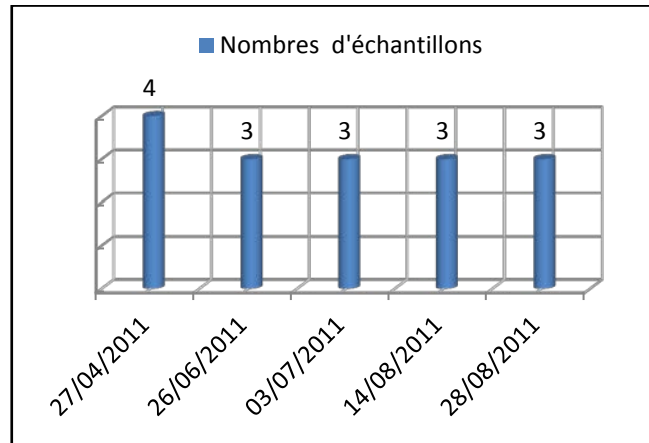


Figure 82 : Echantillons analysés.

### V.3.2) Normes :

Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethanie 1432 correspondant au 23 Mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

Tableau 28: Norme microbiologique pour la qualité de consommation humaine.

	Paramètres	Unités	Valeurs limites
<b>Paramètres microbiologiques</b>	Escherichia Coli	$n/100\ ml$	0
	Entérocoques	$n/100\ ml$	0
	Bactéries sulfitoréductices y compris les spores	$n/20\ ml$	0

### V.3.3) Laboratoire d'analyse :

Tableau 29: Laboratoire d'analyse.

Organismes	Nbre d'échantillons	Date d'échantillonnage	Séries
Laboratoire vétérinaire régional de Tlemcen	13	27/04/2011	1
		26/06/2011	2
		03/07/2011	3
		14/08/2011	4
Institut Pasteur Alger	03	28/08/2011	5

#### **V.3.4) Interprétation des analyses :**

Les coliformes totaux sont des bactéries d'origine fécale ou environnementale qui peuvent se trouver naturellement dans le sol et la végétation. La principale bactérie coliforme d'origine fécale est *Escherichia Coli* (E. Coli).

Les Entérocoques sont des bactéries que l'on trouve dans les intestins animaux et humains. Leur détection dans l'eau ainsi que les bactéries E. Coli témoignent généralement d'une pollution fécale récente et d'autres pathogènes causant des maladies graves.

Par ailleurs, il est techniquement impossible de faire l'analyse de tous les pathogènes. Les paramètres coliformes totaux, fécaux et entérocoques qui sont en général sans danger pour la santé, servent d'indicateurs de pollution microbiologique.

En se référant aux normes algériennes, l'eau ne doit contenir aucune trace de bactéries E. Coli ou Entérocoques.

La présence des coliformes totaux des points d'eaux échantillonnées renforce l'importance de faire régulièrement des analyses pour la prévention d'une contamination d'origine fécale et des recommandations aux propriétaires d'effectuer un traitement de désinfection des puits.

L'absence de Coliformes fécaux et des Entérocoques permet de classer tous les échantillons d'eaux souterraines analysées de bonne qualité microbiologique.

Tableau 30: Résultats d'analyses.

Date	Pts d'eau	Paramètres analysés			
		Coliformes totaux UFC/ 100 ml	E coli UFC /100 ml	Entérocoques intestinaux UFC/100 ml	Coliformes Fécaux UFC/100 ml
27/04/2011	Prélèvement d'eau usée au niveau du périmètre	510 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>	810 <sup>4</sup>	x
	P102	610 <sup>4</sup>	Absence	Absence	x
	P7	210 <sup>4</sup>	Absence	Absence	x
03/07/2011	P02	210 <sup>4</sup>	Absence	Absence	x
	P7	10 <sup>4</sup>	Absence	Absence	x
	P32	810 <sup>3</sup>	Absence	Absence	x
	P64	310 <sup>4</sup>	Absence	Absence	x
26/06/2011	P33	710 <sup>4</sup>	Absence	Absence	x
	P13	10 <sup>4</sup>	Absence	Absence	x
	P14	510 <sup>3</sup>	Absence	Absence	x
14/08/2011	Ain Boukora	10 <sup>4</sup>	Absence	Absence	x
	P17	810 <sup>3</sup>	Absence	Absence	x
	P26	310 <sup>4</sup>	Absence	Absence	x
28/08/2011	Eau du bassin de stockage des eaux épurées	17280	x	x	7200
	P10	400	x	x	Absence
	P09	80	x	x	Absence

x : échantillon non analysé

#### V.4) Etude physico-chimique des eaux souterraines de la nappe de Maghnia.

07 échantillons prélevés des forages d'agriculteurs (fig 83) en date du 20/06/2011 au niveau du périmètre équipé ont été analysés au laboratoire d'ANRH d'Oran.

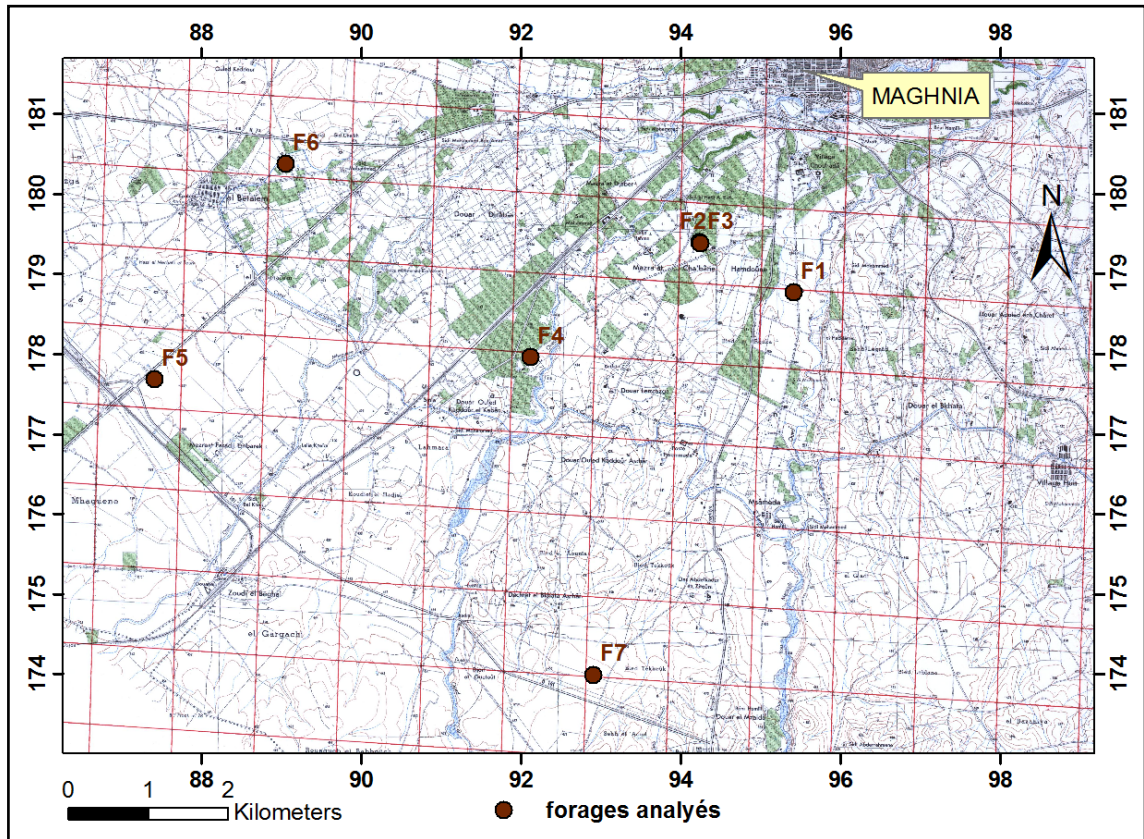


Figure 83 : Situation des forages analysés.

##### V.4.1) Contrôle des résultats d'analyse:

La qualité des analyses chimiques a été contrôlée en utilisant le logiciel *Diagramme*.

##### ➤ Calcul de la balance ionique

Pour toute la série, il existe un équilibre entre cations et anions. L'erreur est comprise entre 0 et 3% (fig. 84).

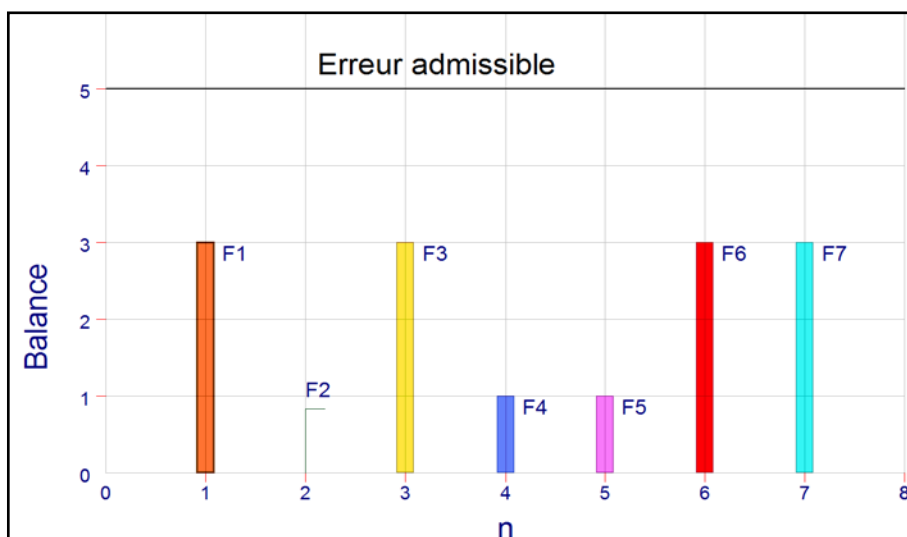


Figure 84 : Balance ionique.

➤ **Test de la conductivité :**

Les échantillons analysés présentent une erreur comprise entre 0 et 7% (fig 84). Celle-ci est inférieure à la fourchette admise avec le calcul des 05 approximations du logiciel (fig 85).

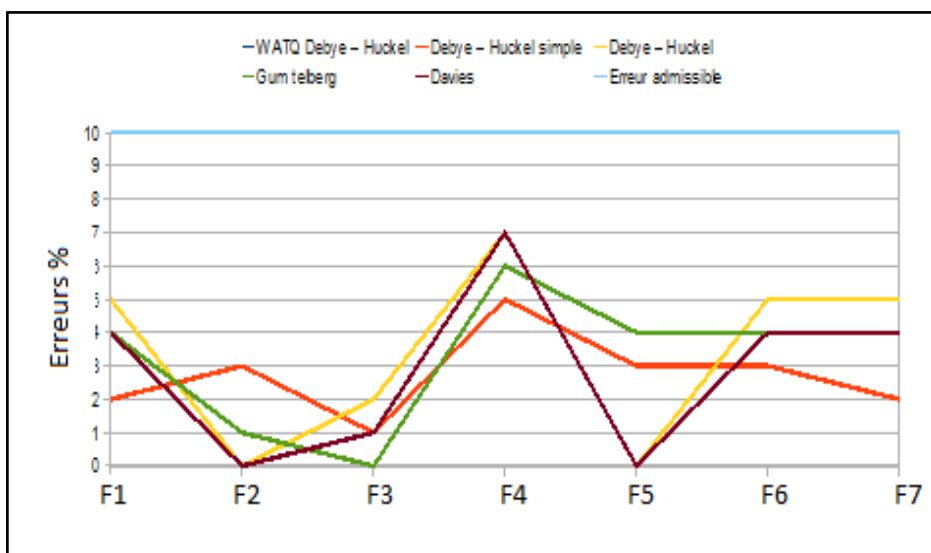


Figure 85 : Erreur de la conductivité avec les 05 approximations.

➤ **Test de la cohérence entre pH et alcalinité :**

Les résultats montrent que pour la totalité des échantillons, l'alcalinité est positive et le  **$\text{PH} < 14 \log_{10} (\text{TAC})$**  (tableau 31)

En conclusion et après analyse et test de contrôle, les 07 échantillons sont retenus pour l'interprétation.

Tableau 31: Test PH.

N°	Nom d'échantillons	TAC>0 meq/l	$(14 - \log_{10} \text{TAC})$	pH
1	P1	10,53	12,97	7,52
2	P2	5,55	13,26	7,49
3	P3	5,55	13,26	7,35
4	P4	6,09	13,22	7,51
5	P5	6,65	13,18	7,34
6	P6	10,32	12,99	7,51
7	P7	6,88	13,17	7,45

**V.4.2) Interprétation des résultats d'analyses :**

➤ **Alcalinité :**

On remarque que l'alcalinité des forages *F1* et *F6* dépasse les normes de potabilité. Par contre tous les forages analysés dépassent largement les normes d'irrigation (fig. 86).

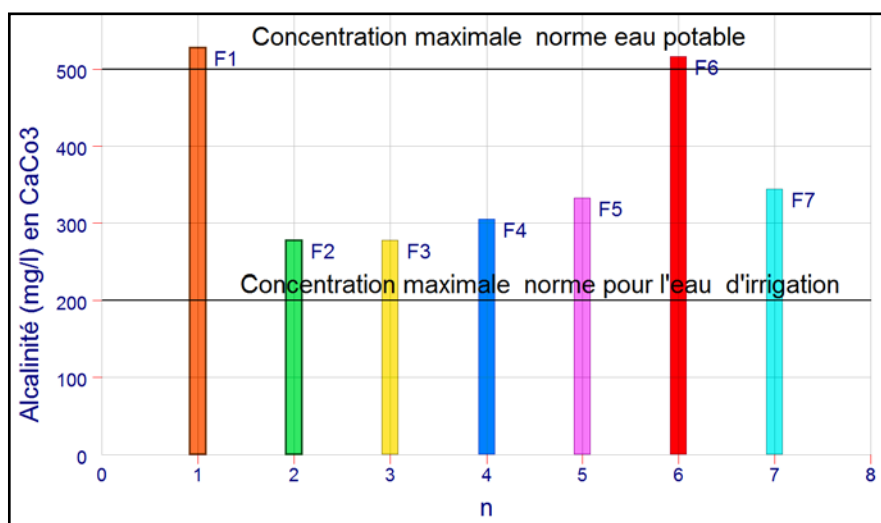


Figure 86 : Alcalinité des échantillons analysés au laboratoire.

➤ **Calcium :**

On remarque que le forage F2 dépasse les normes de potabilité (fig 87).

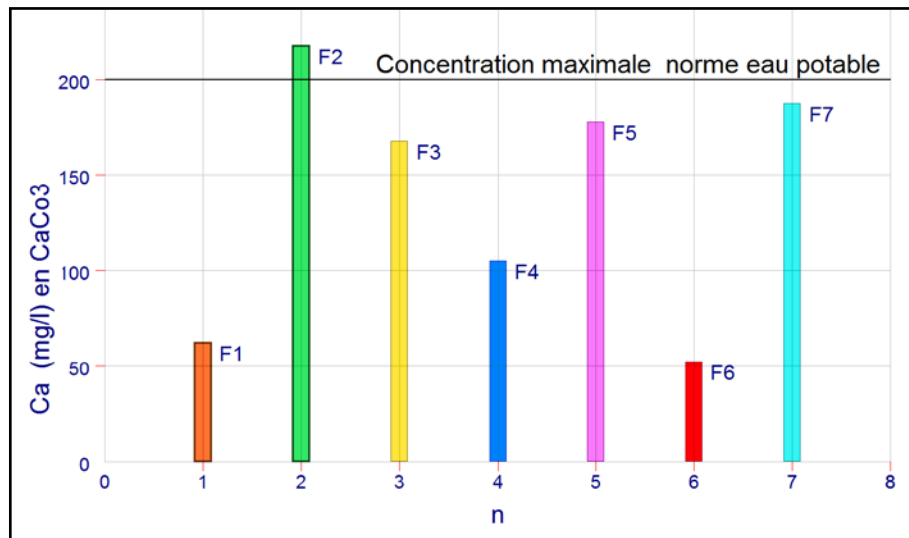


Figure 87 : Concentration en calcium.

➤ **Le chlorure :**

On remarque que la concentration en chlorure du forage F1 dépasse largement les critères de qualité d'eau potable (fig. 88).

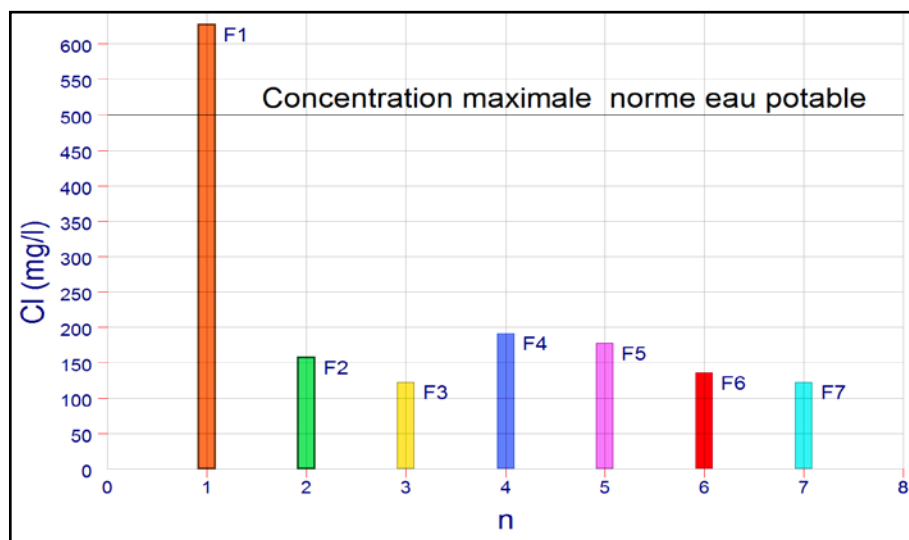


Figure 88 : Concentration en Chlorures.

➤ **Concentration en ions d'hydrogène :**

Les valeurs de PH varient entre 7,34 et 7,52 avec de très faibles variations d'un point à un autre. Tous les échantillons analysés présentent une concentration en ions



d'hydrogène circonscrite au domaine 6,5 – 9 et respectent les normes de potabilité et qualité de l'eau pour l'irrigation (fig. 89).

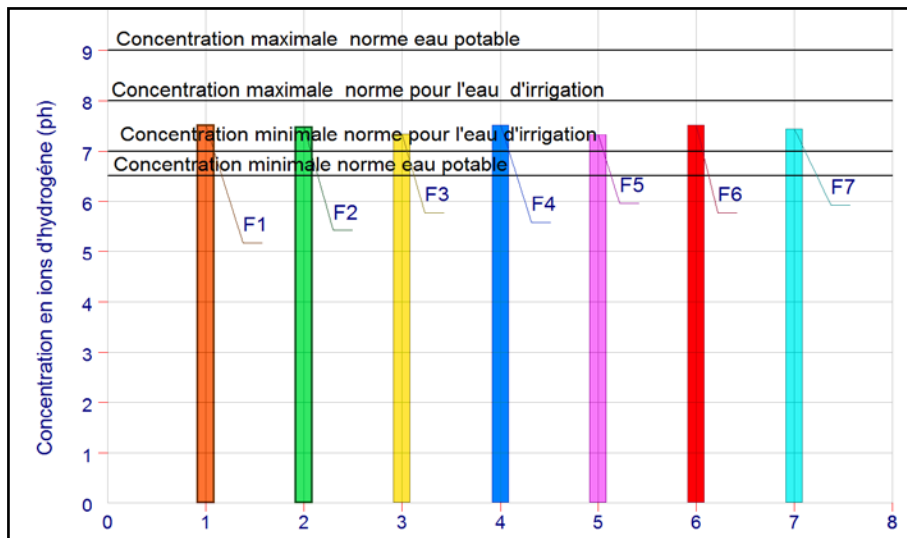


Figure 89 : Concentration en ions d'Hydrogène.

➤ **Conductivité :**

Tous les points d'eau analysés respectent les normes de potabilité et la qualité de l'eau pour l'irrigation (fig. 90).

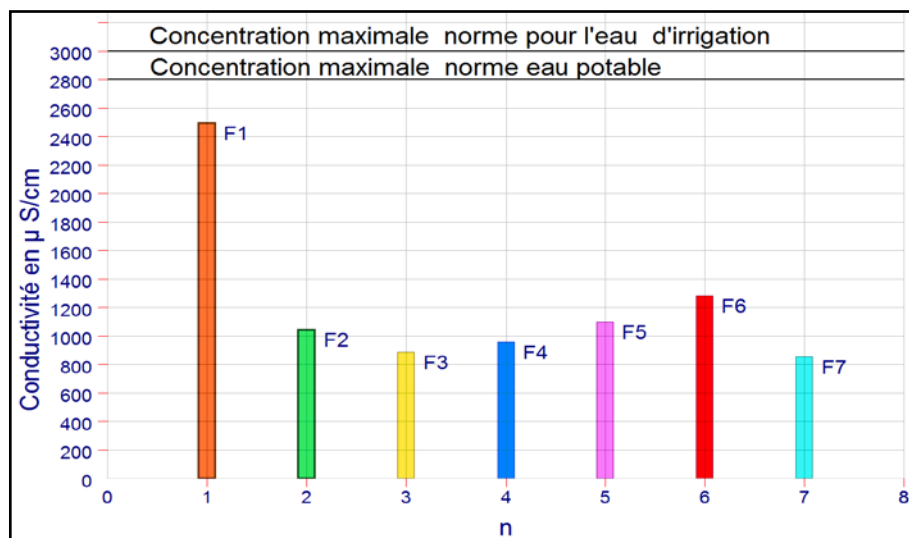


Figure 90 : Conductivité.

➤ **Dureté :**

On remarque que pour:

- F2, F3, F5, F7, l'eau est très dure.
- F4, l'eau est dure.
- F1, l'eau est modérément douce.
- F6, l'eau est douce

Seuls les forages F1 et F6 respectent les normes de potabilité et d'eau d'irrigation (fig. 91).

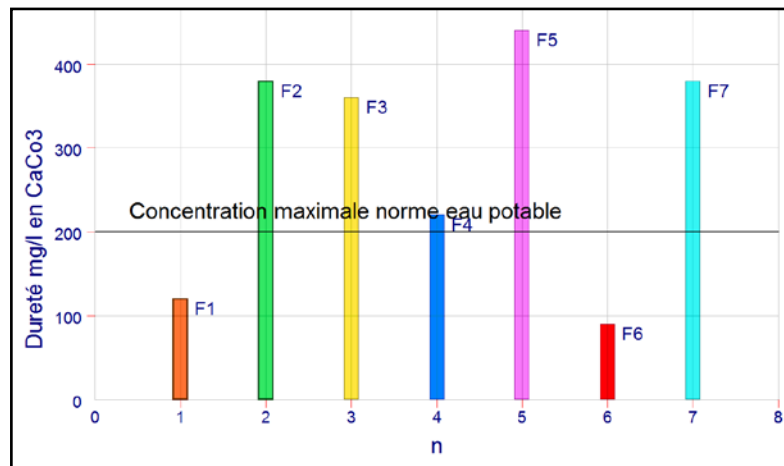


Figure 91 : Dureté.

➤ **Potassium :**

Les teneurs sont largement en dessous de la limite des normes de potabilité (fig. 92).

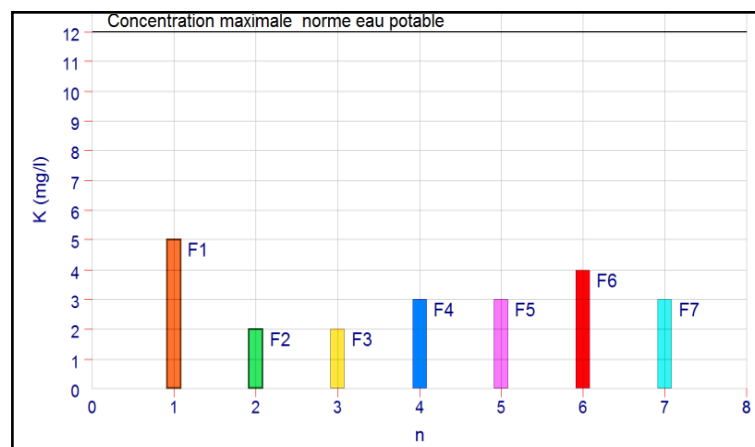


Figure 92 : Concentration en potassium.

➤ **Minéralisation :**

Tous les points d'eau analysés présentent une concentration en résidu sec conforme à la norme d'eau potable sauf pour F1 (fig. 93).

Tous les points d'eau analysés présentent une minéralisation importante sauf pour le forage F1 qui est élevé.

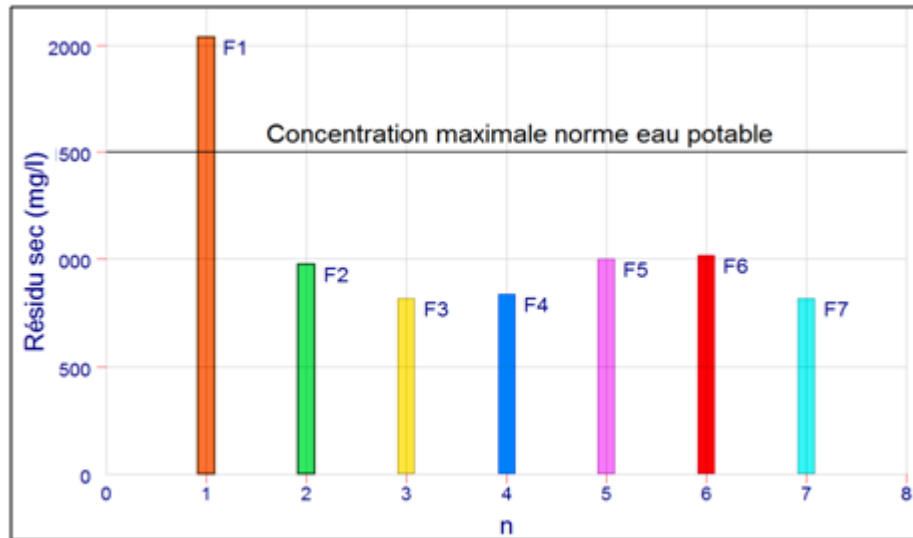


Figure 93 : Résidu sec analysé au laboratoire.

➤ **Sodium :**

Pour les forages F1 et F6 les teneurs sont largement en dessous de la limite des normes de potabilité (fig. 94).

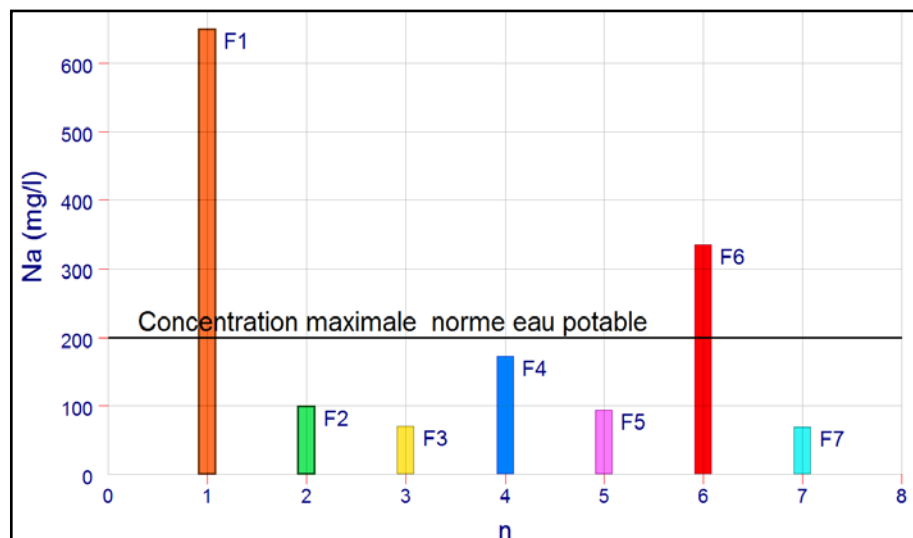


Figure 94 : Concentration de sodium.

➤ **Sulfate :**

Les teneurs en sulfate des points d'eau analysés sont largement inférieures aux normes de qualité d'eau potable (fig. 95).

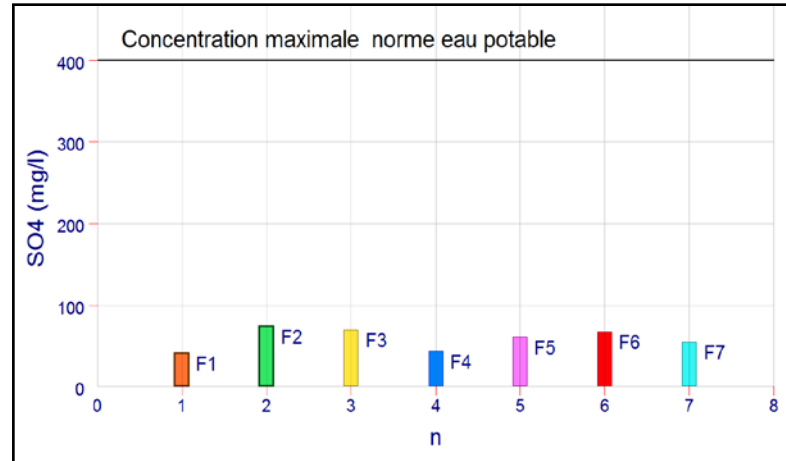


Figure 95 : Concentrations en Sulfates.

➤ **Température :**

La température des échantillons analysés *in situ* des points d'eau est inférieure à 25° C sauf pour le forage F7 (fig. 96).

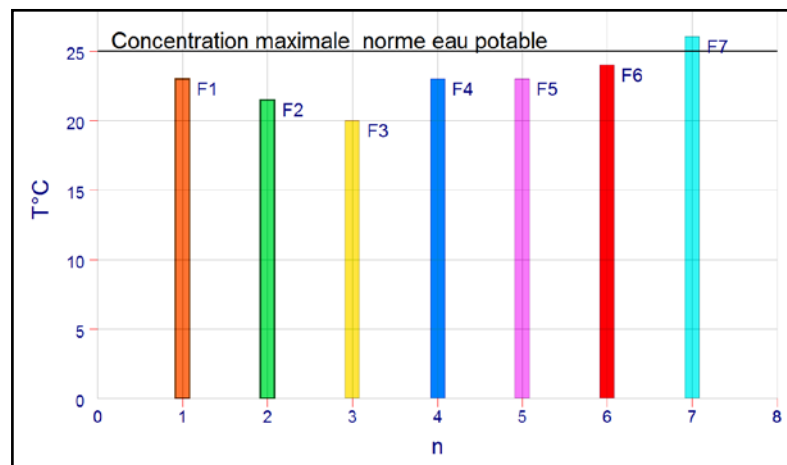


Figure 96 : Température.

➤ **Ammonium :**

Le sulfate d'ammonium ( $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ ), est employé comme engrais est révélateur de pollution agricole. Comme les nitrates, l'ammonium n'est pas toxique mais peut se transformer par oxydation en ions  $\text{NO}_2^-$  responsable de maladies graves (la méthémoglobinémie).

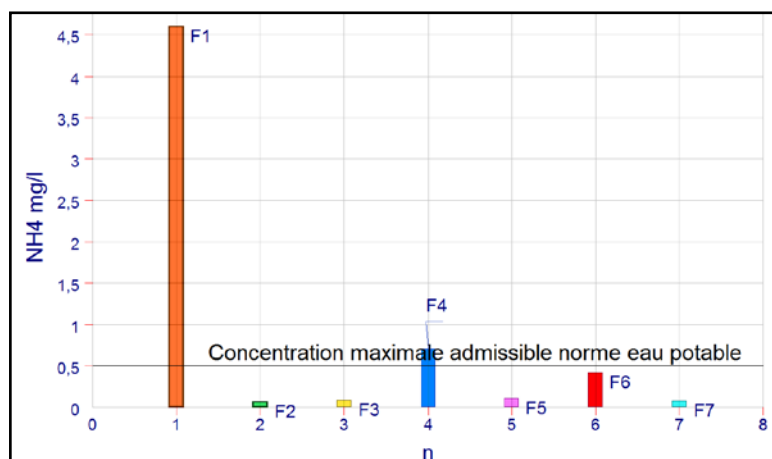


Figure 97 : Concentration en Ammonium.

Les concentrations en Ammonium des forages F1 et F4 dépassent les normes de potabilité (fig. 97).

➤ **Nitrate :**

Les teneurs en nitrates de tous les points d'eau analysés sont largement inférieurs aux normes de potabilité (fig. 98).

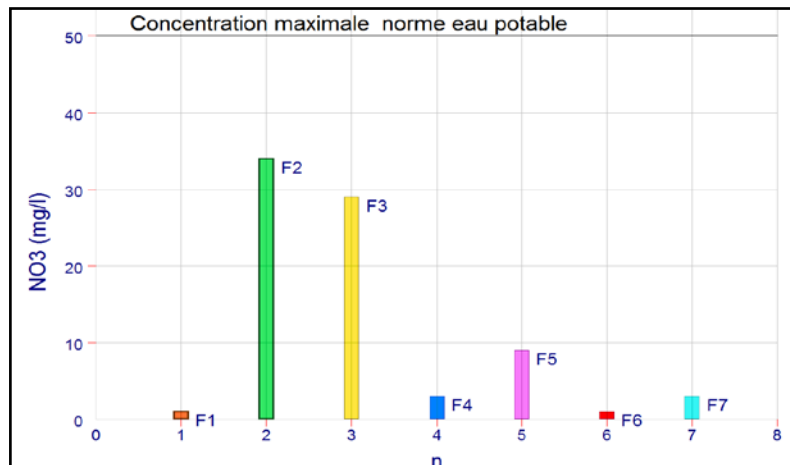


Figure 98 : Concentrations en Nitrates.

**V.4.3) Caractérisation hydro-chimique des facies :**

Nous procédons dans cette partie à la représentation dans les diagrammes afin d'identifier les faciès chimiques des échantillons analysés.

➤ **Diagramme de Piper :**

La classification des eaux souterraines de la nappe de Magnhia met en évidence un type de facies bicarbonatées, magnésienne, chloruré et sodique (fig 99).

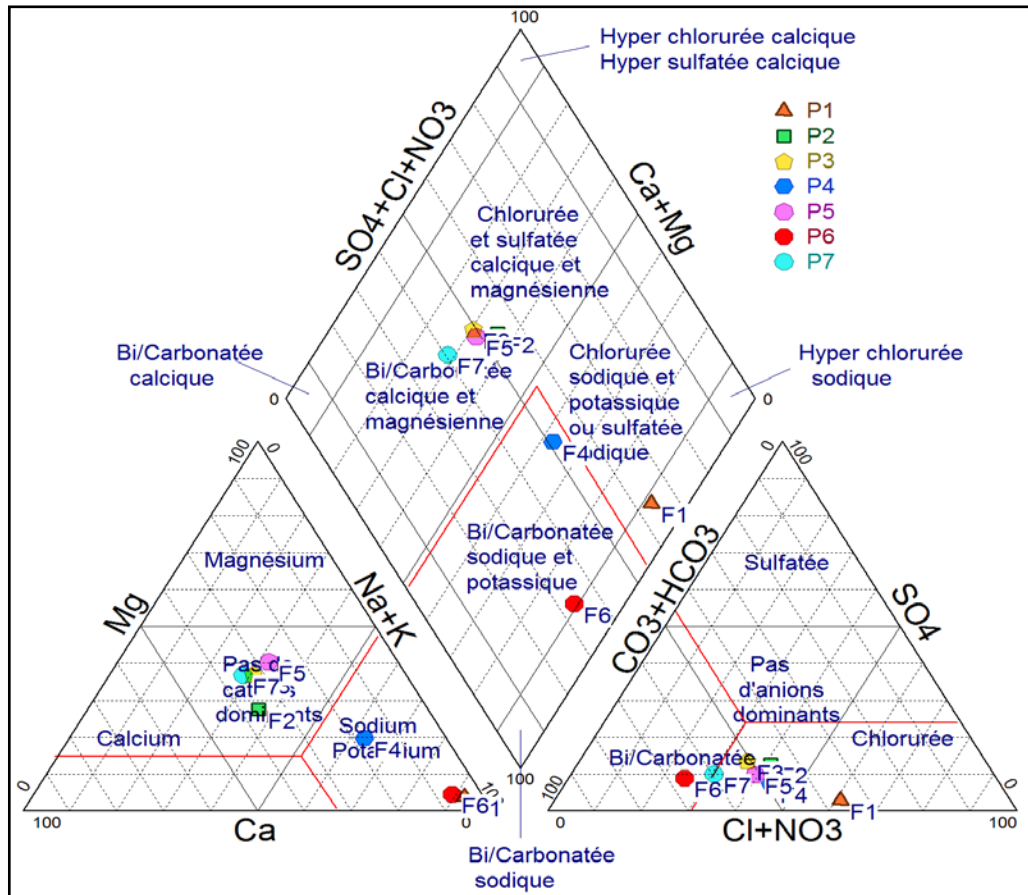


Figure 99 : Classification des eaux de Magnhia dans le diagramme de Piper.

➤ **Diagramme de Schoeller et Berkalf**

- Facies bicarbonaté sodique (F2, F4, F6) (fig. 100)
- Facies bicarbonaté magnésienne (F3, F5, F7) (fig. 101)
- Facies chloruré sodique (F1) (fig. 100)

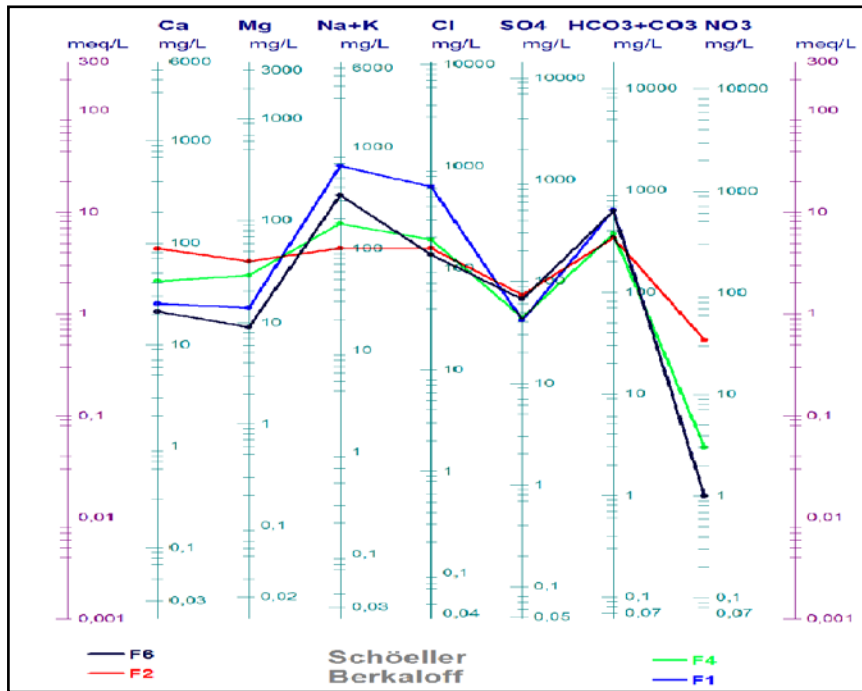


Figure 100 : Classification de Schöeller et Berkaloff des forages F1, F2, F4, F6.

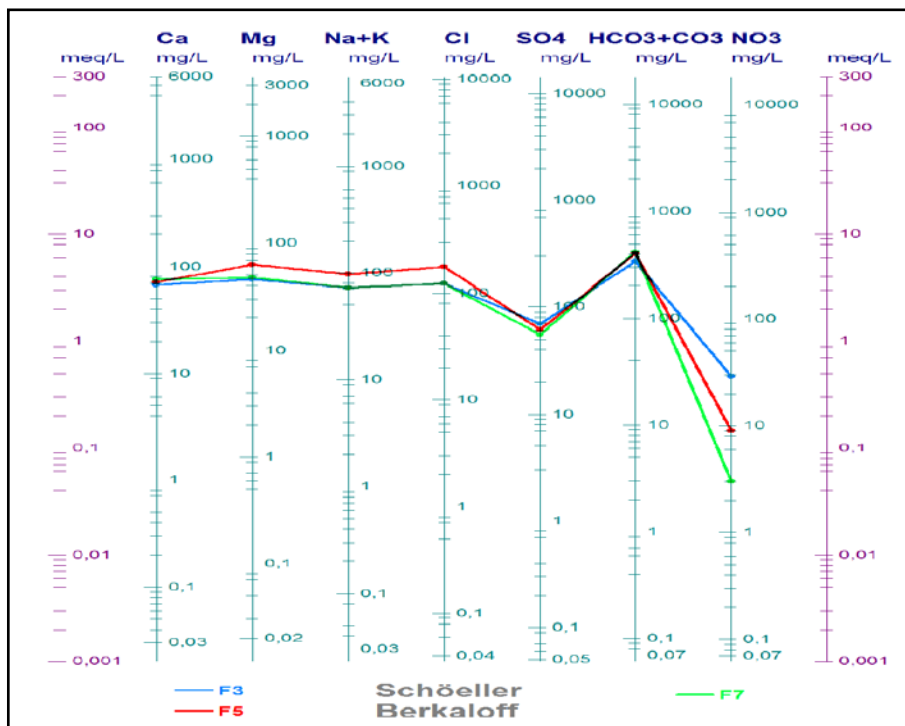


Figure 101 : Classification de Schöeller et Berkaloff des forages F3, F5, F7.

#### V.4.4) Classification et caractéristique de l'eau :

➤ F1 : Eau impropre à la consommation par ses taux élevés en Ammonium et Chlorures.

- F2, F3, F5, F7 : eau de bonne qualité chimique propre à la consommation humaine.
- F4 : Eau de qualité chimique bonne à passable, mais impropre à la consommation humaine à cause de son taux élevé en Ammonium.
- F6 : Eau de qualité bonne à médiocre, propre à la consommation humaine (fig. 102).

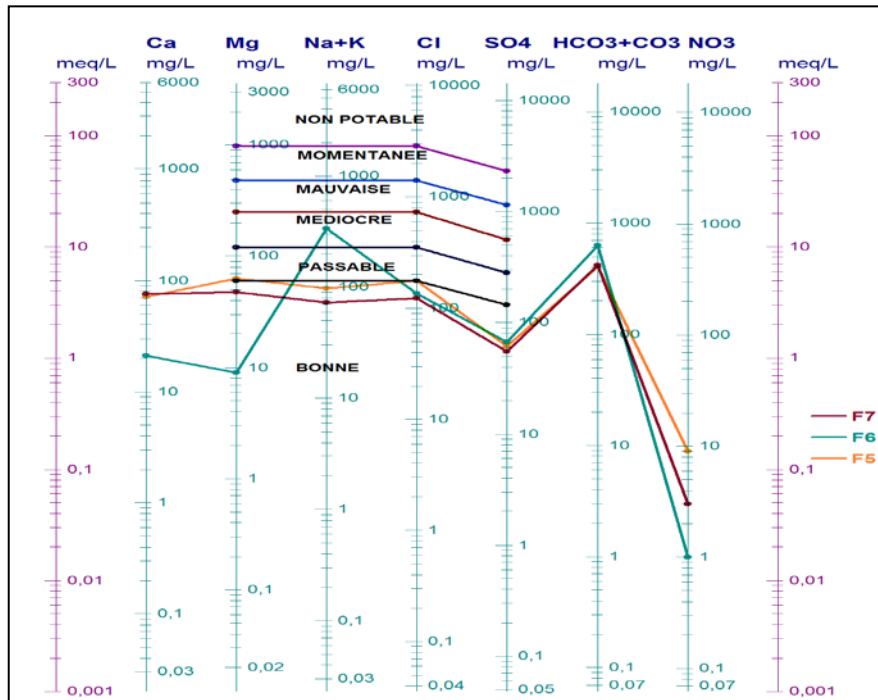


Figure 102 : Classification de l'eau pour consommation humaine (ANRH).

### V.5) Etude de la qualité de l'eau souterraine de Maghnia pour l'irrigation :

Les principaux facteurs qui peuvent dégrader la qualité des eaux d'irrigation sont :

#### V.5.1) Sodium

Tableau 32: Calcul du Ratio d'absorption en sodium des points d'eau analysés.

N°	Forage	R.A.S
1	F1	25,77
2	F2	2,2
3	F3	1,63
4	F4	5,02
5	F5	1,95
6	F6	15,36
7	F7	1,5



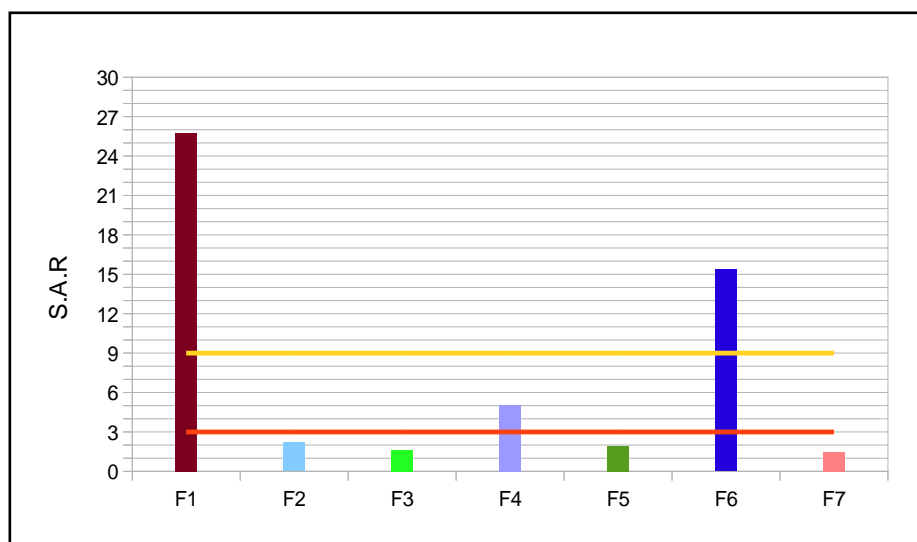


Figure 103 : SAR.

On remarque pour le forage F4  $3 < SAR < 6$  que la sévérité du problème de Sodium est légère. Par contre pour le forage F1 et F6 la sévérité est élevée (fig. 103).

#### V.5.2) Alcalinité et dureté :

On remarque pour tous les forages d'eau analysés une alcalinité  $> 200\text{mg/l}$  en  $\text{CaCO}_3$  dépassant largement les normes de qualité de l'eau pour l'irrigation (fig 86). Il en résulte que l'eau est incrustante présentant des risques élevés de colmatage des canalisations d'eau et des systèmes d'irrigation.

#### V.5.3) Classification et caractéristique de l'eau d'irrigation :

La représentation graphique des échantillons analysés sur le diagramme de Riverside permet le classement (fig 104) de l'eau d'irrigation et par conséquent des diverses utilisations (Tableau 33).

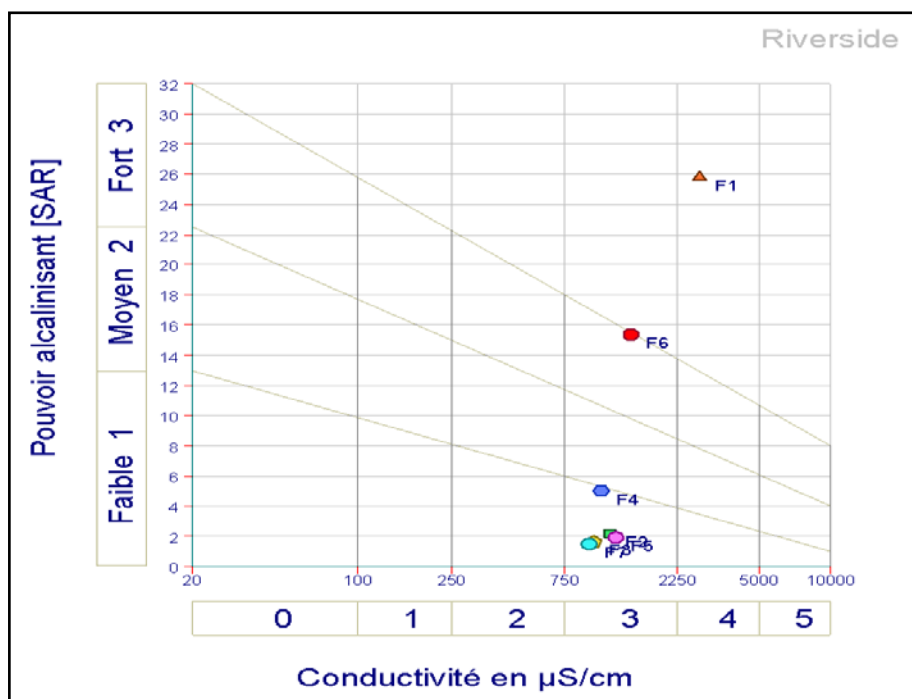


Figure 104 : Diagramme Riverside.

Tableau 33: Classification et caractéristiques de l'eau d'irrigation.

Pts d'eau	SAR/ Conductivité	Classement	Caractéristiques
F2, F3, F4, F5, F7	$C_3 - S_1$	Eau admissible	-Eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel, sol bien aménagé (bon drainage), contrôle périodique de l'évolution de la salinité
F6	$C_3 - S_2$	Eau admissible	-Eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel, sol bien aménagé (bon drainage), contrôle périodique de l'évolution de la salinité
F1	$C_4 - S_3$		Eau ne convenant pas à l'irrigation

## V.6) Analyse du sol au niveau du périmètre irrigué d'Hennaya :

La Station d'épuration de Tlemcen localisée dans la commune de Chetouane est dotée d'une capacité de traitement de l'ordre de **30 000 m<sup>3</sup>/j**. Initialement le projet était conçu pour protéger le bassin du barrage Sekkak des rejets de la ville de Tlemcen. Mais par la suite, il a été orienté pour l'irrigation du périmètre équipé d'Hennaya d'une superficie de **912 Ha** (fig. 105).

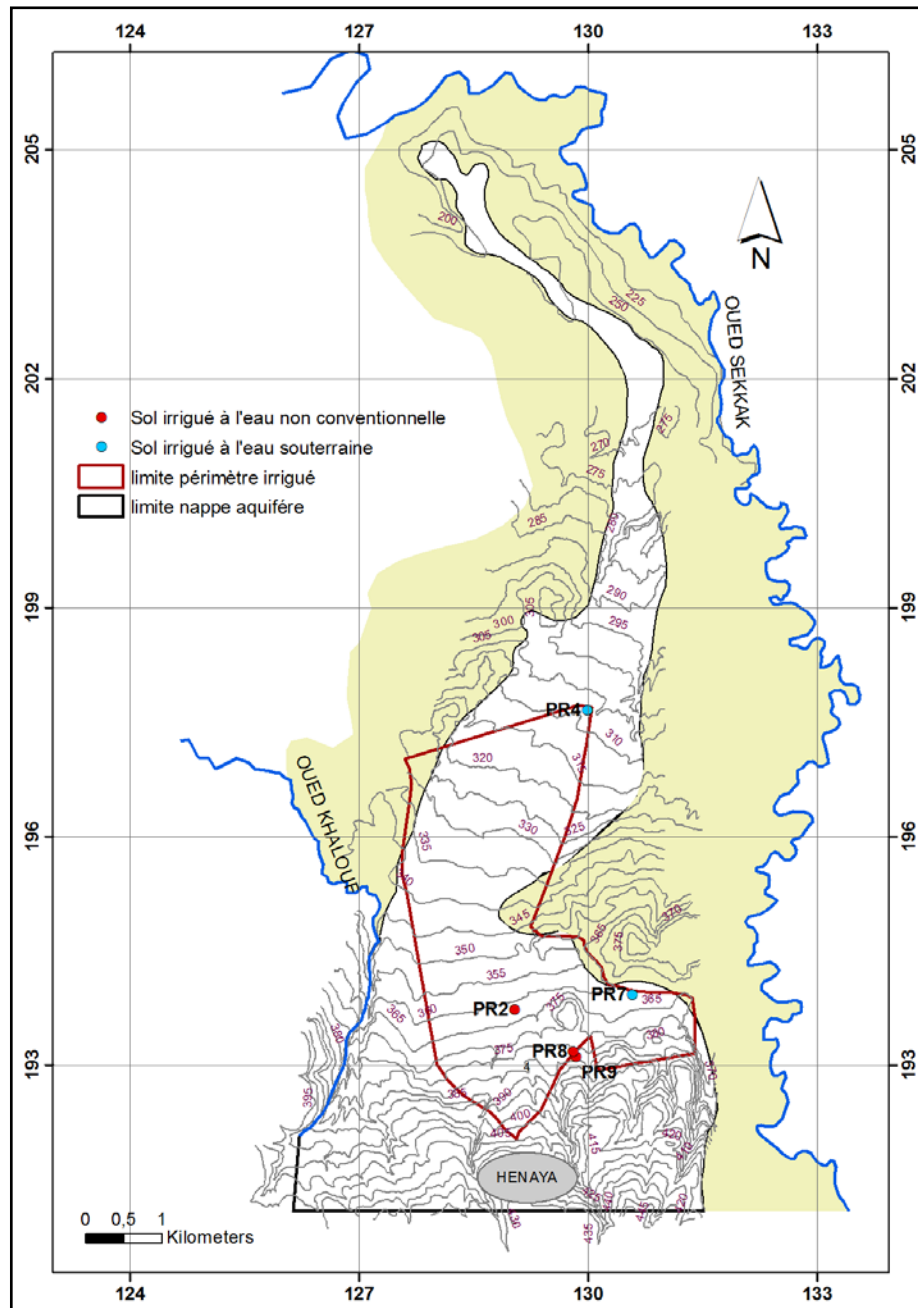


Figure 105 : Localisation des points de prélèvements.

### V.6.1) Echantillonnage et laboratoire d'analyse :

05 échantillons prélevés en février et avril 2011 au niveau de la plaine d'Hennaya ont été analysés au laboratoire de l'I.N.S.I.D.

### V.6.2) Normes :

➤ Norme algérienne de l'arrêté du 08 janvier 1998 (Tableau 34).

Tableau 34: Norme.

Eléments	Valeur limites (ppm)
C <sub>d</sub>	2
Co	30
C <sub>r</sub>	150
Cu	100
N <sub>i</sub>	50
P <sub>b</sub>	100
Zn	300

### V.6.3) Interprétation des résultats d'analyse du sol :

On remarque que les teneurs élevées de certains paramètres notamment le Cobalt, Cadmium ne concernent que les parcelles irriguées avec les eaux usées ou épurés. Par contre pour les parcelles irriguées avec les eaux souterraines les valeurs sont inférieures aux normes.

Tableau 35: Résultats d'analyses.

Echantillons (PPm)	P <sub>2</sub> N <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	P <sub>4</sub> N <sub>1</sub>	P <sub>4</sub> N <sub>2</sub>	P <sub>7</sub> N <sub>1</sub>	P <sub>8</sub> N <sub>1</sub>	P <sub>9</sub> N <sub>1</sub>
Zn	54	24	15	24	37	29	43
P <sub>b</sub>	0	0	0	0	05	4,75	61
Cu	11,15	7,5	7,5	9,35	14,6	19,1	26,6
M <sub>n</sub>	52	33	36,7	3,9	50,95	62,15	24,15
Co	30,5	25,5	17,5	11,2	7	21	48
C <sub>d</sub>	0	0	0	1,4	0	1,06	52
C <sub>r</sub>	0	0	0	0	0	0	0

N1 : niveau 0-40 cm

N2 : niveau 40-80 cm

### **CONCLUSION :**

L'eau de tous les points d'eau analysés de la nappe d'Hennaya est légèrement saline, avec une minéralisation élevée. Elle est impropre à la consommation humaine par son taux élevé de nitrates. La carte de ces nitrates qui sont des indicateurs de pollution (Figure 74) met en évidence la variation de ces teneurs qui est essentiellement due à une pollution verticale. Les teneurs élevés du cobalt et cadmium dans le sol du périmètre équipé au niveau des parcelles irriguées avec les eaux non conventionnelles sont des preuves d'une pollution aux métaux lourds. De plus, il y'a une grande possibilité de transfert dans l'eau souterraine. Les taux élevés d'ammonium dans les forages F1 et F4 la rendant impropre à la consommation humaine dans la plaine de Maghnia en raison de l'utilisation d'engrais et d'eaux usées.

## CHAPITRE VI

---

### ACTIVITE AGRICOLE, REGLEMENTATION ET VULNERABILITE.

#### VI.1) Activité agricole :

Les taux élevés d'ammonium des forages F1 et F4 de la plaine de Maghnia (fig 97) et les concentrations importantes des nitrates de tous les points d'eau analysés de la plaine d'Hennaya (fig 73) sont des formes d'azotes présents dans l'eau souterraines. Dans les conditions normales, l'azote de l'air minéralisé par les micro-organismes du sol retourne dans l'atmosphère mais les activités agricoles bouleversent cet équilibre avec la fertilisation azotée, l'irrigation avec les eaux non conventionnelles et les déjections animales. Particulièrement solubles dans l'eau et non retenue par le sol, les nitrates et l'ammonium sont lessivés et entraînés dans les nappes. Ce phénomène est accentué en hiver lorsque les sols agricoles sont nus en cas de forte pluie.

Les principales sources de pollutions agricoles à travers le bassin de Tafna ayant un impact négatif sur la qualité d'eau souterraine se résument comme suit :

#### VI.1.1) Irrigation avec les eaux usées:

La pratique actuelle d'irrigation avec les eaux usées peut engendrer un risque de contamination d'origine microbiologique et chimique à la fois pour le sol et les eaux souterraines. Les principales sources de contamination chimique sont les métaux lourds qui présentent une menace en termes de santé. D'autant plus qu'ils sont beaucoup plus difficiles à combattre par rapport aux risques pathogènes.

Tableau 36: Irrigation avec les eaux usées dans le bassin de Tafna.

Commune	Localité	Superficies irriguées (ha)	Types de cultures	Nbre de fellahs
<b>Chetouane</b>	chetouane	7,5	Arbo-Maraichages	10
	Ouzidane	3,5	Arbo-Maraichages	5
	Ain el houtz	17	Arbo-Maraichages	15
	Ain defla	5	Arbo-Maraichages	10
<b>S/Total</b>	-	<b>33</b>	-	<b>40</b>
<b>Ain fezza</b>	Ain fezza	2	Maraichages	6
	Ouchba	3	Maraichages	10
<b>S/Total</b>	-	<b>5</b>	-	<b>16</b>
<b>Tlemcen</b>	Sidi otman	1	Arbo-Maraichages	1
	Sidi daoudi	1	Arbo-Maraichages	1
	Abou tachfine	1	Arbo-Maraichages	1
	Koudia	1	Arbo-Maraichages	1
	route saf saf	3	Arbo-Maraichages	2
	Sidi haloui	1	Arbo-Maraichages	1
	Fedan sebaa	1	Arbo-Maraichages	1
<b>S/Total</b>	-	<b>9</b>	-	<b>8</b>
<b>Sebdou</b>	Ain bergine	1,5	Maraichages	8
	Metmar	1	Maraichages	10
	Melg el oudiane	3	Maraichages	20
	Taoudlala	0,5	Arbo-Maraichages	2
<b>S/Total</b>	-	<b>6</b>	-	<b>40</b>
<b>Mansourah</b>	Imama	0,5	Maraichages	1
	Bouhanek	0,5	Maraichages	1
	Beni boublen	1,5	Maraichages	2
<b>S/Total</b>	-	<b>2,5</b>	-	<b>4</b>
<b>Beni mester</b>	Zelboun	1,5	Maraichages	2
	El haoud	0,5	Maraichages	1
	Sidi benali	0,5	Maraichages	1
<b>S/Total</b>	-	<b>2,5</b>	-	<b>4</b>
<b>Remchi</b>	Sidi miloud	8	Arbo-Maraichages	12
<b>S/Total</b>	-	<b>8</b>	-	<b>12</b>
<b>Hennaya</b>	Ain el hadjer	8	Arbo-Maraichages	6
	Sidi yahia	5	Arboriculture	5
	Mekacem	4	Arboriculture	3
<b>S/Total</b>	-	<b>17</b>	-	<b>14</b>
<b>Total Wilaya</b>	-	<b>83</b>	-	<b>138</b>

L'irrigation avec les eaux usées est strictement interdite conformément à la réglementation mise en vigueur, mais son application sur terrain est difficile et en particulier dans les zones périurbaines (Tableau n° 36).

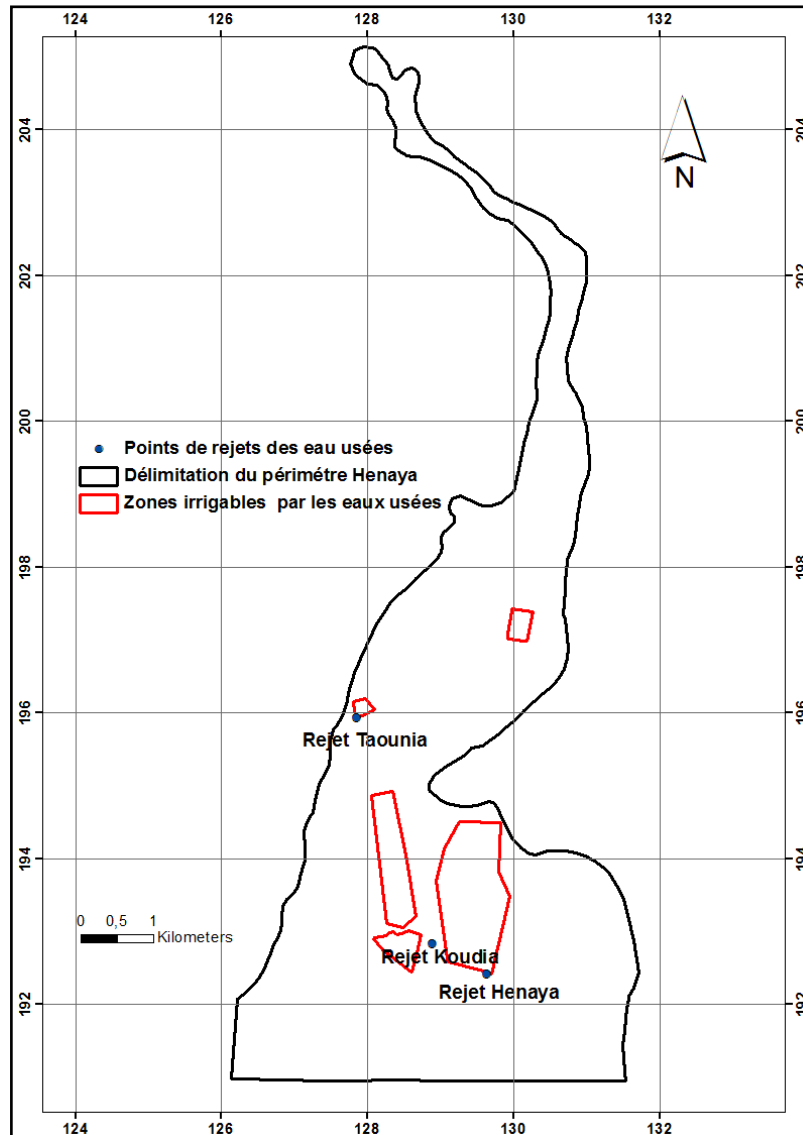


Figure 106 : Zones irriguées par les eaux usées dans la plaine d’Henaya.

Dans la plaine d’Henaya les principaux rejets d’eau usée déversent directement dans l’ancien canal d’irrigation engendrant un risque de pollution élevé à la fois pour le sol et les eaux souterraines dans les zones irrigables (fig 106). La seule solution pour mettre fin à cette pratique est le développement des systèmes d’épuration adéquat. Il nous a été impossible d’estimer l’apport annuel des nitrates qui déversent dans la plaine. Le fait est que les débits moyens annuels des rejets d’eaux usées et les concentrations moyennes annuelles en nitrates de ces derniers sont inconnus.



### VI.1.2) Irrigation avec les eaux épurées :

Comme pour les eaux usées, l'utilisation des eaux épurées présente des risques de pollution. Ceci est dû au fait que les stations d'épuration soient réalisées avec le système d'épuration primaire et secondaire qui vise à éliminer uniquement les matières organiques par traitement biologique. Ce dernier est réalisé en faisant appel à l'activité de microorganismes (bactéries) qui dégradent naturellement les matières organiques dissoutes.

Tableau 37: Stations d'épuration localisées dans le bassin de Tafna.

		<b>Volume épuré /an</b>
<b>Stations d'épurations</b>	STEP Aïn El Houtz	10 950 000 m <sup>3</sup>
	STEP Maghnia	7 229 555 m <sup>3</sup>
	Station lagunage Sidi Snouci	474 500 m <sup>3</sup>

Les eaux épurées de la station d'Ain el Houtz sont destinées pour irriguer le périmètre équipé d'Hennaya (fig 106), par contre les eaux épurées issues des autres stations (Tableau 37) se déversent directement dans les oueds. L'estimation de l'apport annuel des nitrates qui déversent dans la plaine nous a encore une fois été impossible en raison de la méconnaissance des débits moyens annuels des eaux épurées et des concentrations moyennes annuelles en nitrates.

### VI.1.3) Rejets d'élevage :

La concentration de l'élevage entraîne un excédant de déjections animales. Sous l'effet pluviométrique, les eaux s'infiltrent dans la nappe souterraine enrichies en dérivés azotés est constituant un risque de pollution.

Quantité d'azote produit par les animaux de l'exploitation (Kg/an) =  $A \times B \times (C/12)$

Où;

A : nombres de cheptels.

B : moyennes annuelles des quantités d'azote des déjections animales.

C : indique en mois la durée de présence des animaux sur l'exploitation.

Tableau 38: Estimation de l'apport annuel Kg/an en azote à partir de l'élevage pour le périmètre d'Hennaya et Maghnia.

Calcul de la quantité d'azote produite par les animaux Kg/An.	Hennaya (A)	Maghnia (A)	B	C	D = AxBx(C/12) Hennaya	D = AxBx(C/12) Maghnia
Catégorie d'animaux	Nombre d'animaux		Azote des déjections animales (pour 12 mois)	Durée de présence sur l'exploitation en mois	Quantité d'azote produit par les animaux	Quantité d'azote produit par les animaux
<b>BOVINS</b>						
Vache laitière	390	1630	85	12	33150	138550
Mâle 1-2 ans, croissance (Taureau 1-2 ans)	40	250	42	12	1680	10500
Veau d'élevage croissance	70	730	25	12	1750	18250
<b>EQUINS</b>						
Cheval	15	40	44	12	660	1760
Poulain 1-2 ans	8	17	37	12	296	629
<b>OVINS</b>						
Brebis	11000	12000	10	12	110000	120000
Bélier	500	140	10	12	5000	1400
Agneau, Agnelle	3600	4900	5	12	18000	24500
<b>CAPRINS</b>						
Chèvre	300	520	10	12	3000	5200
Bouc	50	60	10	12	500	600
Chevreau, Chevrette	200	450	5	12	1000	2250
<b>VOLAILLES (par animal produit)</b>						
Poulets de chair	540000	78000	0.449	12	242460	35022
Poule pondeuse (reproductrice ponte)	32000	5000	0.313	9	7512	1174
Total					425008	359835

A l'exception des rejets de l'élevage avicole ces quantités sont utilisées par les agriculteurs comme fertilisants.

#### **VI.1.4)Agriculture Intensive :**

L'utilisation des engrais, des herbicides, insecticides et autres produits phytosanitaires pour l'amélioration de la production constitue un risque important de pollution agricole. Les produits ne se dégradant pas instantanément dans le milieu peuvent s'infiltrer dans les eaux souterraines.

Le développement agricole dans le bassin versant de la Tafna favorise en effet :

➤ **La monoculture** qui a des impacts négatifs par l'utilisation et la consommation intensive des produits phytosanitaires.

#### ➤ **L'utilisation des engrais :**

Les engrais chimiques et naturels sont utilisés dans l'agriculture afin d'améliorer la production. Ils apportent aux plantes les éléments qui se trouvent en quantité insuffisante dans le sol.

La politique d'intensification des cultures par l'utilisation d'intrant agricole, mise en place dans le cadre du dispositif d'aide de l'état avec la subvention des engrais chimique, n'est pas sans conséquence sur la dégradation de la qualité de l'eau souterraine.

L'évaluation des quantités d'azote d'origines chimique et animale importée sur l'exploitation est pratiquement impossible à l'échelle du bassin de Tafna. Conséquence d'une utilisation anarchique par les agriculteurs. Par contre, la variété des produits est recensée par la direction des services agricoles de la Wilaya (Tableau 38).

Urée à 46% d'azote est un produit de fabrication locale très utilisés par les agriculteurs de la région. Ceci est dû à son efficacité, sa disponibilité et son prix accessible, il est utilisé pour le maraichage, l'arboriculture et les céréales avec une dose variant de 1 à 3 quintaux/ha .

Tableau 39: Liste des engrais utilisés dans le bassin de Tafna.

Désignation technique	Autres désignations	Concentration
FERTILEADER 9.5.4	Fertilisant NPK + B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn	N : 9%, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :5%,K <sub>2</sub> O :4% B : 0.05%, Cu :0.02%,Fe :0.02% Mn : 0.1%, Mo : 0.01%, Zn : 0.05%
FERTILEADER 4.6.9	Fertilisant NPK + B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn	N : 4%, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :6%,K <sub>2</sub> O :9% B :0.05%,Cu :0.02%,Fe :0.02% Mn : 0.1%, Mo : 0.01%, Zn : 0.05%
FERTILEADER MAGICAL	Fertilisant CaO + Mgo	CaO : 12%, 4% MgO
FERTILEADER ALPHA	Fertilisant NP + B	N : 6,5%, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :12,6% B : 4,2%
EUROFIT MAX	Fertilisant NP + Fe,Mn,Zn	N:3%,P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :35%, Fe:0.2%, Mn:2.8%, Zn:1%
FERTIACTYL GZB	Fertilisant NK+B	N : 13%, K <sub>2</sub> O :5% B : 0,2%
ERTIACTYL GREEN EXTREME	Fertilisant Fer	Fe : 6%
KSC I	Fertilisant hydro-soluble NPK+SO <sub>3</sub> ,B,Cu,Fe,Mo,Zn	N :14%,P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :40%,K <sub>2</sub> O :5%, SO <sub>3</sub> :13%,B :0.1%,Cu:0.05%, Fe :0.1%,Mo:0.01%,Zn:0.1%
KSC II	Fertilisant hydro-soluble NPK+SO <sub>3</sub> ,Fe,Mn,Zn	N :23%,P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :5%,K <sub>2</sub> O :5%, SO <sub>3</sub> :29%,Fe :0.1%,Mn:0.05%, Zn:0.1%
KSC III	Fertilisant hydro-soluble NPK+B, Fe, Mo	N :15%,P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :5%,K <sub>2</sub> O :35%, B:0.1%,Fe :0.1%,Mo:0.01%
KSC SULFACID	Engrais azoté + SO <sub>3</sub>	N:16%, SO <sub>3</sub> :41%
TIMASOL 20.20.20	Fertilisant hydro-soluble NPK+SO <sub>3</sub> ,B,Cu,Fe,Zn	N :20%,P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :20%,K <sub>2</sub> O :20%, SO <sub>3</sub> :17%,B :0.01%,Cu:0.01%, Fe :0.02%,Zn:0.01%
TIMASOL 15.30.15	Fertilisant hydro-soluble NPK + MgO,SO <sub>3</sub> ,Fe,Mn, Zn	N :15%,P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :30%,K <sub>2</sub> O :15%, MgO : 2 ,SO <sub>3</sub> :39%,Fe :0.02%, Mn:0.01%,Zn:0.01%
TIMASOL 28.14.14	Fertilisant hydro-soluble NPK + MgO,SO <sub>3</sub> ,B,Fe	N :28%,P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :14%,K <sub>2</sub> O :14%, MgO : 2 ,SO <sub>3</sub> :15%, B :0,01, Fe :0.02%
TIMASOL 15.15.30	Fertilisant hydrosoluble NPK+MgO,Fe,Mn,Zn	N :15%,P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :15%,K <sub>2</sub> O :30%, MgO :2, Fe :0.02%, Mn : 0,01%, Zn:0.01%

TIMASPRINT	Fertilisant solide NPK+ MgO,SO3,B	N:10%,P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :5%,K <sub>2</sub> O:12% MgO:2%,SO <sub>3</sub> :16%,B:0.1%
MAP	Fertilisant hydro-soluble NP	N:12%, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :61%
NITRATE DE POTASSE	Fertilisant hydro-soluble NK	N:13%, K <sub>2</sub> O:46%
NITRATE DE CALCIUM	Fertilisant hydro-soluble N, CAO	N:15.5% , CAO: 26%
BIOACTYL SUPERBE	Fertilisant solide NPK+ MgO,SO3,B	N:8%,P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :10%, K <sub>2</sub> O:22% MgO:3%,SO <sub>3</sub> :10%,B:0.2%
SULFAMO 23/5	Fertilisant azoté + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + SO3	N:23%, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :5%,SO <sub>3</sub> :21%, MgO:2%,
TRIPLE SUPER PHOSPHATE (TSP 46 %)	Engrais phosphaté	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 46%
P K 20.25	Engrais P K	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :20%,K <sub>2</sub> O:25%
N P K 11.15.15	Engrais N P K	N:11%, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :15%, K <sub>2</sub> O:15%
N P K 15.15.15	Engrais N P K	N:15%, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :15%, K <sub>2</sub> O:15%
N P K 16 .16. 16	Engrais N P K	N:16%, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :16%, K <sub>2</sub> O:16%
Urée 46	Engrais N	N: 46 %.
SSP 20 %	Engrais P	P: 20%
N P K 10.10.10	Engrais N P K	N:10%, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :10%, K <sub>2</sub> O:10%
SULFAZOTE	Engrais azoté	N: 26 % , S: 12 %.
PHOSPERT	NP	N : 12 % , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 52 %
PATFERT	NPK	N 8 % . P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 10 % , K <sub>2</sub> O 30 %
POTASOL	K+ S	K <sub>2</sub> O : 50 % , 46 % SO <sub>3</sub>

Tableau 40 : Liste des engrais utilisés dans le bassin de Tafna.

- **L'utilisation des Fongicides** pour le traitement des maladies du Mildiou pour la pomme de terre, Oïdium pour la vigne, la rouille et le charbon pour les céréales.
- **L'utilisation des Pesticides et Herbicides** est très variée dans notre région.
- **L'accroissement de la demande en eau** crée aussi un déséquilibre naturel.

## VI.2) Aspect réglementaire :

Le traitement d'une eau souterraine contaminée est couteux voire impossible dans certains cas. A cet effet, la prévention est le seul moyen de lutte contre la pollution de l'eau. La réalisation des périmètres de protection des ressources en eau constitue un outil de prévention très efficace.

La définition de ces périmètres nécessite la réalisation d'études pluridisciplinaires très spécifiques. Ces périmètres sont définis réglementairement autour des points de prélèvement après une étude hydrogéologique et prescrits par une déclaration d'utilité publique.

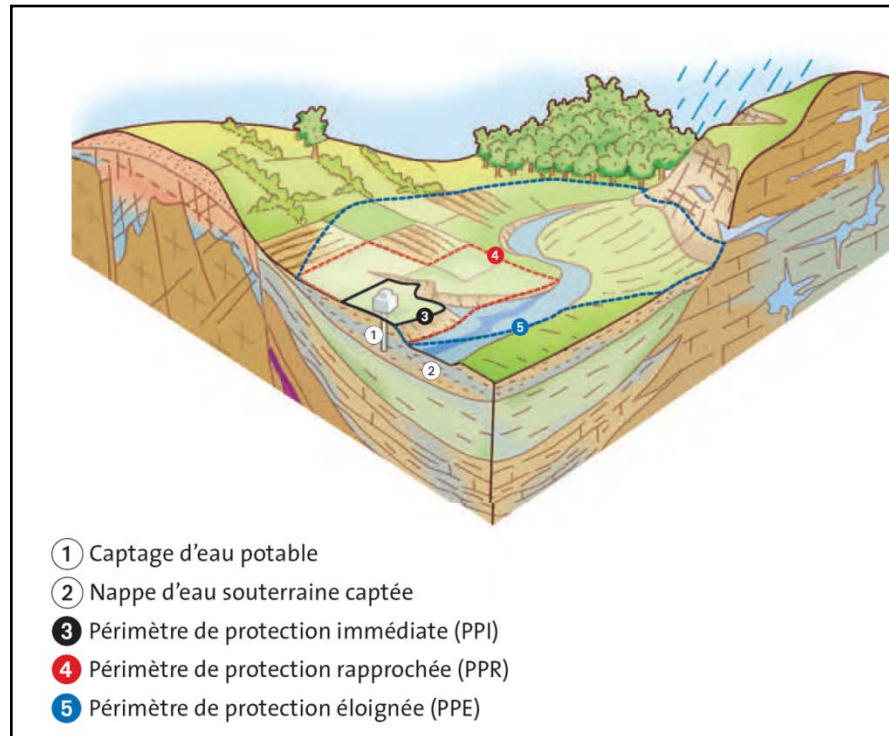


Figure 107: Périmètres de protection (B.R.G.M, 2010).

Les périmètres visant à protéger les captages des dégradations sont au nombre de trois :

**- Le périmètre de protection immédiate :**

Il vise à éliminer tout risque de contamination directe de l'eau captée et correspond à la parcelle où est implanté l'ouvrage. Il est acquis par le propriétaire du captage et doit être clôturé. Toute activité y est interdite.

**- Le périmètre de protection rapprochée :**

Il a pour but de protéger le captage vis-à-vis des migrations souterraines de substances polluantes. Sa surface est déterminée par les caractéristiques de l'aquifère. Les activités pouvant nuire à la qualité des eaux sont interdites.

### - Le périmètre de protection éloignée :

Ce dernier périmètre n'a pas de caractère obligatoire. Sa superficie est très variable et correspond à la zone d'alimentation du point d'eau. Les activités peuvent être réglementées compte tenu de la nature des terrains et de l'éloignement du point de prélèvement.

Les périmètres de protection réglementaires permettent principalement de lutter contre les pollutions ponctuelles mais s'avèrent insuffisants vis-à-vis des pollutions diffuses. Afin de mieux définir les programmes d'actions et de cibler et hiérarchiser les territoires d'action au sein de la zone de protection, il est nécessaire de définir au sein des aires d'alimentation de captage (AAC) les zones les plus vulnérables aux pollutions diffuses (B.R.G.M, 2010).

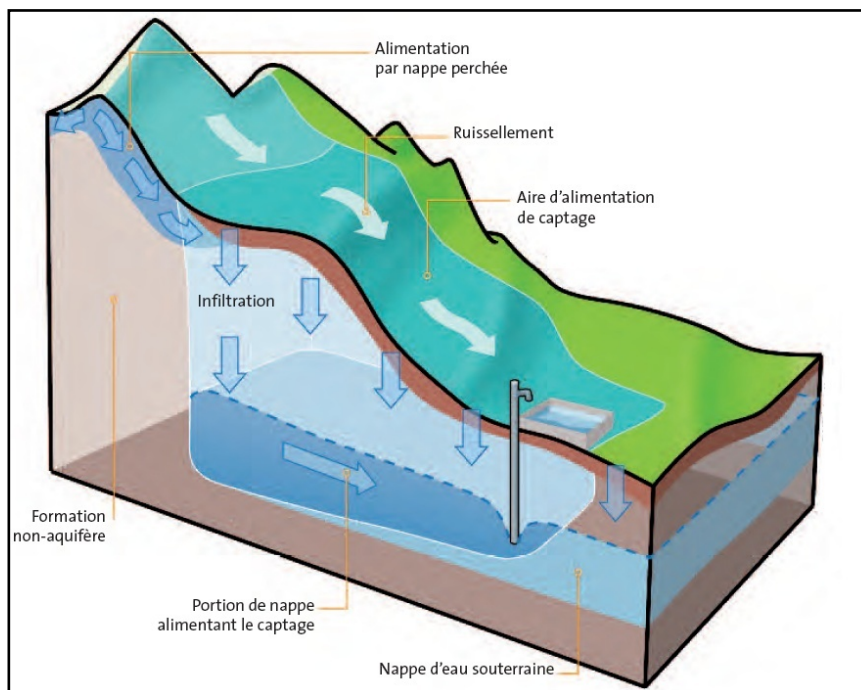


Figure 108: Aire d'alimentation de captage (B.R.G.M, 2010).

Les extraits réglementaires de la législation algérienne concernant la protection qualitative des captages et des nappes phréatiques conformément au décret exécutif n° 07-399 du 14 Dhou El Hidja 1428 correspondant au 23 décembre 2007 se présentent comme suit :

- Les étendues des périmètres de protection sont définies dans **l'article 2**
- Les champs d'application de protection sont définis pour les captages de sources, les forages et les puits de mobilisation dans **l'article 3** et autour des parties vulnérables des nappes d'eau souterraine dans **l'article 4**.
- La procédure d'instauration des périmètres de protection après la réalisation d'une étude technique, sa communication aux services concernés pour avis et son approbation par l'administration chargée des ressources en eau est définie dans **l'article 7**.
- Les étapes de l'étude technique sont définies dans **l'article 10**.
- La réglementation à l'intérieur des périmètres de protection ainsi que les mesures d'interdiction et de limitation des activités sont définies dans **les articles 20 et 21**.

Le décret a tracé les grandes lignes de protection sans pour autant donner des précisions sur les méthodes pour la détermination des distances des différentes zones de protection. Ces distances sont bien déterminées dans les pays développés (Derni, 2011).

A titre d'exemple, le périmètre de protection immédiat en Allemagne et en Belgique est à moins de *10 m*, en Norvège de *20 à 30 m*.

Le périmètre de protection rapproché est basé sur le temps de transfert d'un polluant. En Allemagne fédérale et aux-états unis d'Amérique, il est de l'ordre de *50 jours*. En Norvège, il est de *60 jours* et en Belgique de *24 heures*.

Le périmètre de protection éloigné en Allemagne fédérale et en Norvège correspond à la totalité de la zone d'alimentation. Aux états-unis d'Amérique, il est déterminé sur un temps de transfert du polluant de *15 ans* minimum et de *20 ans* si possible. En Belgique, il est de *1 à 50 jours*.

### **VI.3) Evaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines de la nappe d'Hennaya :**

La notion de la vulnérabilité des nappes souterraines par rapport à la pollution intègre les différents facteurs physiques et stables déterminant la mesure dans laquelle



ces nappes se trouvent. Autrement dit, dans les conditions naturelles plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol (Albinet et Margat, 1975).

### VI.3.1) Généralités :

On distingue deux types de vulnérabilité (Schnebelen et al, 2002)

- La vulnérabilité défini comme propriétés intrinsèque des aquifères utilisé pour représenter les caractéristiques physiques du milieu naturel et sa sensibilité à la pollution par les activités anthropiques.
- La Vulnérabilité est liée aux propriétés spécifiques du contaminant en relation avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque.

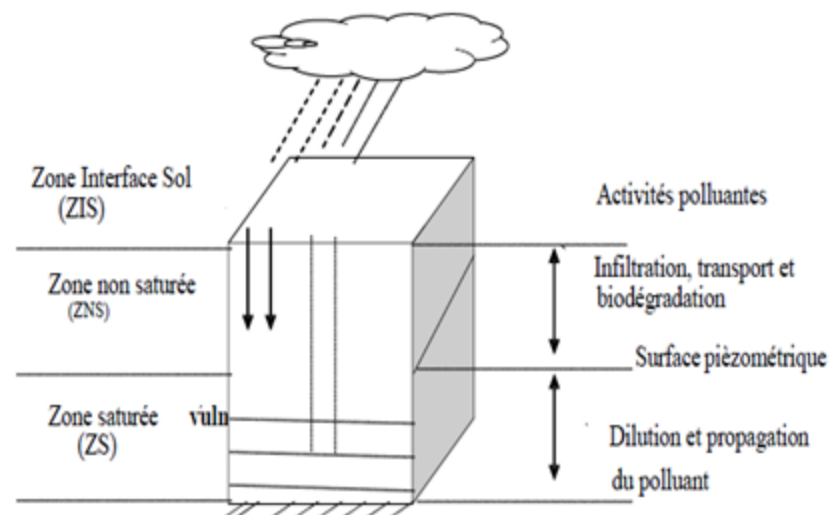


Figure 109 : Schéma de la contamination des eaux souterraines

Il existe trois grandes catégories de méthode d'évaluation de la vulnérabilité :

- Les méthodes de cartographie à index.

Elles sont basées sur la combinaison des cartes thématiques de divers paramètres de vulnérabilité au moyen de logiciel en donnant un index numérique à chaque paramètre. Plusieurs méthodes sont proposées pour cartographier la vulnérabilité d'un milieu continu. On peut noter comme exemples les méthodes suivantes :

➤ D.R.A.S.T.I.C : Développée par l'EPA (Environmental Protection Agency) en 1985 et Aller et al. 1987. Elle est utilisée pour la cartographie à petite échelle. L'évaluation de la vulnérabilité dépend de 07 paramètres.

➤ SINTACS : Dérivée de la méthode DRASTIC, 1990 utilisée pour une cartographie à moyenne échelle et grande échelle se basant sur 07 paramètres.

➤ GOD : Développée par Foster en 1987. L'évaluation la vulnérabilité dépend de 03 paramètres.

- Les modèles de simulation.
- Les méthodes statistiques.

Les deux dernières méthodes sont basées sur le transport des polluants. Elles sont utilisées pour la vulnérabilité spécifique. Dans ce travail la vulnérabilité est évaluée et cartographiée par la méthode de cartographie à index qui est la plus utilisée dans le cadre de vulnérabilité intrinsèque.

### **VI.3.2) Critères de vulnérabilité :**

La caractérisation de la vulnérabilité intrinsèque nécessite la prise en compte de plusieurs critères, chaque critère ayant un impact sur la protection de l'aquifère Sous-jacent. Ces différents critères sont ainsi présentés ci-dessous (B.R.G.M, 2008).

#### **➤ Critères relatifs au sol :**

La topographie et la pédologie influence la quantité d'eau qui s'infiltré. Une pente forte où une texture du sol argileux favorise le ruissellement et diminue l'infiltration.

#### **➤ Critères de la zone non saturée :**

- L'épaisseur de la zone non saturée conditionne le temps de transfert du polluant jusqu'à la nappe.
- La perméabilité verticale influe directement sur le temps de transfert du polluant vers la nappe
- La structure de la zone non saturée, la texture, les discontinuités, la teneur en argile et en matières organiques influent sur la propagation du polluant vers la nappe.

➤ **Critères de la zone saturée :**

- Type de nappe : une nappe libre est plus sensible qu'une nappe active.
- Les paramètres Hydrodynamiques (perméabilité, transmissivité, coefficient d'emmagasinement, gradient hydraulique).
- Niveau piézométrique.
- Direction et sens de l'écoulement.

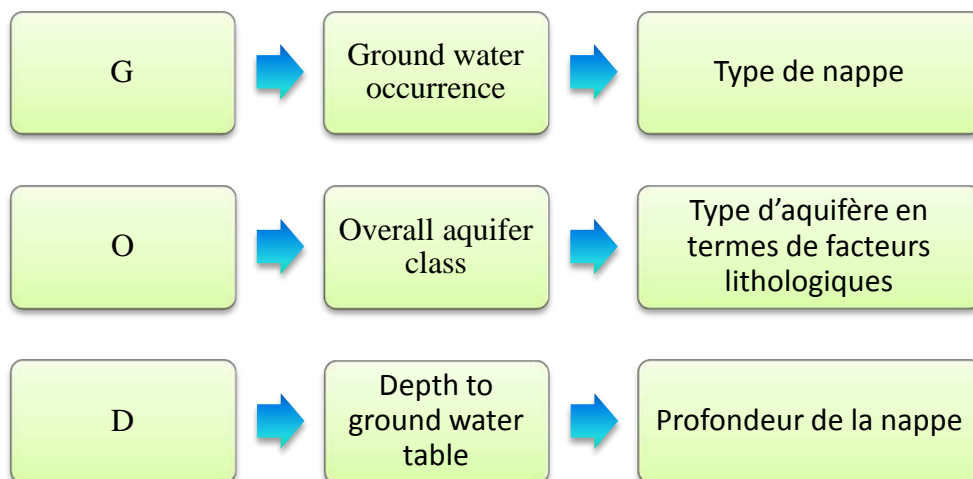
➤ **Critères communs à la zone non saturée, saturée et sol :**

- Le système de fracturation, les discontinuités verticales.
- La recharge efficace

**VI.3.3) Application de la méthode GOD pour la plaine d'Hennaya :**

D.R.A.S.T.I.C est la méthode la plus utilisée et la plus efficace pour ce type de milieu. Hélas par faute de disponibilité des données pédologiques l'évaluation de la vulnérabilité de la nappe d'Hennaya est réalisée par l'application de la méthode GOD.

Cette méthode est basée sur l'identification de trois paramètres.



L'indice de vulnérabilité  $I_G$  permettant l'évaluation de la vulnérabilité est obtenu par la multiplication de ces trois paramètres (Murat et al, 2003).

$$I_G = G.O.D$$

La valeur de l'indice calculée nous informe sur le degré de la vulnérabilité.

Tableau 4142 : Classification selon le degré de vulnérabilité

Classe	Intervalle
Vulnérabilité très faible	0 – 0,1
Vulnérabilité faible	0,1 – 0,3
Vulnérabilité modéré	0,3 – 0,5
Vulnérabilité forte	0,5 – 0,7
Vulnérabilité extrême	0,7 – 1

➤ **Type de nappe G :**

Tableau 43: Valeurs des paramètres type de nappe.

Type de nappe G	
Type de nappe	Valeur du paramètre
Captive artésienne	0,1
Captive	0,2
Semi captive	0,3
Semi libre	0,5
Libre	1

Une nappe libre est plus vulnérable qu'une nappe captive protégée par des formations imperméables. L'hétérogénéité des formations géologiques de la plaine d'Hennaya constatée dans les sondages de prospection ainsi que la pédologie du sol limoneux argileux, nous permet de conclure que la nappe est captive par endroit et libre par un autre. En l'absence de carte limitant le type de nappe en zone homogène, nous avons retenu, pour l'étude de la vulnérabilité, le cas le plus défavorable en considérant que la nappe est totalement libre.

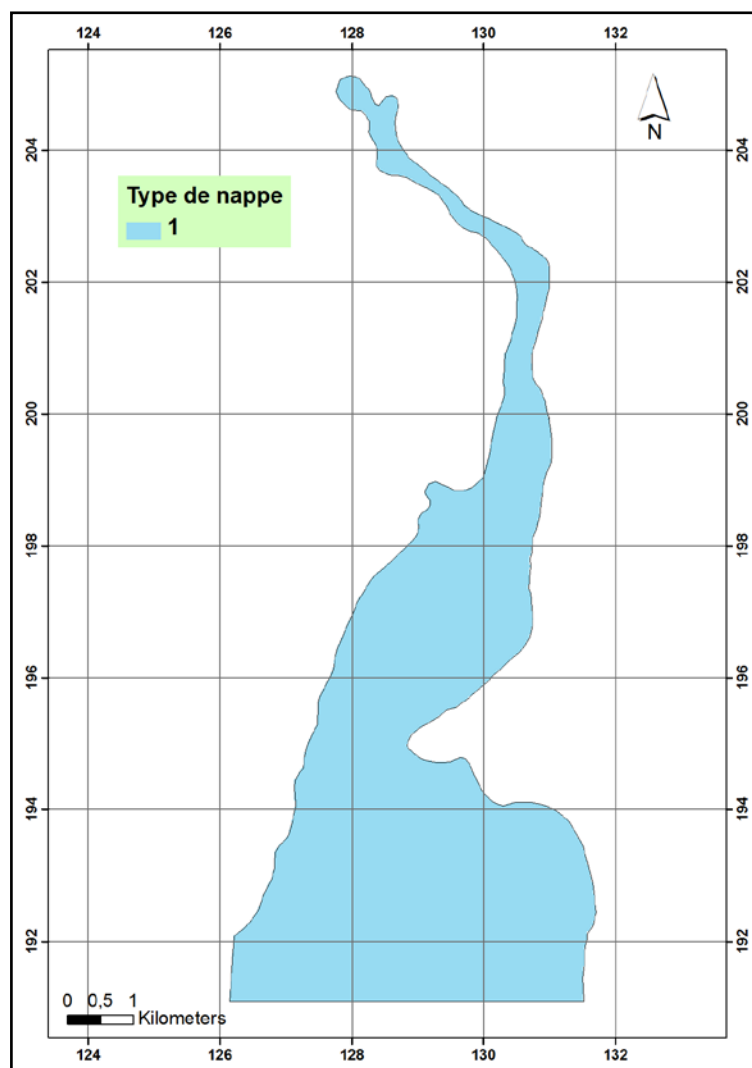


Figure 110 : carte type de nappe paramétrée.

### ➤ Facteurs Lithologique O

Tableau 44: Valeurs des paramètres Facteurs Lithologique.

Facteurs Lithologique O	
Facteurs Géologiques	Valeur du paramètre
Grès	0,7
Conglomérats, Travertins, Gravier et Gravier argileux	0,8

La nature géologique des formations aquifère de la nappe d'Hennaya (Fig 111) Conditionne la migration de fluides vers la nappe, Dans les terrains sablonneux la pollution ne se transmet qu'à une très faible vitesse, la grandeur de la surface des particules solides permet une rétention importante, surtout s'il y a des particules argileuses.

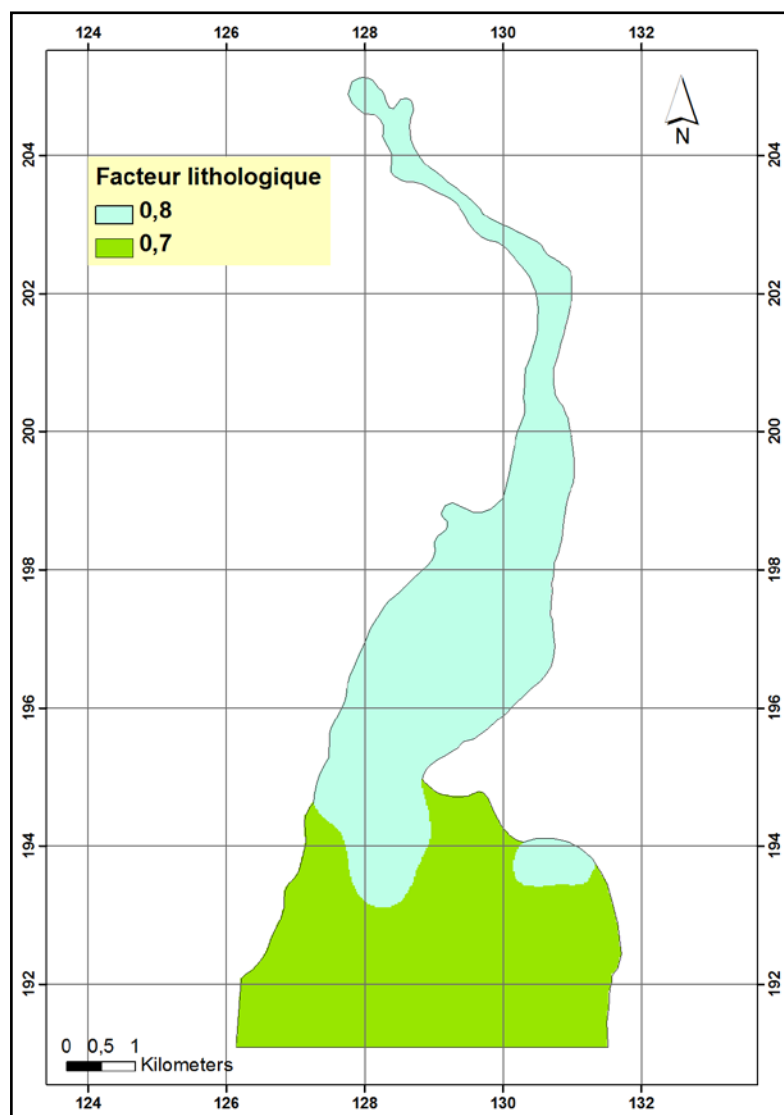


Figure 111 : Carte Lithologique paramétrée.

➤ **Profondeur de la nappe D :**

Tableau 45: Valeurs du paramètre profondeur de la nappe.

<b>Profondeur de la nappe (D)</b>	
Profondeur (m)	Valeur des paramètres
> 100	0,4
50 – 100	0,5
20 – 50	0,6
10 – 20	0,7
5 – 10	0,8
2 – 5	0,9
< 2	1

La profondeur de l'aquifère d'Hennaya (Fig 112) conditionne le temps de transfert d'un polluant jusqu'à la nappe et donc son éventuelle dégradation en cours de transfert.

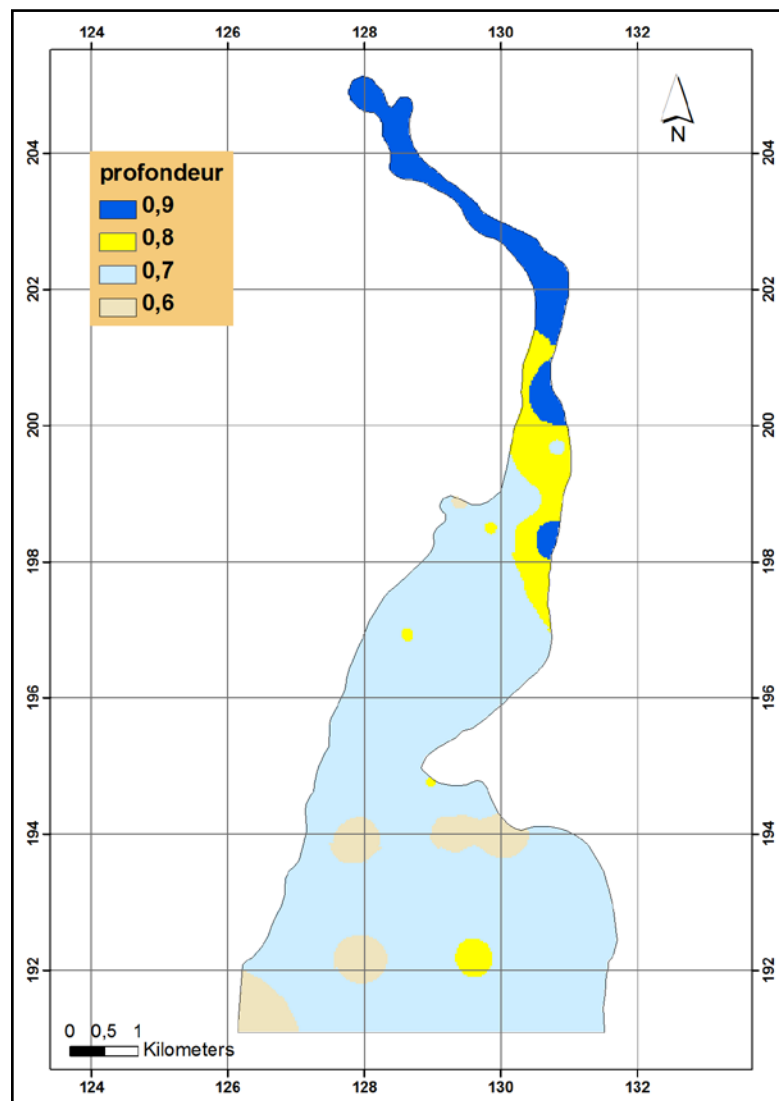


Figure 112: Carte profondeur de la nappe paramétrée

La superposition des trois cartes pondérées (Fig 113) avec l'application de la formule G.O.D permet d'obtenir la carte de l'indice qui s'effectue sur la base d'une discrétisation de l'espace de la zone d'étude en pixel par application de l'algèbre spatiale. Il s'agit d'une méthode qui permet d'effectuer une analyse spatiale en créant des expressions dans un langage algébrique. L'outil *Calculatrice raster* est un outil de géo-traitement approprié dans ArcGIS 10 en matière d'algèbre spatiale. Il facilite la création et le traitement des expressions d'algèbre spatiale pour obtenir un jeu de données raster.

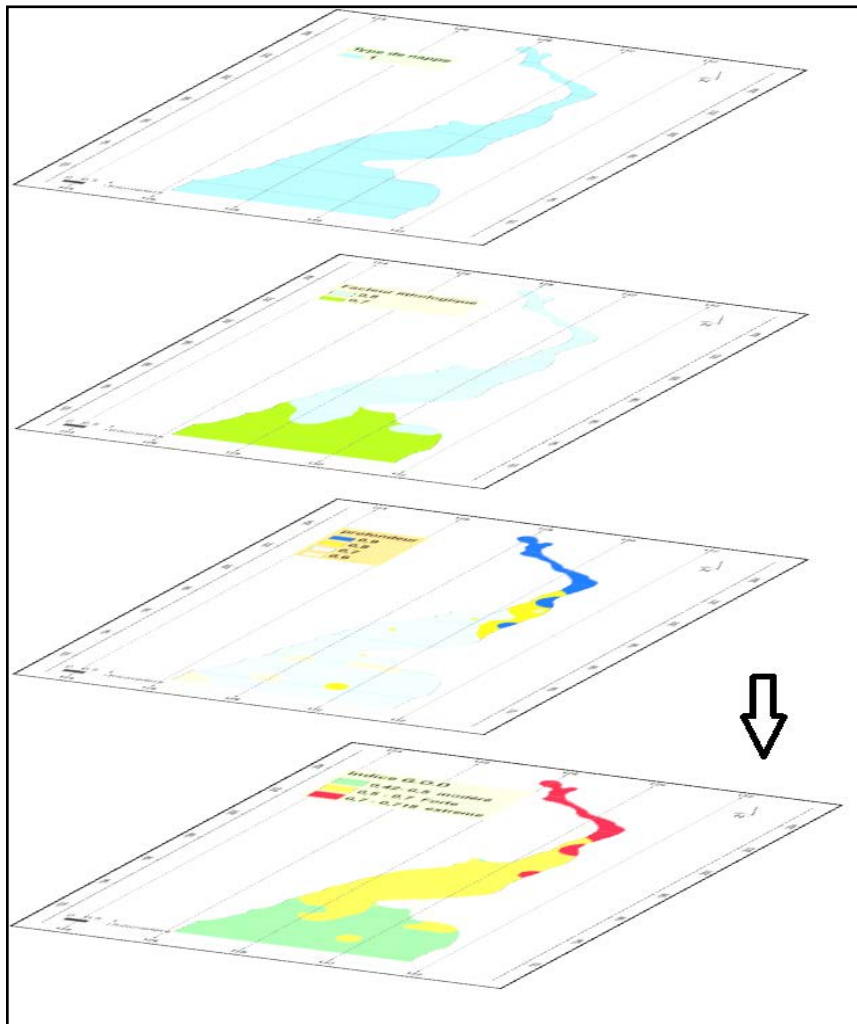


Figure 1133 : Superposition des trois cartes pondérées

Le document cartographique (Fig 113)) obtenu de l'application de la méthodologie décrit la répartition spatiale de l'indice G.O.D présentant trois intervalles. Chaque indice ainsi calculé représente une évaluation du degré de vulnérabilité de la nappe.



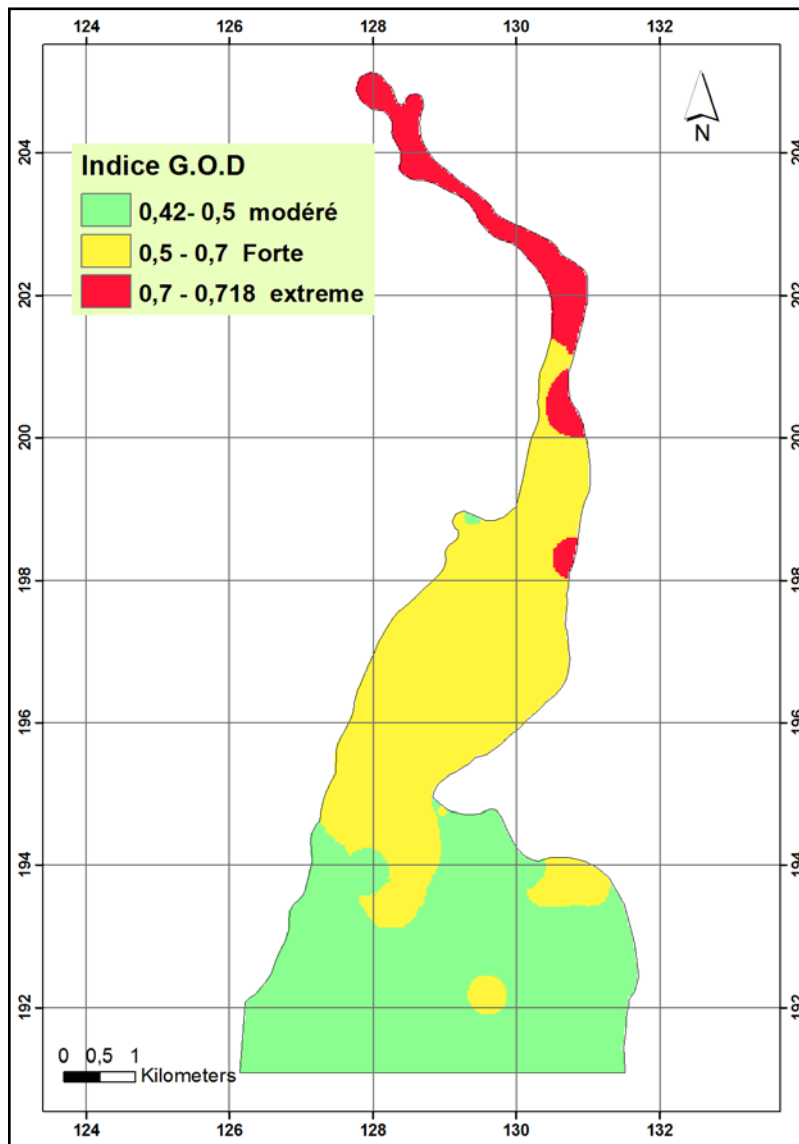


Figure 114 : Carte de l'indice GOD

La carte finale montre une vulnérabilité extrême occupant 7,8 % de la superficie totale au niveau des exutoires de la nappe ; forte occupant 43,4 dans la partie centrale et moyenne occupant 48,8 % au sud.

#### VI.3.4) Validité des cartes de vulnérabilité :

La validité des cartes de vulnérabilités est conditionnée par l'analyse chimique des eaux souterraines (Isabel et al, 1990). Par ailleurs, l'efficacité des résultats dépend de la quantité de mesures et analyses chimiques qu'il est possible de réaliser.

Dans notre cas, seulement 8 analyses ont pu être effectuées par manque de moyens.

Néanmoins, nous avons constaté après analyse du taux des nitrates que ce dernier dépasse le seuil toléré de l'eau potable. De plus, ceci concerne tous les points d'eau analysés et situés dans le domaine de forte et moyenne vulnérabilité.

Nous avons également remarqué que le taux le plus élevé de nitrate se trouve à Ain Wahab qui est de *108 mg/l*. Il est bien localisé dans la zone à vulnérabilité extrême.

## **CONCLUSION :**

Dans la carte de vulnérabilité intrinsèque réalisée pour l'année 2011 période des moyennes eaux, on distingue trois classes à différents degrés de vulnérabilité :

-Les zones à vulnérabilité modérée qui occupent 48,8 % de la superficie totale localisées principalement au sud.

-Les zones à vulnérabilité forte occupent 43,4 % de la superficie totale se limitent à deux emplacements dont la majorité se trouve au centre et deux petits périmètres au sud.

-Les zones à vulnérabilité extrême qui occupent 7,8 % de la superficie totale, sont situées au nord et au niveau des résurgences de la nappe.

## CONCLUSION GENERALE

Notre étude avait comme point de départ la présentation d'une synthèse générale du bassin versant de Tafna. Par la suite, les zones d'Hennaya et Maghnia sont devenues notre point de focalisation. Ces dernières connaissent une activité agricole importante et comptent parmi les meilleures plaines à haute potentialité agricole de la Wilaya.

Notre travail avait consistait à présenter une étude détaillée d'une de ces nappes. Il s'agit principalement de la nappe d'Hennaya. Elle est située dans le sous-bassin de Sikkak. Ce dernier, d'une superficie de 241 km<sup>2</sup> est de forme moyennement allongée avec un réseau hydrographique très limité. Son relief de type très fort favorise le phénomène d'érosion.

Le climat de la zone semi-aride. La lame d'eau moyenne annuelle précipitée sur l'ensemble du sous-bassin est estimée à 424,5 mm pour la période 1974-2010. L'évapotranspiration représente 72% des précipitations ce qui constitue une quantité importante. Quant à l'écoulement, la quantité est relativement faible.

Les formations aquifères sont représentées par les grés tortoniens et les sédiments quaternaires. Quant aux formations imperméables constituant le substratum imperméable, elles sont représentées par les marnes Helvétiques qui affleurent à la surface, à l'est et à l'ouest.

La plaine d'Hennaya renferme un aquifère alluvionnaire d'une capacité d'environ 22 millions m<sup>3</sup> avec une épaisseur importante dans la partie centrale et beaucoup plus faible en allant vers le nord. Le gradient hydraulique diminue du sud vers le nord et les paramètres hydrodynamiques sont plus importants au centre de l'aquifère. La carte piézométrique a été réalisée, au mois de juin, sur la base de la campagne des mesures du niveau d'eaux dans les puits. La comparaison de la piézométrie estimée en juin 2011 avec celle réalisée en juin et juillet 1969 a montré un abaissement important entre les deux périodes qui est dû principalement aux changements climatiques et à la surexploitation de la nappe. La fluctuation piézométrique entre les deux périodes varie entre 2,18 et 9,35m. Le document cartographique de la piézométrie met en évidence des limites étanches à flux nul à l'est et à l'ouest contrairement au sud constituant l'alimentation principale de l'aquifère à partir

des formations du jurassique. La recharge est beaucoup plus faible par rapport à cette dernière.

Au terme de ce travail, nous pouvons dire que les masses d'eaux souterraines des plaines d'Hennaya et Maghnia constituent tous les deux des réserves d'eaux importantes.

La prise de conscience de la dégradation des milieux aquatiques est la base de la nouvelle directive du Ministère en eau. Dans cette perspective, ce dernier a lancé des projets pilotes pour un suivi aussi bien qualitatif que quantitatif de quelques nappes à travers le territoire national.

Il est désormais nécessaire de garantir le respect des objectifs fixés. En d'autres termes, il s'agit de passer à de résultats avec l'exigence d'assurer le bon état écologique des aquifères potentiels.

Pour notre part, les résultats des analyses que nous avons effectuées ont montré tout d'abord que les taux des nitrates de tous les points d'eau de la nappe d'Hennaya varient de 85 à 108 mg/l. Ils dépassent donc les normes de qualité de consommation humaine.

A notre avis, ces résultats dépassent aussi les normes de qualité de l'eau pour l'irrigation si l'on se réfère à l'arrêté interministériel du 02 janvier 2012. Pour rappel, ce dernier fixe les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation limitant les concentrations maximales admissibles pour les nitrates à 30 mg/l.

Cette conclusion traduit une pollution diffuse agricole et d'élevage. Dans la plaine d'Hennaya, ces derniers sont reconnus maintenant comme une source potentielle de dégradation de la qualité des eaux. Quant aux polluants, ils trouvent origine dans l'utilisation des fertilisants, l'irrigation avec les eaux non conventionnelles ainsi que les rejets d'élevage. Mais nous n'écartons pas pour autant la possibilité d'une pollution issue de l'alimentation principale du sud. La confirmation de cette hypothèse nécessite un bon choix du réseau de suivi de la qualité avec des quantités d'échantillons suffisantes pour une bonne interprétation des résultats.

En ce qui concerne la nappe de Maghnia, l'eau des forages analysée a été jugée propre à la consommation humaine sauf pour les forages F1 et F4 qui présentent des teneurs élevés d'ammonium dépassant les normes de potabilité. Ceci témoigne d'une pollution verticale par les composés azotés que les bactéries du sol transforment en ammonium. L'origine de cette pollution est probablement due à l'agriculture intensive, aux rejets d'élevage et aux systèmes d'assainissement autonomes défectueux ou mal entretenus. De ce fait, il est indispensable d'assurer l'élaboration d'un suivi de la qualité des eaux souterraines avec des études détaillées pour préciser les sources de pollution.

Il est clair que les quantités d'échantillons analysés sont insuffisantes pour cerner tous les problèmes de pollution. Nous nous sommes limités uniquement aux analyses des paramètres physicochimiques sans pour autant pousser notre recherche dans le domaine d'une éventuelle pollution en éléments toxiques. Cette dernière limite est due à l'incapacité des laboratoires régionaux sollicités à réaliser de telles analyses par faute de moyens. Le problème a été rencontré au niveau des laboratoires pour l'acquisition des produits chimiques nécessaires aux procédés d'analyses assurant leur bon fonctionnement.

Ces obstacles apparaissent comme des contraintes majeures pour les chercheurs dans le domaine. Il est à noter qu'en matière des problèmes de protection des milieux récepteurs, les laboratoires d'analyses constituent une plate - forme essentielle assurant l'établissement des bases de données spatiauo- temporelles nécessaires pour la gestion environnementale.

En Algérie, un grand pas reste à faire dans ce domaine surtout en matière d'initiative du développement de l'irrigation avec les eaux usées épurées. La réussite de ce projet d'actualité mondiale est conditionnée par le développement de nos laboratoires en vue d'assurer la préservation de la santé publique.

Comme autre résultat d'analyse, nous évoquons le fait que l'eau de la nappe d'Hennaya soit classée légèrement saline. Cette caractéristique est probablement due au contact avec les marnes helvétiques salines ou à l'irrigation avec les eaux non conventionnelles. La salinité de cette eau ne convient qu'aux plantes présentant une bonne tolérance au sel comme l'olivier. Dans le cas contraire, les rendements des cultures peuvent être affectés.

La mauvaise qualité de l'eau de tous les points d'eau analysés est surtout influencée par une forte minéralisation et des teneurs élevées de composés azotés. Les taux dépassent les normes de certains paramètres notamment le Cobalt, Cadmium au niveau du sol du périmètre équipé qui concerne les parcelles irriguées avec les eaux usées ou épurées. Ce qui témoigne d'une pollution en métaux lourds pouvant affecter les eaux souterraines. Tout cela représente une grande menace pour la consommation humaine.

Cette situation nécessite l'élaboration d'un plan d'action susceptible d'améliorer la qualité des ressources en eau en assurant sa protection et sa préservation.

Sur ce sujet, il a été jugé important d'introduire la notion de vulnérabilité des aquifères en fonction de la nature géologique des terrains. Dans la carte de vulnérabilité intrinsèque réalisée pour l'année 2011, période des moyennes eaux, on distingue trois classes à différents degrés de vulnérabilité. Les zones à vulnérabilité modérée occupent 48,8 % de la superficie totale sont localisées principalement au sud. Les zones à vulnérabilité forte occupent 43,4 % de la superficie totale se limitant à deux emplacements dont la majorité se trouve au centre et deux petits périmètres au sud. Les zones à vulnérabilité extrêmes occupent 7,8 % de la superficie totale sont localisées au niveau des exutoires de la nappe et au nord.

Cette donnée est validée par les taux élevés des nitrates qui sont les principaux indicateurs de la pollution dans tous les points d'eau analysés. La carte de vulnérabilité réalisée pourra servir d'un appui technique pour les prises de mesures par les gestionnaires, afin de réduire la pollution diffuse d'origine agricole et d'élevage.

La prévention reste le meilleur moyen de lutte contre la pollution. Nous pouvons dire que la législation algérienne en matière de protection des eaux souterraines nécessite un enrichissement pour s'aligner avec les pays développés comme par exemple la détermination des distances des différentes zones de protection, l'indemnisation des agriculteurs en cas d'interdiction d'utilisation des engrais et pesticides, la limitation des quantités d'épandage de fumier, l'expropriation, la normalisation des dépôts de stockage des produits chimiques dans les zones sensibles et une bonne volonté de son application sur le terrain.

## **Bibliographie**

## Mémoires et thèses

- ADJIM H. (Juillet 2004) : *Evaluation et affectation des ressources hydriques superficielles du bassin versant de la Tafna*, Thèse de Magistère, Université de Tlemcen.
- BRUYN B. (janvier 2004) : *Étude de la vulnérabilité des eaux aux produits phytosanitaires : indicateur environnemental et modèle mécaniste en vue d'une meilleure gestion du bassin versant de la Leysse (Savoie)*, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble 1,.
- DE BRUYN.B (janvier 2004) : *Étude de la vulnérabilité des eaux aux produits phytosanitaires : indicateur environnemental et modèle mécaniste en vue d'une meilleure gestion du bassin versant de la Leysse (Savoie)*, Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble 1.
- BELAID N. (janvier 2010) : *Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques*. Thèse de Doctorat, Université de Limoges.
- BELKHIRI L. (Juin 2011) : *Étude de la pollution des eaux souterraines : cas de la plaine d'Ain Azel - Est Algérien*, Thèse de Doctorat, Batna , Université Hadj Lakhdar.
- BOUANANI A. (2004) : *Hydrologie, transport solide et modélisation étude de quelques sous- bassins de la Tafna (nw – algérie)*, Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen.
- BUSSARD T. (2005) : *Méthodologie de dimensionnement des zones de protection des captages d'eaux souterraines contre les polluants chimiques persistants*, Thèse de doctorat, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.
- DERNI S. (2011) : *Réflexion sur les critères de choix d'une méthodologie pour la cartographie de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines. Cas du bassin versant de la Tafna*, Thèse de Magistère, Université de Tlemcen.
- GAAGAI A. (2009) : *Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar sur oued El Arab éégion est de l'Algérie*, mémoire de magistère, Université de Batna,.
- GOUAIDIA L. (2008) : *Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des parametres physico –chimiques des eaux d'une nappe en*



zone semi- aride. Cas de la nappe de Meskiana nord-est algérien, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba.

- HAYANE S. (1983) : *Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Sikkak (région de Tlemcen)*, Thèse de Doctorat, Université d'Oran.
- KHALDI A. *Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida"*, Thèse de Doctorat, Université d'Oran.
- OUANDAOGO S., (2008) : *Ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina faso. Qualité et vulnérabilité*, Mémoire de doctorat, Université d'Avignon et des pays de Vaucluse.
- ZIANI D. (2009) : *Impact de la pollution agricole et urbaine sur la qualite des eaux souterraines de l'aquifere de Ain Djasser, est algérien*. Mémoire de Magistère, Université de Batna.

### **Articles et ouvrages théoriques**

- AKE G.E., DONGO.K., KOUADIO B.H., DIBI B., SALEY M.B., BIEMI J. (2009) : «Contribution des Méthodes de Vulnérabilité Intrinsèque DRASTIC et GOD à L'Etude de la Pollution par les Nitrates dans la Région de Bonoua (Sud-est de la Côte d'Ivoire)» in *European Journal of Scientific Research*, p. 157-171.
- AL-HANBALI A., KONDOH A. (2008): «Groundwater vulnerability assessment and evaluation of human activity impact (HAI) within the Dead Sea groundwater basin, Jordan» in *Hydrogeology Journal*, p.499–510.
- ALLIER D., VITTECOQ B., MARDHEL V. (2008) : *Evaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines de la Martinique*. Etude, BRGM/RP-56283-FR.
- ANTONAKOS A.K., LAMBRAKIS.N.J. (2007): «Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the drastic model, an example from NE Korinthia, Greece» in *Journal of Hydrology*, pp 288– 304.
- BAALI F., ROUABHIA A., KHERICI N., DJABRI L., BOUCHAOU L., HANI A. (2007) : «Qualite des eaux souterraines et risque de pollution en milieu semi-

aride. Cas de la cuvette de Chéria (NE Algerien.» in *Estudios Geológicos*, pp 127-133.

- BARAN N., MALCUIT E., NEGREL PH. VITTECOQ B. (2006) : *Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique. Campagne de saison des pluies 2005 : résultats et comparaison avec la 1<sup>ère</sup> campagne de basses eaux (2004) et la 1<sup>ère</sup> campagne de saison des pluies (2004)*. Etude, BRGM/RP-54717-FR.
- BENSAOULA F., ADJIM M. (2008) : «La mobilisation des ressources en eau : contexte climatique et contraintes socio-économiques» in *Larhyss Journal*, Juin 2008: p. 79-92.
- BOIS P.H. (2000) : *Hydrologie Générale*. Institut polytechnique de Grenoble.
- BOISVERT E., BOLDUC A., BOURQUE E., FAGNAN N., FORTIER R., GIRARD F., LAROSE-CHARRETTE D., LEFEBVRE R., MARTEL R., MICHAUD Y., PARADIS D., PARENT M., VIGNEAULT H. (2008) : *Guide méthodologique pour la caractérisation régionale des aquifères granulaires*, Université de Québec.
- CASTANY G. (1982) : *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*, Paris, Edition Dunod.
- FEHDI C., BOUDOUKHA A. ROUABHIA A., SALAMEH E. (2009) : «Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-Est algérien)» in *Afrique Science*, p.217 - 231.
- GAALOUL N. (2009) : «Un Système d'Information Géographique (SIG) pour l'évaluation de la vulnérabilité de l'aquifère côtier du Cap Bon (Tunisie)», *Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime*, Hammamet, EDITION 1,.
- GRAVIER A., KOCH-MATHIAN J-Y., MARDHEL V., NOWAK C. (janvier 2006) : *Croisement des données des sites Basol avec la vulnérabilité simplifiée des nappes du bassin Seine-Normandie*. Etude, BRGM/RP-54257-FR,.
- *Guide des pratiques hydrologiques*. OMM-n° 168, 1994.
- HILLIER A. (2011): *Manuel for wrinting with Arc.Gis. 10*, University of Pennsylvania.
- HASSOUNE M., EL KETTANI S., KOULALI Y., BOUZIDI A. (2010) : «Contamination bactériologique des eaux souterraines par les eaux usées de la ville de Settat, Maroc.» in *Microbiol. Ind. San et Environn*, p.1-21.

- KAO T., EL MEJAHED K., BOUZIDI A. (2007) : «Evaluation de la pollution métallique dans les sols agricoles irrigués par les eaux usées de la ville de Settat (Maroc)» in *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, p.89-92.
- LASM T., DE LASMEO, YEÏ OGA M., YOUANTA M., BAKA D., KOUAME F., KOFFI YAO T., (avril 2011) : «Caractérisation hydrochimique des aquifères fissurés de la région de San-Pedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire)» in *International Journal of Biological and chemical sciences*, p.642-662.
- MARDHEL V., GRAVIER A. (Février 2006) : *Carte de vulnérabilité simplifiée des eaux souterraines du bassin Loire Bretagne*. Etude, BRGM/RP-54553-FR,
- MARDHEL V., PINSON S., GRAVIER A. (Décembre 2005) : *Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines en région Nord-Pas-de-Calais*. Etude, BRGM/RP-54238-FR,.
- MARIE-JOSEE.C, DANIEL.B. (Août 2004) : *Interprétations du cadre écologique de référence pour l'aménagement du territoire de la MRC de la Matapédia*. Etude, Ministère de l'Environnement du Québec.
- MINA A. (2007) : «Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : Application à la plaine du Gharb (Maroc).» in *Journal of Water Science*, p. 185-199.
- MUSY A., HIGY C. (2011) : *Hydrology*. USA: Science Publishers,.
- NDIAYE L.M., PFEIFER H.R., NIANG S., DIENG Y. M., TONOLLA M., PEDUZZI R. : «Impacts de l'utilisation des eaux polluées en agriculture urbaine sur la qualité de la nappe de Dakar (Sénégal) .» *Vertigo* in *La revue électronique en sciences de l'environnement*. Consulté le 16 Septembre 2010.
- PÉDELABORDE P. (1986) : «Les bilans hydriques» in *Cahiers de géographie du Québec*,p. 5-23.
- PINSON S., VITTECOQ B., ALLIER D., MARDHEL V. (Aout 2008) : *Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : synthèse cartographique*. Etude, BRGM/RP-56242-FR,.
- RAGHUNATH H.M. (2006): *Hydrology.Principles.Analysis.Design*. New Delhi: New Age International (P) Ltd., Publishers.

- RODIER J., LEGUBE B., MERLET N. (2009) ,coll. *L'Analyse de l'eau 9e édit.*, Paris, Dunod.
- ROUABHIA A., DJABRI L. (Juin 2010) : «L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma El Abiod » in *Larhyss Journal*, p. 55-67.
- Technoexportstroy, *Aménagement Hydraulique de la plaine de Hennaya*. Etude, Direction de l'hydraulique, 1971.
- VERNOUX F., WUILLEUMIER A., DORFLIGER N. (Septembre 2007) : *Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses*. Etude, BRGM/RP-55874-FR,.

## Listes des figures

Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude. ....	4
Figure 2 : Délimitation du bassin versant de la Tafna. ....	5
Figure 3 : Sous-bassins de la Tafna ..... 6	6
Figure 4 : Cadre géographique du bassin de la Tafna..... 7	7
Figure 5 : Réseau hydrographique. .... 8	8
Figure 6 : Extrait de la carte géologique du nord d'Algérie 1/ 500 000 ..... 9	9
Figure 7 : Zones Aquifères d'après (collignon, 1984)..... 12	12
Figure 8 : Carte d'altitudes interpolées avec courbes de niveaux digitalisées..... 13	13
Figure 9 : Carte d'altitudes en T.I.N. .... 14	14
Figure 10 : Carte M.NT du bassin versant..... 15	15
Figure 11 : courbe hypsométrique ..... 17	17
Figure 12 : Réseaux hydrographique d'oued Sikkak..... 19	19
Figure 13 : Profil en long de l'Oued Sikkak ..... 20	20
Figure 14 : Homogénéisation de la station Sidi Bounekhla..... 25	25
Figure 15 : Homogénéisation de la station de Lala Setti. .... 25	25
Figure 16 : Homogénéisation de la station Mefrouche..... 25	25
Figure 17 : Homogénéisation de la station Pierre du chat ..... 26	26
Figure 18 : Homogénéisation de la station Chouly..... 26	26
Figure 19 : Homogénéisation de la station Hennaya ..... 26	26
Figure 20 : Graphe représentant les périodes d'observation..... 27	27
Figure 21 : Variations annuelles des précipitations ..... 27	27
Figure 22 : Précipitations moyennes des différentes stations. .... 28	28
Figure 23 : Carte d'isohyètes ..... 30	30
Figure 24 : carte d'isohyètes mois d'août..... 31	31
Figure 25 : Variations mensuelles des précipitations du vecteur Sikkak. .... 31	31
Figure 26 : Répartition saisonnière des pluies du vecteur Sikkak ..... 32	32
Figure 27 : Variations des températures mensuelles à la station de Zenata. .... 32	32
Figure 28 : Représentation graphique de l'indice de Martone du vecteur Sikkak..... 33	33
Figure 29 : Climagramme d'Emberger ..... 34	34
Figure 30 : Diagramme Ombrothermique. .... 35	35
Figure 31 : Calcul de l'ETP avec le logiciel Hydrognomon..... 36	36
Figure 32 : Evapotranspiration de Sikkak..... 36	36
Figure 33 : Variations interannuelles du module d'oued Sikkak..... 37	37

Figure 34 : Variations mensuelles de la lame d'eau écoulé et précipité.....	37
Figure 35 : Interface du logiciel Hydrognomom. ....	39
Figure 36 : Calage et comparaison entre les apports observés et les apports obtenus lors de l'exercice de calage. ....	40
Figure 37 : Délimitation de la nappe d'Hennaya.....	42
Figure 38 : Conglomérats au niveau de la source d'Ain Hallilifa. ....	44
Figure 39 : Extrait de la carte géologique 1/50 000 (feuille de Tlemcen n° 270) réalisée par M. Doumergue 1926.....	45
Figure 40 : Carte hydrogéologique des formations aquifère d'après (Technoexportstroy, 1969).....	47
Figure 41 : Carte en courbes isohypses de la surface du substratum.....	49
Figure 42 : Carte d'épaisseur .....	50
Figure 43 : Situation des coupes géologiques des figures 44 et 45. ....	51
Figure 44 : Coupe géologique 1-1 d'après (Technoexportstroy, 1969).....	52
Figure 45 : Coupe géologique 2-2 et 3-3 d'après (Technoexportstroy, 1969). ....	52
Figure 46 : Les sources .....	53
Figure 47 : Campagnes piézométriques.....	54
Figure 48 : Carte piézométrique (juin 2011) .....	54
Figure 49 : Courbes de battement de la nappe d'Hennaya (mai- juin 2011) .....	55
Figure 50 : Courbes de battement de la nappe d'Hennaya (1969-2011) .....	55
Figure 51 : Carte piézométrie (juin, juillet 1969). ....	56
Figure 52 : Carte de profondeur.....	57
Figure 53: Carte de Transmisivité .....	58
Figure 54 : Carte de perméabilité. ....	59
Figure 55 : Outil Surface Différence. ....	60
Figure 56 : Carte du toit de l'aquifère.....	60
Figure 57 : Carte d'isohyètes. Mois de juillet.....	62
Figure 58 : Nombres d'échantillons.....	65
Figure 59 : Balance ionique de la série 5.....	69
Figure 60 : Balance ionique de la série 3.....	69
Figure 61 : Conductivité avec les 05 approximations.....	70
Figure 62 : Alcalinité des échantillons analysés au laboratoire.....	72
Figure 63 : Concentration en calcium des échantillons analysés au laboratoire. ....	73
Figure 64 : Concentration en Chlorures.....	74

Figure 65 : Concentration en ions d'Hydrogène.....	74
Figure 66 : Conductivité.....	75
Figure 67 : Dureté.....	76
Figure 68 : Concentration en Potassium.....	77
Figure 69 : Résidu sec analysé au laboratoire.....	78
Figure 70 : Conductivité mesurée en juin 2011.....	79
Figure 71 : Concentration de Sodium.....	80
Figure 72 : Concentration en Sulfates.....	80
Figure 73 : Concentration en Nitrates.....	81
Figure 74 : Carte des concentrations en Nitrates.....	82
Figure 75 : Classification des eaux souterraines d'Hennaya dans le diagramme de Piper. .....	83
Figure 76 : Classification de Schöeller et Berkloff des points d'eau P1, P2, P20, P33. .....	84
Figure 77 : Classification de Schöeller et Berkloff des points d'eau P13, P14, P64 et Ain Wahab.....	85
Figure 78 : Corrélation entre le Magnésium et le Calcium.....	86
Figure 79 : Corrélation entre Nitrates et Sulfates.....	87
Figure 80 : SAR des échantillons analysés.....	89
Figure 81 : Diagramme Riverside.....	90
Figure 82 : Echantillons analysés.....	91
Figure 83 : Situation des forages analysés.....	94
Figure 84 : Balance ionique.....	95
Figure 85 : Erreur de la conductivité avec les 05 approximations.....	95
Figure 86 : Alcalinité des échantillons analysés au laboratoire.....	96
Figure 87 : Concentration en calcium.....	97
Figure 88 : Concentration en Chlorures.....	97
Figure 89 : Concentration en ions d'Hydrogène.....	98
Figure 90 : Conductivité.....	98
Figure 91 : Dureté.....	99
Figure 92 : Concentration en potassium.....	99
Figure 93 : Minéralisation.....	100
Figure 94 : Concentration de sodium.....	100
Figure 95 : Concentrations en Sulfates.....	101

Figure 96 : Température. ....	101
Figure 97 : Concentration en Ammonium. ....	102
Figure 98 : Concentrations en Nitrates. ....	102
Figure 99 : Classification des eaux de Maghnia dans le diagramme de Piper.....	103
Figure 100 : Classification de Schöeller et Berkloff des forages F1, F2, F4, F6.....	104
Figure 101 : Classification de Schöeller et Berkloff des forages F3, F5, F7.....	104
Figure 102 : Classification de l'eau pou consommation humaine (ANRH).....	105
Figure 103 : SAR. ....	106
Figure 104 : Diagramme Riverside.....	107
Figure 105 : Localisation des points de prélèvements.....	108
Figure 106 : Zones irriguées par les eaux usées dans la plaine d'Hennaya. ....	113
Figure 107: Périmètres de protection (B.R.G.M, 2010). ....	119
Figure 108: Aire d'alimentation de captage (B.R.G.M, 2010).....	120
Figure 109 : Schéma de la contamination des eaux souterraines ....	122
Figure 110 : carte type de nappe paramétrée. ....	126
Figure 111 : Carte Lithologique paramétrée.....	127
Figure 112: Carte profondeur de la nappe paramétrée ....	128
Figure 1133 : Superposition des trois cartes pondérées.....	129
Figure 114 : Carte de l'indice GOD.....	130



## Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau d'occupation du sol agricole Campagne 2011 (DSA, 2012). .....	11
Tableau 2 : répartition altimétrique du bassin versant de Sikkak.....	17
Tableau 3 : Classification du relief de l'O.R.S.T.O.N .....	18
Tableau 4 : Classification des Talwegs (berrezoug, 2002).....	20
Tableau 5 : Rapport de confluence.....	22
Tableau 6 : Caractéristiques du bassin versant Sekkak.....	23
Tableau 7: Caractéristiques des stations Pluviométriques.....	24
Tableau 8 : Paramètres des séries pluviométriques annuelles.....	28
Tableau 9: moy, Ecart type, Coef variation des séries pluviométriques mensuelles.....	28
Tableau 10 : Estimation de la lame d'eau moyenne précipitée .....	29
Tableau 11: Vecteur Sikkak. ....	30
Tableau 12 : paramètres d'entrées du modèle. ....	39
Tableau 13 : Paramètres de sorties après calage. ....	40
Tableau 14: Vecteur Hennaya .....	62
Tableau 15: Profondeur d'enracinement de différentes plantes cultivées.....	63
Tableau 16: Calcul du bilan hydrologique pour la plaine d'Hennaya.....	64
Tableau 17: Laboratoires d'analyse.....	66
Tableau 18: Test PH .....	70
Tableau 19: Paramètres avec valeurs indicatives et limites. ....	71
Tableau 20: Barème de qualité pour l'eau d'irrigation .....	72
Tableau 21: Classification FAO 1985 .....	75
Tableau 22: Degré de la dureté de l'eau.....	76
Tableau 23: Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité. ....	77
Tableau 24: Relation entre minéralisation et conductivité à 20°C.....	78
Tableau 25: Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques. ....	86
Tableau 26: Calcul du Ratio d'absorption en sodium des points d'eau analysés.....	88
Tableau 27: Classification et caractéristiques de l'eau d'irrigation. ....	90
Tableau 28: Norme microbiologique pour la qualité de consommation humaine. ....	91
Tableau 29: Laboratoire d'analyse. ....	91
Tableau 30: Résultats d'analyses.....	93
Tableau 31: Test PH. ....	96
Tableau 32: Calcul du Ratio d'absorption en sodium des points d'eau analysés.....	105

Tableau 33: Classification et caractéristiques de l'eau d'irrigation. ....	107	
Tableau 34: Norme. ....	109	
Tableau 35: Résultats d'analyses.....	109	
Tableau 36: Irrigation avec les eaux usées dans le bassin de Tafna.....	112	
Tableau 37: Stations d'épuration localisées dans le bassin de Tafna. ....	114	
Tableau 38: Estimation de l'apport annuel Kg/an en azote à partir de l'élevage pour périmètre d'Hennaya et Maghnia. ....	115	le
Tableau 39: Liste des engrais utilisés dans le bassin de Tafna.....	117	
Tableau 40 : Liste des engrais utilisés dans le bassin de Tafna.....	118	
Tableau 4142 : Classification selon le degré de vulnérabilité.....	125	
Tableau 43: Valeurs des paramètres type de nappe.....	125	
Tableau 44: Valeurs des paramètres Facteurs Lithologique.....	126	
Tableau 45: Valeurs du paramètre profondeur de la nappe.....	127	

## Résumé :

Le bassin de la Tafna a connu ces dernières années une importante activité agricole. Cela est dû au dispositif d'aide de l'état mis en place depuis l'année 2001. L'utilisation d'intrants agricoles, l'irrigation avec les eaux non conventionnelles, les rejets d'élevage ainsi que l'accroissement de la demande en eau à des fins agricoles ont causé une surexploitation des nappes d'eaux souterraines et une dégradation de la qualité de l'eau. Dans ce travail nous faisons en premier lieu une présentation générale du bassin versant de Tafna et plus particulièrement des périmètres d'Hénaya et de Maghnia sur lesquels nous sommes focalisés. Ces derniers sont reconnus comme patrimoine agrumicole à haute potentialité agricole où se pratique une agriculture intensive exposant ainsi les eaux souterraines à des risques de pollutions. Cette hypothèse à été confirmée par les analyses de l'eau au niveau des puits et forages privés. Analyses qui révèlent que la présence de nitrates et d'ammonium dépassent les normes relatives à la qualité de l'eau de consommation humaine. L'utilisation d'un outil d'aide à la décision pour la gestion de ces ressources en eaux souterraines, permettant la délimitation des zones sensibles à la pollution, s'avère par conséquent plus qu'indispensable. Dans cette optique, nous avons pu élaborer la carte de vulnérabilité intrinsèque à la pollution de l'aquifère par la méthode d'évaluation GOD tout en utilisant les systèmes d'informations géographiques et notamment le logiciel ArcGIS 10. Cette carte a été réalisée en s'appuyant sur une étude détaillée de la plaine d'Hénaya. Cette étude compte les caractérisations géologique et hydrogéologique réalisées sur la base des données disponibles et les différentes campagnes piézométriques effectuées. Ce document cartographique élaboré fait ressortir trois classes de vulnérabilité à savoir modérée, forte et extrême. Ce document cartographique ainsi que les résultats de la caractérisation qualitative de l'aquifère et de l'étude des différents acteurs de pollution pourraient être exploités dans l'aménagement régional et la mise en place d'un réseau de surveillance de qualité de l'eau.

**Mots clés :** Nappe d'Henaya, Nappe de Maghnia, Périmètre irrigué, Pollution, Vulnérabilité, Protection.

## الموجز :

شهد حوض تافنة في السنوات الأخيرة نشاطا زراعيا هاما و هذا نظرا لجهاز المساعدة الذي وضعتة الدولة منذ عام 2001. لقد تسبب استخدام المدخلات الزراعية والرّي بالمياه غير التقليدية و المبرزات الحيوانية و زيادة الطلب على المياه لأغراض الزراعة استغلالا مفرطا للمياه الجوفية و تدهورا في نوعية المياه في هذا العمل نقدم أولا لمحة عامة عن مستجمع المياه تافنة وخاصة محيط الحناية و مغنية اللذان نركز عليهما . يعتبر هذان الأخيران كميراث لمناطق زراعة الحمضيات عالية الإمكانات الزراعية حيث تمارس زراعة مكثفة تعرّض المياه الجوفية لمخاطر التلوث. وأكدت هذه الفرضية من قبل تحليل المياه في الآبار الخاصة. كشفت التحاليل وجود النترات و الأمونيوم بكمية تتجاوز معايير النوعية للاستهلاك البشري. إن استخدام أداة لدعم اتخاذ القرار لإدارة موارد المياه الجوفية، مما يتيح ترسيم المناطق المعرضة للتلوث أمر لا غنى عنه في هذا السياق، وضعنا خارطة الهشاشة المتأصلة لتلوث طبقة المياه الجوفية عن طريق أسلوب التقييم GOD باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والبرمجيات بما في ذلك برنامج ArcGIS 10. تم إنتاج هذه الخريطة على أساس دراسة مفصلة لسهل الحناية. تتضمن هذه الدراسة خصائص جيولوجية و هيدروجيولوجية مستنتجة بناء على البيانات المتاحة و الحملات البيزومترية المختلفة المحققة. هذه الوثيقة الخرائطية ترسم ثلاث فئات من أصناف الهشاشة : معتدلة، مرتفعة و جد مرتفعة. هذه الوثيقة الخرائطية و نتائج التوصيف النوعي لطبقة المياه الجوفية و دراسة مختلف الجهات الفاعلة للتلوث يمكن أن تستخدم في التخطيط الإقليمي و إنشاء شبكة مراقبة لنوعية المياه .

**كلمات البحث :** مائدة المياه الجوفية للحناية ، مائدة المياه الجوفية لمغنية ، المحيط المسقي ، التلوث ، الهشاشة ، الحماية .

## Abstract :

Tafna basin has experienced in recent years an important agricultural activity. This is due to the device-using the state established since 2001. The use of agricultural inputs, irrigation with unconventional water, livestock emissions and increasing water demand for agriculture have caused overexploitation of groundwater and degradation of the water quality. In this work we give firstly an overview of the watershed of Tafna and more particularly Hénaya and Maghnia perimeters on which we focus. These are recognized as heritage citrus with high agricultural potential where intensive agriculture takes place exposing groundwater to pollution risk. This hypothesis was confirmed by analyzes of the water in private wells. Analyzes revealed that the presence of nitrate and ammonium exceed standards for water quality for human consumption. The use of a tool for decision support for the management of groundwater resources, allowing the delineation of areas susceptible to pollution, is therefore essential. In this context, we have developed a map of intrinsic vulnerability to pollution of the aquifer by the method of valuation GOD while using geographic information systems and software including ArcGIS 10. This map was produced based on a detailed study of the plain of Henaya. This study has geological and hydrogeological characterizations made on the basis of available data and different piezometric campaigns. This document drawn map shows three classes of vulnerability : moderate, high and extreme. This document with the results of the qualitative characterization of the aquifer and the study of the different actors of pollution could be used in regional planning and the establishment of a network of monitoring water quality.

**Keywords:** groundwater Henaya, groundwater Maghnia, Irrigated perimeters, Pollution, Vulnerability, Protection.

