



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



UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID TLEMCEM
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

MEMOIRE

En vue d'obtention du diplôme de

Master

En Sciences de la Terre et de l'Univers

Option

Hydrogéologie

Présenté par :

SFERDJLI Fouzia

Thème : _____

LES PERIMETRES DE PROTECTION DES OUVRAGES DE CAPTAGES DES EAUX SOUTERRAINES. BIBLIOGRAPHIE & ÉTUDE DE CAS

Soutenu le: 29 Octobre 2015, devant le jury composé de :

M. TALEB M.K.

Mme. ADJIM F.

Melle. FANDI W.

M. TABET HELLAL M.A.

M. BAGHLI A.

Président

Encadreur

Co- encadreur

Examineur

Examineur

Université de Tlemcen

2015-2016

DEDICACES

Je dédie cet humble travail avec grand amour sincérité et fierté :

A mes chers parents, source de tendresse, noblesse et d'affection

A mes frères et ma sœur

A tous les membres de ma famille

A toutes mes amies, mes professeurs et à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce modeste travail.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont permis de mener à bien ce modeste travail.

Je voudrais présenter mes vifs remerciements à mon encadreur **Mme F.BENSAOULA** Je voudrais également lui témoigner ma gratitude pour sa patience, son soutien, ses précieux conseils et son aide inestimable durant toute la période du travail afin de mener ce travail à bon port.

Je tiens à remercier très chaleureusement **Melle W.FANDI** qui m'a permis de bénéficier de son encadrement. Je la remercie pour sa générosité, sa sympathie et ses précieux conseils.

C'est un honneur pour moi de voir dans mon jury **Monsieur M.K. TALEB**, **Monsieur A.BAGHLI** et **Monsieur M.A. TABET HELAL**. Qu'ils soient vivement remerciés.

Mes remerciements à tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Tlemcen.

Résumé

Située dans la commune de Chetouane au sein de la petite localité de Aïn El Hout, la source étudiée et qui porte le même nom est une source karstique d'un débit moyen de 13.8L/s. Elle enregistre de grandes variations de débit (de 5 à 35L/s). Ceci a pu être identifié grâce à une étude géologique et hydrogéologique. Le faciès de son eau est de type bicarbonaté calcique et magnésien. La minéralisation est relativement variable et la réponse à la pluie bien visible. Les teneurs en nitrates dépassent très souvent la norme et atteignent jusqu'à 170mg/L ce qui rend cette eau impropre à la consommation. L'étude du périmètre de protection de ce captage de source a nécessité la cartographie de la vulnérabilité à la pollution de ce captage par la méthode RISK. La cartographie de l'occupation des sols a permis de mettre en évidence des foyers de pollution potentiels.

Mots clefs : Aïn El Hout-karst-cartographie-vulnérabilité-pollution-périmètre de protection.

يقع المنبع الذي سنقوم بدراسته في منطقة صغيرة تدعى عين الحوتالتابعة لبلدية شتوان, وهو يحمل نفس اسم المنطقة هو منبع كارستيكي يتدفق معدله 13.8 / . سجل تغيرات كبيرة في التدفق تراوح من 5 35 / . نوعية مياهه بيكاربونات كالسيوم و مغنسيوم. دن متغيرة و هي مرتبطة مع الامطار. يرجع سبب ان مياه العين غير صالحة للشرب الى النترات التي وصلت الى غاية 170 / . استلزمت دراست محيط الحماية للمنبع الى رسم خرائط حساسة للتلوث بواسطة الطريقة غ. . . و الذي ساعد على تحديد بؤر التلوث هي خريطة احتلال التربة .

الكلمات المفتاحية عين الحوت- - حساسية- - محيط الحماية.

Summary

Located in the town of Chetouane in the village of Aïn El Hout and studied the source of the same name is a karst source of an average flow of 13.8L / s. It saves large variations in flow rate (5 to 35 L / s). This could be identified through a geological and hydrogeological study. The facies of its water is calcium bicarbonate and magnesium type. The mineralization is relatively variable and the response to visible rain. Nitrate contents exceed the standard and often reach 170mg / L which makes the water unfit for consumption. The study of the perimeter of protection of this spring catchment required mapping vulnerability to pollution of the catchment by the RISK method. The mapping of land use has helped highlight potential pollution.

Key words: Aïn El Hout-karst-mappingvulnerability-pollution-perimeter of protection

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Ces dernières années, la qualité des eaux souterraines a connu une forte altération à cause des nombreux foyers de pollution à savoir les rejets d'eaux usées domestiques, industrielles et l'utilisation intensive des engrais.

Pour cela, l'établissement des périmètres de protection autour des captages d'eau est indispensable pour la préservation des ressources d'eau contre la pollution.

Le travail développé dans ce mémoire consiste en une contribution à l'étude du périmètre de protection de la source d'Ain El Hout.

Notre travail s'articulera autour des chapitres suivants :

- ✓ Le premier chapitre consistera une étude bibliographique générale sur les périmètres de protection des eaux souterraines.
- ✓ Le second chapitre sera consacré à l'étude du contexte géographique, géologique, hydrogéologique et hydrochimique de la zone de Ain .El Hout qui aura pour but de mettre en évidence les caractéristiques du milieu aquifère ainsi que ceux de la source.
- ✓ Le dernier chapitre, sera réservé à la cartographie des zones sensibles à la pollution afin de mieux délimiter les zones de protection
- ✓ Enfin une conclusion clôturera le travail.

CHAPITRE 1
ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE

1. Introduction :

L'eau est une ressource indispensable à la vie. L'eau souterraine, bien qu'elle soit cachée et invisible, est fragile et souvent vulnérable aux nombreuses sources de contamination découlant des activités humaines. Pour cette raison, il faut protéger les ressources en eau par les périmètres de protection (Renald, 2003).

2. Généralités

2.1.L'eau souterraine

Les eaux souterraines remplissent entièrement les interstices d'un terrain poreux et perméable (l'aquifère) de telle sorte qu'il y ait toujours liaison par l'eau entre les pores. Une nappe se forme par accumulation des eaux d'infiltration au-dessus d'un terrain imperméable qui interdit leur progression vers le bas. L'eau remplit par gravité toutes les cavités accessibles du terrain jusqu'à un niveau dit surface libre, qui est la surface à laquelle l'eau se stabilise dans les puits atteignant cette nappe. Par un phénomène de capillarité, l'eau remplit encore un peu plus haut, les pores des roches jusqu'à un niveau appelé surface de la nappe. Cette tranche de terrain où toutes les cavités accessibles sont remplies d'eau est appelée zone de saturation. Au-dessus, vient une zone non saturée ou zone d'aération, où circulent des eaux vadoses, et vers le bas de laquelle l'eau monte par capillarité. La partie contenant de l'eau capillaire est la frange capillaire. Ce type de nappe est appelé nappe libre par opposition aux nappes captives, ou nappes artésiennes, qui sont emprisonnées entre deux terrains imperméables et ne comprennent qu'une zone saturée (Foucault et Raoult 2005).

2.2 L'aquifère

On distingue d'une manière générale trois types d'aquifères :

- aquifères en roches meubles,
 - aquifères en roches karstiques,
 - aquifères en roches fissurées.
-
- ✓ Les aquifères en roches meubles sont caractérisés par une structure et une granulométrie très irrégulières. Leur perméabilité, leur capacité de filtration et leur capacité d'emménagement varient donc rapidement d'un point à l'autre. (Office fédéral de l'environnement, 2004)
 - ✓ Les régions karstiques se caractérisent par l'absence de réseau hydrographique superficiel et par l'existence de gouffres, de dolines et de sources très importantes.
 - ✓ Dans les roches fissurées, l'eau suit les discontinuités ouvertes, diaclases, fractures et joints de stratification, qui forment un réseau continu plus ou moins ramifié. La vitesse d'écoulement dépend de l'ouverture des fissures, de leur fréquence et de leur degré d'interconnexion. La capacité d'emménagement reste le plus souvent faible (Riccardo *et al.*, 2004).

2.2. Les captages d'eau :

Selon Lallemand-Barrès, 1999, les ouvrages de captage sont : puits, forage et captage de source.

Le **puits** est un ouvrage en général de profondeur moyenne ou faible (inférieur à 100 m), d'un diamètre supérieur à 1.20 m, aux parois revêtues au moins partiellement de béton ou de maçonnerie.

Le **forage** peut être peu profond, mais peut aussi aller chercher l'eau à plus de 1000 m, son diamètre est généralement plus faible que celui du puits et sa paroi est protégée par un tube en métal ou en matière plastique, et une cimentation entre terrain et tubage dans les premiers mètres.

Les **sources** sont les exutoires naturels des nappes. Pendant longtemps, elles ont été captées sans être aménagées. L'eau était canalisée par gravité vers le lieu d'utilisation. Les sources importantes sont maintenant le plus souvent aménagées, notamment par les chambres de captage et des dispositifs permettant le contrôle de la hauteur du seuil d'émergence. Elles peuvent aussi comporter des drains ou des galeries drainantes.

3. La protection des eaux

3.1. Protection de l'eau en Algérie

La protection de l'eau se fait tout d'abord par l'établissement de textes législatifs qui réglementent et organisent le secteur de l'eau dans sa globalité. Ainsi des lois et des décrets sont mis en place pour protéger les ressources en eau mobilisées et destinées vers la consommation humaine. Dans ce qui suit nous passons en revue les différents textes législatifs qui ont touché le secteur de l'eau.

- Loi du 16 Juillet 1983 porte le code des eaux, définit le périmètre de protection comme contour délimitant un domaine géographique et les activités à l'intérieur sont interdites ou réglementées.
- Loi du 4 août 2005 relatif à l'eau, fixe les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau et montre la nécessité des périmètres de protection contre la pollution. La protection et la préservation des ressources en eau sont assurées par :
 - Des périmètres de protection quantitative,
 - Des plans de lutte contre l'érosion hydrique,
 - Des périmètres de protection qualitative,
 - Des mesures de prévention et de protection contre les pollutions,
 - Des mesures de prévention des risques d'inondations.
- Décret du 23 décembre 2007 relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau, cette protection est assurée par trois types de protection :
 - Le périmètre de protection immédiate.

- Le périmètre de protection rapprochée.
- Le périmètre de protection éloignée.
- Décret du 6 février 2010 fixe les modalités de délimitation de périmètre de protection quantitative des nappes aquifères ainsi que les conditions spécifiques d'utilisation de leurs ressources en eau.
- Décret du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, fixe les paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine ainsi que les modalités de contrôle de conformité.
- Décret du 25 avril 2012 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source par l'évaluation du périmètre de protection de la ressource.
- Décret du 28 août 2013 relatif aux programmes d'actions à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole.
- Décret du 4 mars 2014 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, fixe les valeurs pour certains paramètres organoleptiques et physico-chimiques.

Les différents textes législatifs adoptés en Algérie pour la protection des ressources en eau sont limités et ne donnent pas des précisions sur les distances de l'instauration des différents types des périmètres de protection autour de captage d'eau.

Par contre, ces distances sont bien déterminées dans les pays développés, comme suit dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Synthèse des procédures de protection des eaux souterraines (Bussard, 2005)

Région		Protection immédiate	Protection rapprochée	Protection éloignée		
Amérique du Nord	Québec	30 m	60 jours, > 100 m	Bassin d'alimentation		
	Colombie Brit.		1 année	5 ans	10 ans	Bassin d'alim.
	U.S.A.	> 30 m (Z I)	> 50 jours, > 150 m (Z II)	> 15 ans (Z III)		
Europe	Angleterre		50 jours, > 50 m (Z I)	400 jours, 25 % du bassin d'alim.	Bassin d'alim. (Z III)	
	Allemagne	10 m (Z I)	50 jours (Z II)	2000 m (Z IIIA)	Bassin d'alim. (Z IIIB)	
	Danemark	10 m	300 m	ZP spécifique au site basé sur une cartographie de vulnérabilité	Bassin d'alim.	
	France	Environ 15 m	Environ 50 jours	ZP no obligatoire, elle peut couvrir une surface très variable.		
	Belgique	10 m	1 jour ou 35 m autour d'un puits, 25 m de part et d'autre de l'axe de galerie	50 jours ou 1000 m pour un aquifère de fissure ou karstique, 500 m pour un aquifère graveleux, 100 m pour un aquifère sableux		
	Pays-Bas	30 m	60 jours	10 ans, > 800 m	25 ans, > 1200 m	Bassin d'alim.
	Suisse	10 m (S1)	10 jours, > 100 m (S2)	Extension double de la S2 (S3)	Aire Zu : zone qui contribue à environ 90 % du débit capté	

3.2. Définition des périmètres de protection

Des périmètres de protection sont instaurés autour des captages, après une procédure technique et administrative. Les périmètres de protection correspondent à un zonage établi autour des points de captage d'eau potable. Ils constituent le moyen privilégié pour prévenir et diminuer toute cause de pollution locale, ponctuelle et accidentelle qui peut altérer la qualité des eaux prélevées (Winschen, 2011). Les interdictions, prescriptions et recommandations sont proposées en conséquence

Trois périmètres de protection sont définis selon la réglementation :

3.2.1. Périmètre de protection immédiate

Le périmètre de protection immédiate doit couvrir au minimum le captage et ses annexes (drains, galeries, bâti de protection, dalle bétonnée,...), ainsi que les installations nécessaires à l'exploitation de l'ouvrage (Marchal, 2007).

La zone de protection immédiate englobe le point de prélèvement où les contraintes de pollution sont fortes (Nassah et Omdi, 2011).

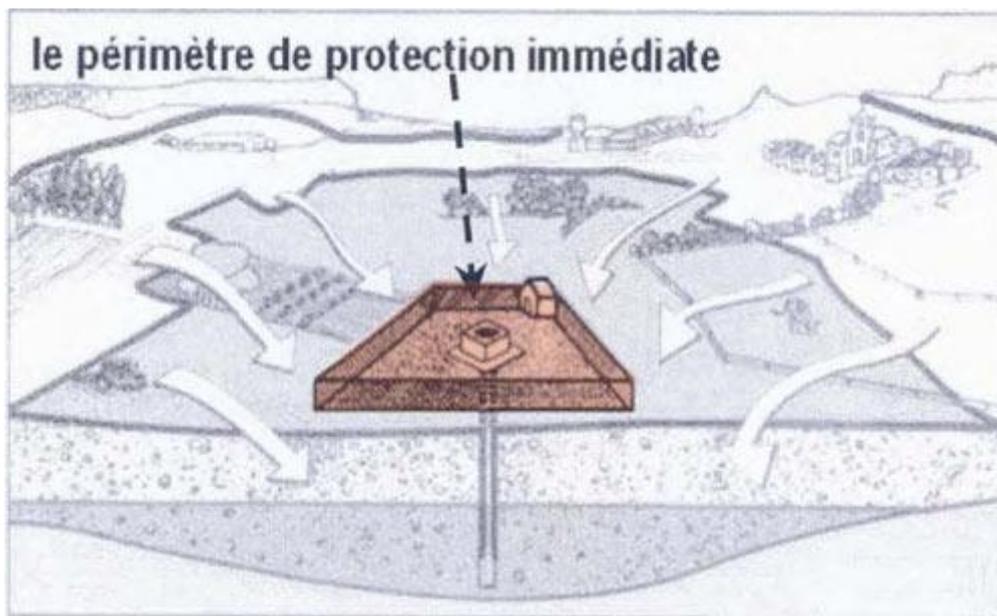


Figure 1 : Le périmètre de protection immédiate (S.I.A.E.P.)

3.2.2. Périmètre de protection rapprochée

Le périmètre de protection rapprochée a pour but de protéger efficacement le captage vis-à-vis de la migration souterraine des substances polluantes (Marchal, 2007).

Selon (Nassah et Omdi, 2011), il délimite le secteur dans lequel toute pollution ponctuelle ou accidentelle est susceptible d'atteindre rapidement le captage soit par ruissellement superficiel, soit par migration souterraine des substances polluantes.

Le périmètre de protection rapprochée est déterminé en prenant notamment en compte :

- les caractéristiques physiques de l'aquifère et de l'écoulement souterrain,
- le débit maximal de pompage,
- la vulnérabilité,
- l'origine et la nature des pollutions contre lesquelles il est nécessaire de protéger les eaux souterraines.

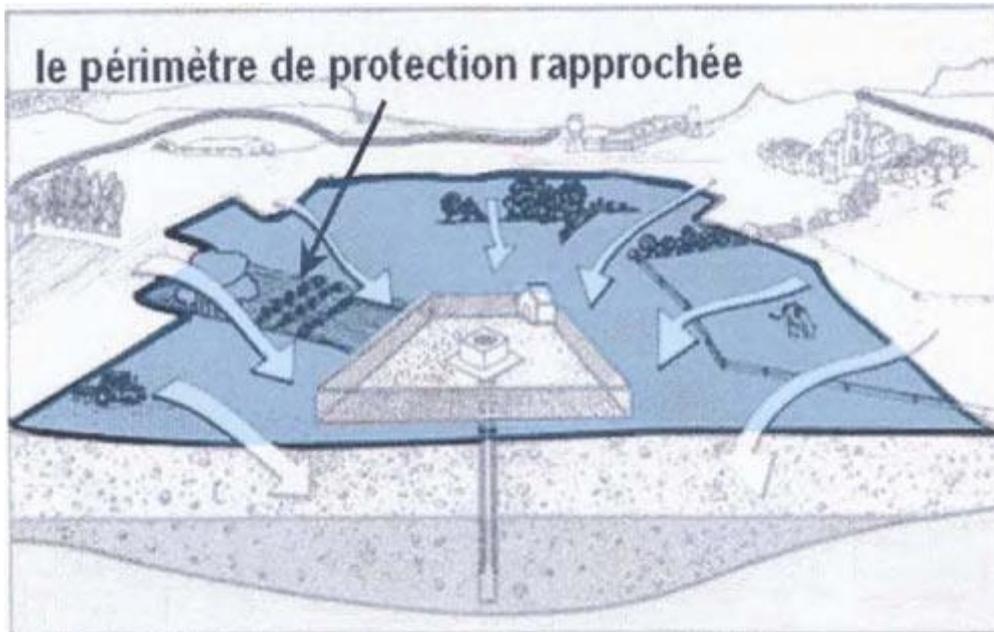


Fig. 2 : Le périmètre de protection rapprochée (S.I.A.E.P.)

3.2.3. Périmètre de protection éloignée

Le périmètre de protection éloignée correspond théoriquement à la totalité de l'aire (ou zone) d'alimentation de l'ouvrage, sa définition repose sur la délimitation de l'aire d'alimentation du captage à l'intérieur de laquelle les lignes de courant sont orientées vers l'ouvrage utilisé (Marchal, 2007).

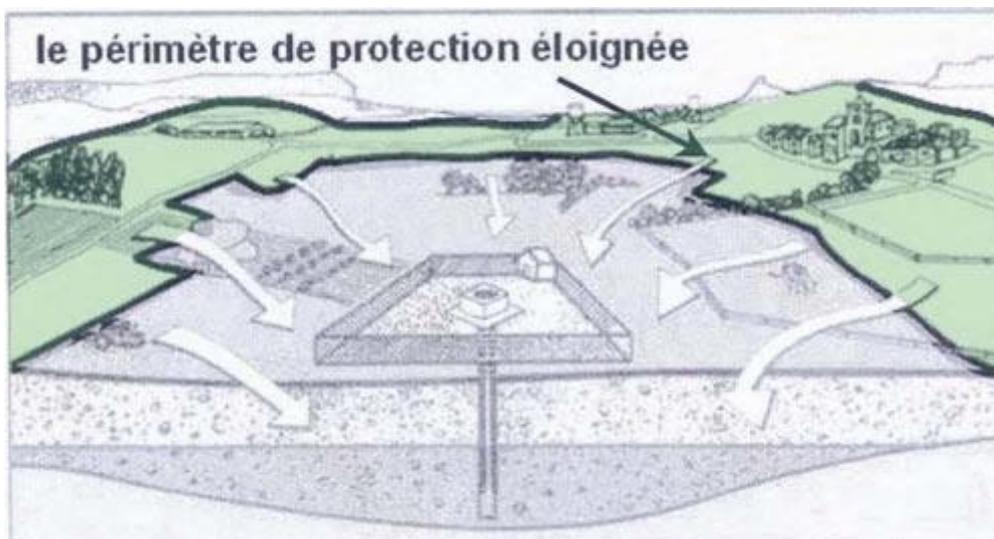


Fig. 3 : Le périmètre de protection éloignée(S.I.A.E.P.)

3.3.Périmètre de protection selon le type d'aquifère

3.3.1. Aquifère en roches meubles

La délimitation de périmètre de protection dans un aquifère en roche meuble est définie à partir des données hydrogéologiques (extension de l'aquifère, relations avec des réservoirs latéraux). Cela nécessite au minimum de connaître le sens de circulation des eaux souterraines dans tous les contextes hydrologiques (basses à hautes eaux), le gradient de la nappe, ainsi que l'aire d'influence du captage, ou tout au moins les indications quant à l'extension du cône de rabattement en pompage pour les puits et forages (Marchal, 2007).

- ✓ La limite du périmètre de protection immédiate doit se trouver à 10 m au moins au large de la partie la plus extérieure de l'ouvrage de captage. Pour un captage de source, cette distance peut être inférieure à 10 m du côté aval (Riccardo *etal.*, 2004).
- ✓ Le périmètre de protection rapprochée en roche meuble est dimensionné de telle sorte que le temps de séjour des eaux souterraines soit d'au moins 10 jours (Riccardo *etal.*, 2004).
- ✓ La délimitation du périmètre de protection éloignée doit couvrir le bassin d'alimentation du captage.

3.3.2. Aquifère en roche fissurée

Dans les aquifères fissurés ou dits à porosité de fissure, l'écoulement des eaux souterraines s'effectue le long des fractures, diaclases et failles.

Ils présentent un réseau de discontinuités principales caractérisées par des perméabilités élevées, jouant le rôle de transfert d'eau et de drainage vers les zones d'exutoire (Vernoux *etal.*, 2007)

Le dimensionnement des zones de protection des eaux souterraines est déterminé par la vulnérabilité du bassin d'alimentation des captages à protéger (Riccardo *etal.*, 2004).

3.3.3. Aquifère en roche karstique

Les régions karstiques se caractérisent par l'absence de réseau hydrographique superficiel et par l'existence de gouffres, de dolines et de sources très importantes (Riccardo *etal.*, 2004).

Les calcaires et dolomies forment des aquifères caractérisés par une perméabilité extrêmement hétérogène et anisotrope. L'eau circule dans les petites fissures, les pores de la roche et dans des conduits de dimensions parfois importantes résultant de la dissolution de la matrice carbonatée (karst) (Bussard, 2005).

Les zones de protection des eaux souterraines sont dimensionnées sur la base des caractéristiques géologiques, géomorphologiques et hydrogéologiques du bassin d'alimentation des captages à protéger (Riccardo *et al.*, 2004).

Afin de délimiter les périmètres de protection en milieu karstique, il est nécessaire d'identifier le système, de le caractériser et d'en définir la vulnérabilité (Marchal, 2007).

La vulnérabilité des eaux souterraines correspond à une insuffisance de protection ou de défense naturelle des aquifères contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques locales (Marchal, 2007)

3.4. Les critères de délimitation des zones de protection

Les critères de délimitation des zones de protection sont selon (Lallemand-Barrès, 1999) :

- Le pouvoir épurateur du sol
- Le rabattement
- Le temps de transfert
- La distance
- Les limites d'écoulement

3.4.1. Le pouvoir épurateur du sol

Le pouvoir épurateur du sol, puis celui de la zone non saturée, sont importants pour éviter la propagation d'une pollution en direction des nappes.

La concentration du polluant peut avoir considérablement diminué à son entrée dans la nappe, si le pouvoir épurateur du sol et de la zone non saturée est efficace.

3.4.2. Le rabattement

Le rabattement est un critère lié aux concepts de la zone d'influence et la zone d'appel.

- **Zone d'influence**

Zone où le niveau de la nappe est rabattu par le pompage.

- **Zone d'appel**

Zone où l'ensemble des lignes de courant se dirigent vers le captage

3.4.3. Le temps de transfert

Le temps de transfert est un critère basé sur le temps qu'il faut à un polluant pour se déplacer du point d'entrée dans la nappe jusqu'à l'arrivée au captage, il faut également tenir compte du transfert en zone non saturée. A l'intérieur de la zone ou l'aire d'alimentation du captage, on définit des courbes d'égal temps de transfert, ou isochrones. La protection du captage sera d'autant meilleure que la zone de transfert est plus étendue.

3.4.4. La distance

La délimitation des périmètres de protection repose dans ce cas sur la détermination d'un rayon ou d'une distance mesurée entre le puits de pompage et un point concerné.

La détermination d'une distance, si l'on connaît l'épaisseur de l'aquifère, la porosité, l'infiltration efficace et la vitesse effective.

3.4.5. Limites d'écoulement

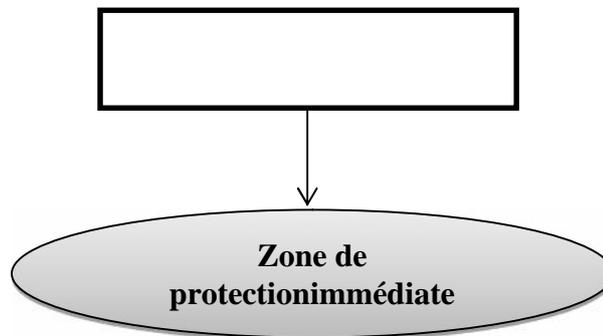
Une délimitation des périmètres de protection basée sur ce critère consiste à utiliser les caractéristiques physiques, topographiques ou hydrogéologiques qui contrôlent l'écoulement : les limites peuvent être par exemple une rivière, un canal, une ligne de partage des eaux souterraines et les limites d'alimentation de l'aquifère.

4. Elaboration des périmètres de protection

D'après Nassah et Omdi, 2011, l'élaboration des différents types de périmètre de protection est comme suit :

4.1. Périmètre de protection immédiate

Pour l'élaboration du périmètre de protection immédiate on a besoin de la carte de situation de l'ouvrage



4.2. Périmètre de protection rapprochée

Pour l'élaboration des périmètres de protection rapprochée on aura besoin des données telles que le réseau hydrographique, données climatiques, carte de qualité d'eau, occupation du sol, carte géologique et essais de pompage

4.4 Réglementation des activités à l'intérieur des périmètres

Les activités pouvant faire l'objet d'interdiction ou de réglementation à l'intérieur des périmètres de protection concernent notamment (Codes des eaux, 1983) :

- l'exécution des puits ou forages,
- l'exploitation, des carrières,
- l'installation de canalisations, réservoirs et dépôts d'hydrocarbures,
- l'installation de canalisations des eaux usées de toute nature,
- l'établissement de toutes constructions,
- l'épandage de fumier, engrais et tous produits destinés à la fertilisation des sols et à la protection des cultures,
- les dépôts d'ordures, immondices, détritiques, produits radioactifs et d'une manière générale, tout produit et matière susceptibles d'altérer la qualité de l'eau.
- la circulation des véhicules automoteurs,
- l'installation des stations de service de distribution de carburant,
- toute activité sur les plans d'eau, telle que pêche, chasse, navigation, lavage et nettoyage,
- toute autre activité susceptible d'altérer la qualité des eaux.

5. Conclusion

De cette étude bibliographique il en ressort les points suivants :

- Le périmètre de protection a pour but protégé la qualité des captages d'eau destinée à la consommation humaine et garantir la santé publique.
- La méthodologie d'instauration du périmètre de protection dépend en grande partie du type d'aquifère (poreux, karstique ou fissuré).
- La délimitation du bassin d'alimentation de captage est très difficile et complexe dans un aquifère karstique qui revient à l'hétérogénéité du terrain.
- Les méthodes de dimensionnement des périmètres de protection des captages des eaux souterraines ne sont pas bien définies dans les textes législatifs concernant la protection des ressources d'eau en Algérie.

Dans les chapitres qui suivent nous nous sommes intéressés à la protection du captage d'AïnEl Hout. La méthodologie suivie est inspirée de cette étude bibliographique.

CHAPITRE 2

GENERALITES

Généralités sur le site étudié

6. Situation géographique

La région d'Aïn el Hout fait partie de la wilaya de Tlemcen en particulier la commune de Chetouane. Elle est située à environ 8 km au Nord du chef-lieu de wilaya la ville de Tlemcen.

Pour arriver à la source d'Aïn-el-Hout on emprunte la route qui mène au village du même nom en passant par Bréa. Cette route suit le cours d'un ruisseau dénommé Chaabet el Horra. Le village est en partie perché sur la rive gauche de cette Chabet. La source se trouve en plein centre de l'agglomération aux coordonnées suivantes, selon la carte d'état-major Tlemcen à l'échelle 1/50.000 (figure 7):

X = 132.750	Y = 189.050	Z = 521 m
-------------	-------------	-----------

La zone étudiée est limitée au nord et à l'Est par la vallée du Sikkak tandis qu'à l'Ouest par djebel Aïn-el-Hout. Elle est bordée au Sud par Chaabet el Horra.

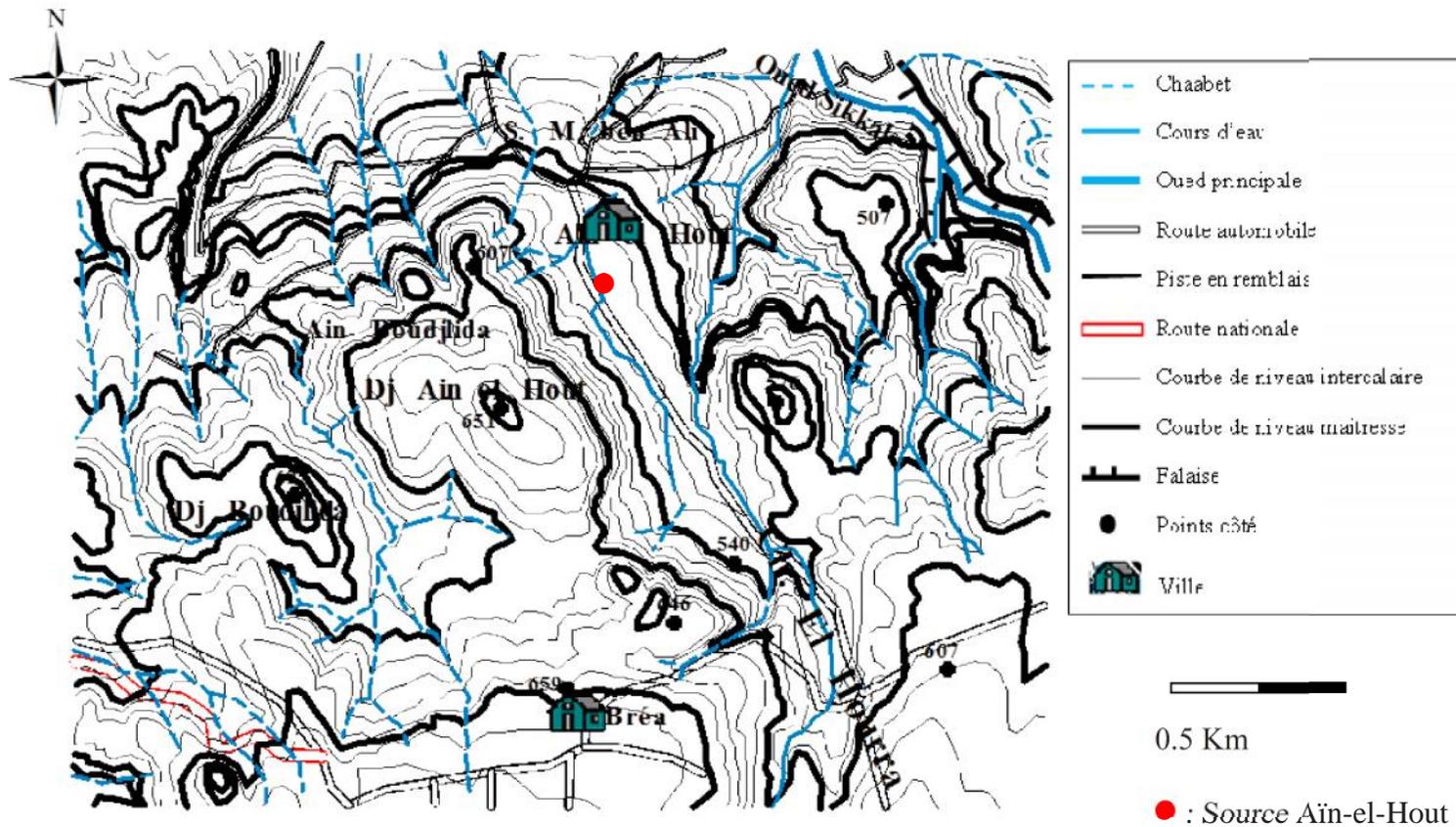


Figure 4 : Situation géographique de la zone d'étude

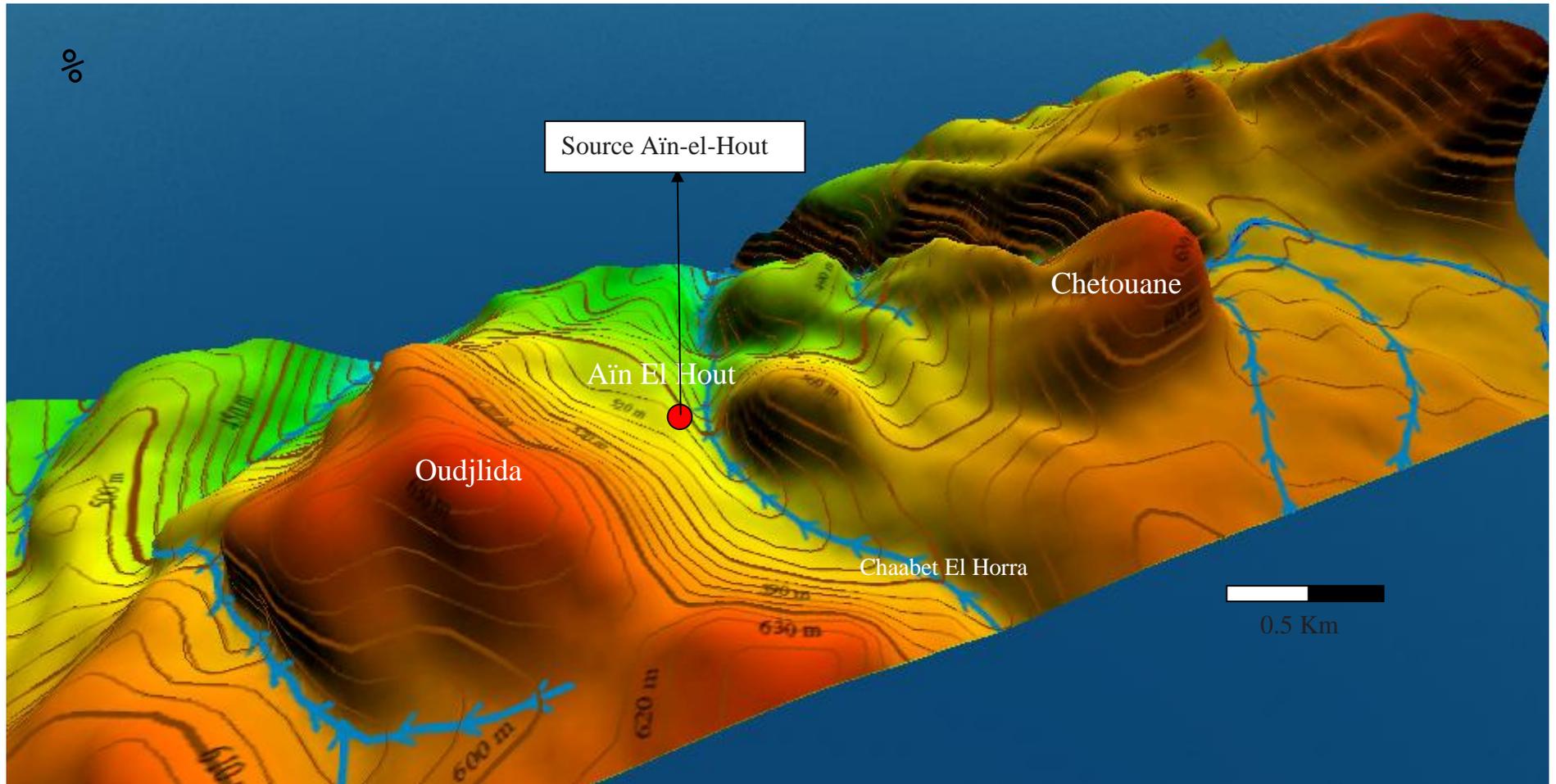


Figure 5 : Situation géographique de la zone d'étude en 3D

2. Réseaux hydrographique

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques (Bouanani A., 2004).

Le principal Oued qui passe dans la partie orientale de la région d'étude est l'Oued Sikkak, qui prend naissance sur le plateau de Terny et se dirige vers le barrage de Sikkak (figure 6).

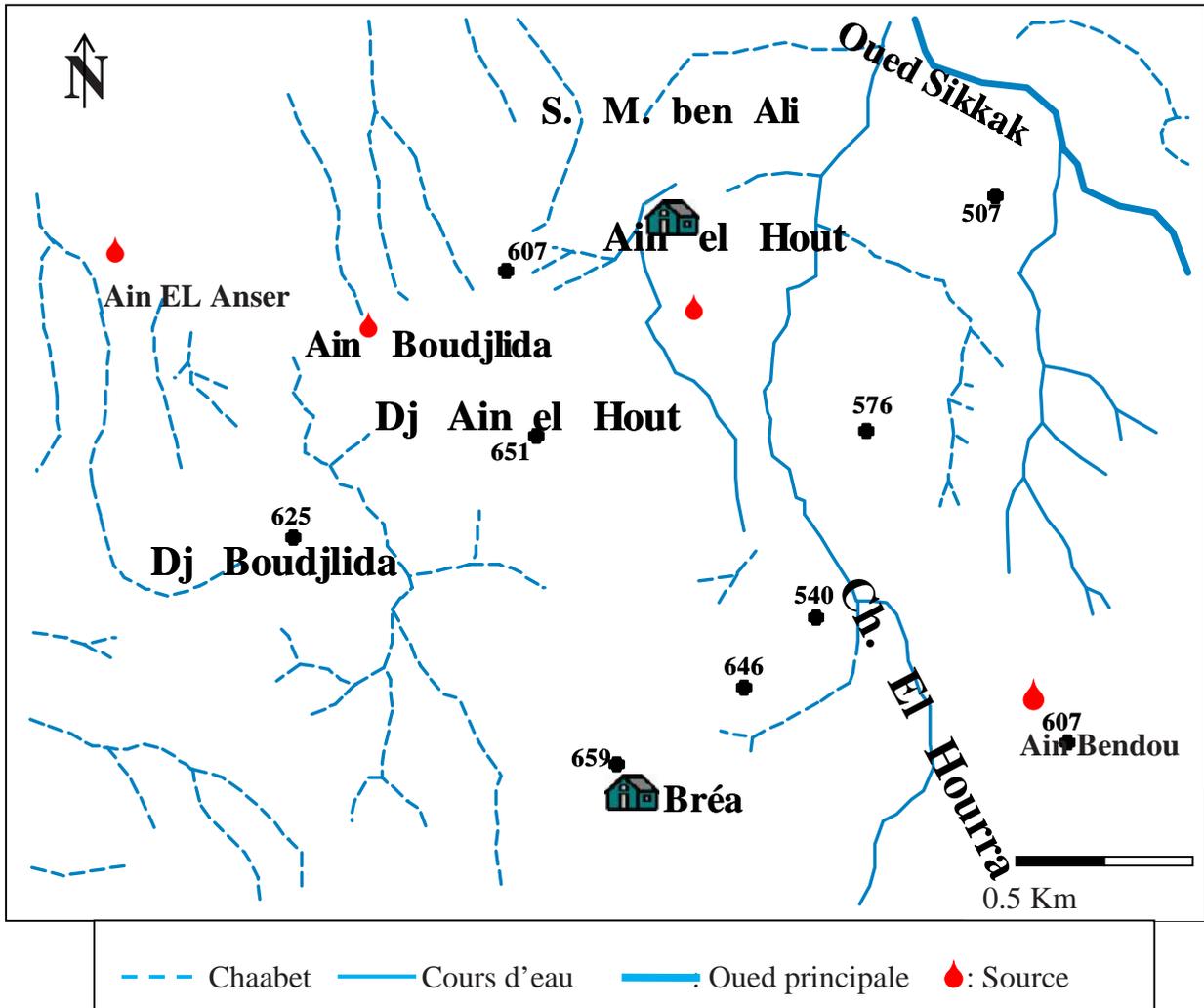


Figure 6 : Carte de réseau hydrographique

3. Utilisation de la Source Ain El Hout

La source d'AïnEl Hout est captée et actuellement est utilisée pour l'irrigation des jardins situés à l'aval, sous la gérance de l'A.P.C. de Chetouane.

ETUDE CLIMATIQUE

1. Introduction

Le climat est déterminé par la situation géographique du lieu (latitude, altitude, éloignement de la mer ...).

Les paramètres hydroclimatologiques tels que la température et la précipitation ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique.

L'étude climatique sera effectuée à partir des données météorologiques : températures et précipitations de la station météorologique de Tlemcen (période 1993 -2011), dont les caractéristiques sont représentées dans le tableau 4 :

Tableau 2 : Caractéristiques de la station de Tlemcen

Station	Code	X (km)	Y(km)	Altitude
Tlemcen	724	132.2	182.7	832 m

2. Précipitation

2.1. Précipitations moyennes annuelles

Les précipitations moyennes annuelles enregistrées à la station de Tlemcen pour la période allant de 1993-2011 sont mentionnées au tableau 2 en annexe.

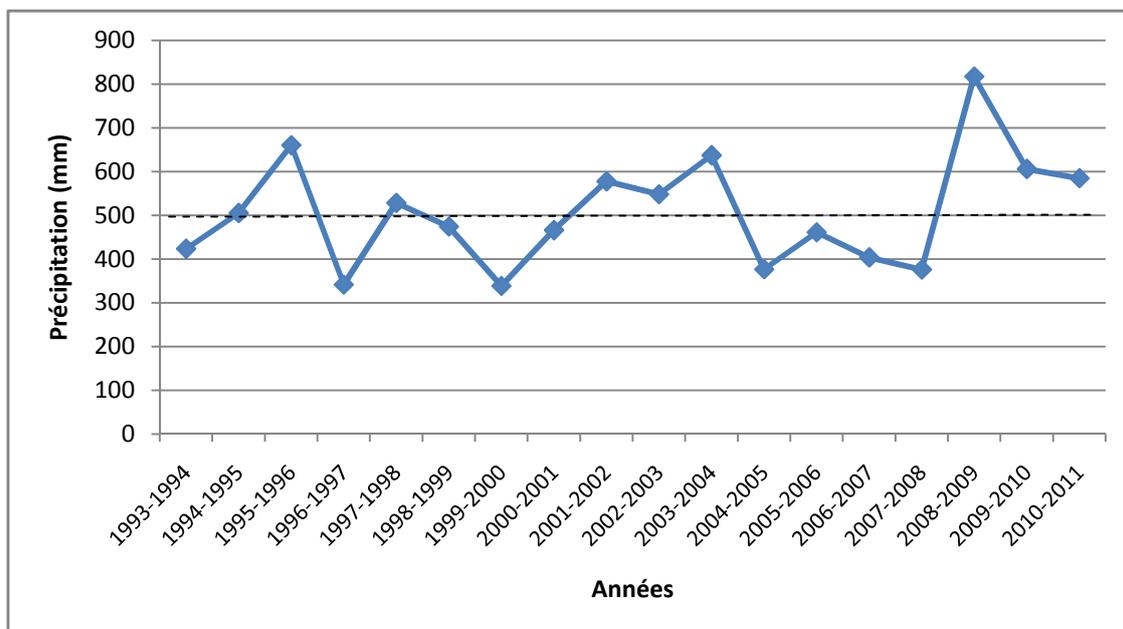


Figure 7 : Variation des précipitations annuelles (1993-2011) (ANRH)

La présentation en courbe de la variation de la précipitation montre que la lame d'eau tombée varie entre 817.1 mm (2008 - 2009) et 338.8 mm (1999 - 2000). La valeur moyenne est 507.1 mm. Le maximum des Précipitations est enregistré en 2008.

2.2. Précipitations moyennes mensuelles

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations de la période 1993-2011 tableau 5 :

Tableau 3 : Données des précipitations moyennes mensuelles (1993-2011)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Total
P(mm)	29,3	46,2	64,2	62,8	76,8	58,5	65,8	51,1	42,0	7,7	1,8	4,5	507.1

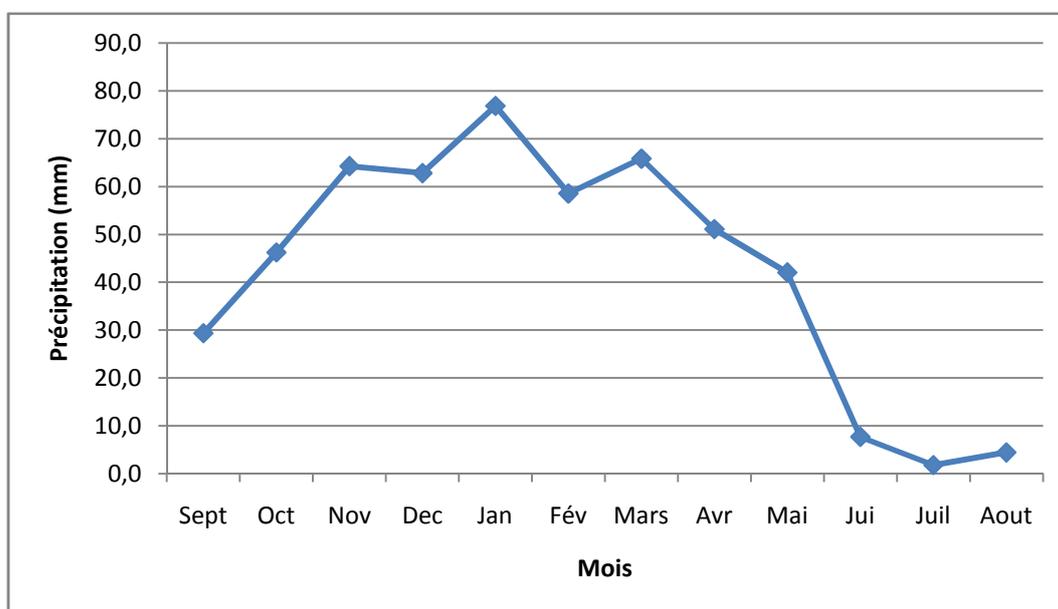


Figure 8 : Précipitations moyennes mensuelles (1993 -2011) (ANRH)

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitation de la période 1993-2011 montrent que :

- La pluviométrie moyenne annuelle est de 507.1 mm.
- Le mois le plus pluvieux est celui du mois de janvier avec une valeur de 76.8 mm.
- Le mois le plus sec est celui du mois de juillet , avec une valeur de 1.8 mm.

3. Température

La température est l'un des éléments fondamentaux dans l'établissement du bilan hydrologique et dans la détermination du caractère climatique d'une région.

Le tableau 6, nous donne les minima et maxima ainsi que les températures moyennes pour la période 1993-2011 :

Tableau 4 : Températures moyennes mensuelles : minimum, maximum et moyenne (1993-2011) (Khelifi, 2012)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
T (°C) Moy.	24.4	19,3	10	12.3	10,5	11	13,6	15,2	17.8	22,2	25,7	25.8
T (°C) Max	27,7	21,5	17	15	13,6	13,7	15,8	17,5	20,1	24,8	28,2	27,8
T (°C) Min	21	17	12.4	9,5	7,3	8,3	11,3	12,8	15,4	19,5	23,2	23,8

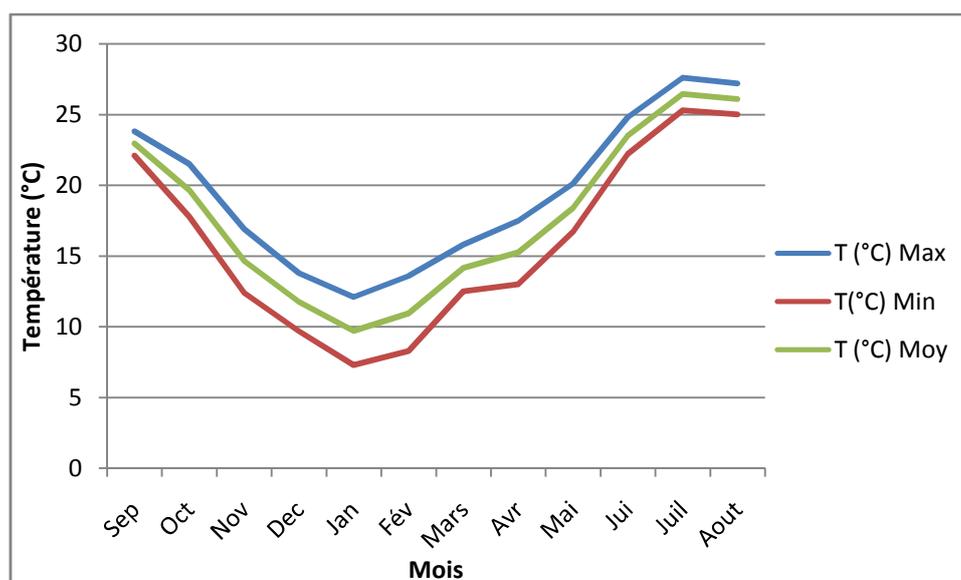


Figure 9 : Variation des températures moyennes mensuelles (1993-2011)

- Les minima (T min) sont compris entre 7.3 °C en Janvier et 24.7 °C en Aout.
- Les maxima (T max) sont compris entre 13.6 °C en Février et Janvier et 28.2 °C en Juillet.
- Les moyennes $T_{moy} = (T_{max} + T_{min}) / 2$.

La répartition de la température moyenne mensuelle permet de considérer le mois de janvier comme le plus froid d'une moyenne (10.5°C) et le mois d'Aout comme le plus chaud d'une moyenne de (25.8°C).

4. Etude du climat :

Les méthodes utilisées pour l'étude de climat sont : méthode des courbes pluviothermiques et les indices climatiques de DeMartone et Moral.

4.1. Méthode des courbes pluviothermiques :

La courbe pluvi_thermique de Bagnouls et Gausсен montre que la période sèche de la région s'étale de la mi-Mai à la mi-October tandis que la période humide s'étale pendant le reste de l'année.

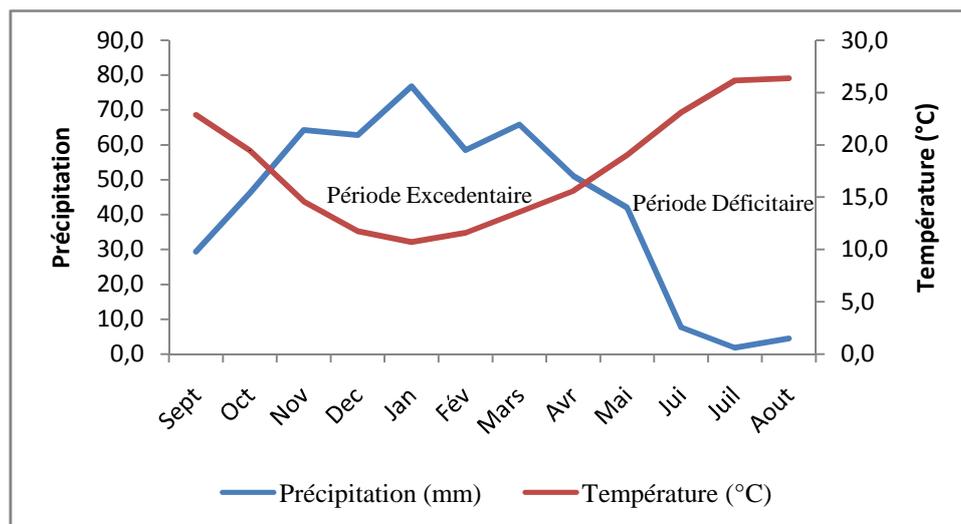


Figure 10 : diagramme pluviothermique

4.2. Les indices climatiques :

Les indices climatiques utilisés sont les indices d'aridité de Demartone annuels et mensuels et l'indice de Moral.

4.2.1. Indices d'aridité de De Martone :

a. Indice d'aridité annuel :

D'après De Martone, l'indice d'aridité annuel est défini comme suit :

$$I = P / T + 10$$

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : températures moyennes annuelles (°C)

$$I = 507.1 / 17.9 + 10$$

$$I = 18.18$$

D'après la classification proposée par Demartone, on a :

- $20 < I < 30$ climat tempéré
- $10 < I < 20$ climat semi-aride
- $7.5 < I < 10$ climatsteppeique
- $5 < I < 7.5$ climatdesertique
- $I < 5$ climathyperaride

La valeur calculée de I est comprise entre 10 et 20 et selon l'abaque de Demartone, la région étudiée est caractérisé par un régime semi-aride et des écoulements temporaires.

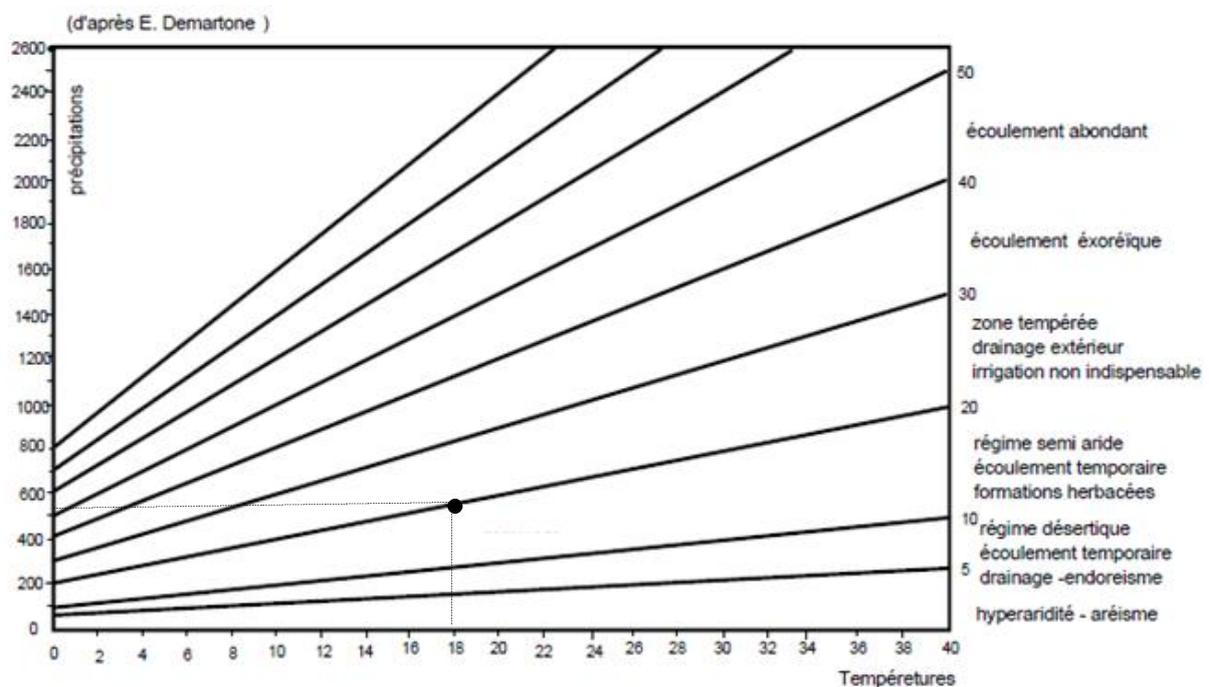


Figure 11 : Abaque de DeMartone

b. Indice d'aridité mensuel :

Cet indice est donné par la relation suivante :

$$I = 12 P / T + 10$$

P : précipitation moyenne mensuelle (mm)

T : température moyenne mensuelle (°C)

Les résultats de calculs sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Indice d'aridité mensuel de DeMartone

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
P(mm)	29,3	46,2	64,2	62,8	76,8	58,5	65,8	51,1	42,0	7,7	1,8	4,5
T (°C)	22,8	19,4	14,6	11,7	10,7	11,6	13,6	15,6	19,0	23,1	26,1	26,4
I	10.7	18.9	31.3	34.7	44.5	32.5	33.4	23.9	17.4	2.8	0.6	1.5

Les régimes prédominants dans cette région sont :

- Le régime aride des mois : Juin, Juillet et Aout
- Le régime semi-aride du mois d'Octobre et Septembre.
- Le régime tempéré des mois : Janvier, Février, Mars, avril et Mai

Donc, cette variation de l'indice d'aridité revient à la diversité climatique particulière conditionnée par les précipitations, la température, l'humidité, les vents et l'altitude.

4.2.2. Indice de Moral :

- Cet indice permet déterminer l'aridité ou bien l'humidité d'une région. Il est calculé par la formule suivant :

$$I_M = P / (T^2 - 10T + 200)$$

Avec : P : précipitation moyenne annuelle (mm)

T : température moyenne annuelle (°C)

$$I_M = 1.49$$

- Moral a proposé un indice mensuel donné par la formule suivante :

$$I_m = P / 0.1 T^2 - T + 20$$

Avec : P : précipitation moyenne mensuelle (mm)

T : température moyenne mensuelle (°C)

Tableau 6 : Types des mois par Moral

Mois	Intervalle	Poids
Mois pluvieux (p)	$P > 0.1 T^2 - T + 30$	$p = 2$
Mois humide (h)	$0.1 T^2 - T + 30 < P < 0.1 T^2 - T + 20$	$h = 1$
Mois sec (s)	$0.1 T^2 - T + 20 < P < 0.1 T^2 - T + 10$	$s = 0$
Mois aride (a)	$P < 0.1 T^2 - T + 10$	$a = -1$

D'après les résultats obtenus selon l'indice mensuel de Moral, la région d'étude est caractérisée par six mois pluvieux du mois Novembre jusqu'au mois d'Avril, quatre mois aride du mois juin à mois de Septembre et deux mois sec Octobre et Mai (tableau 9).

Tableau 7 : Classification des mois selon Moral

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
P(mm)	19.4	39.2	53.1	54.1	59.4	54.1	52.9	48.3	49.3	9.4	2.8	4.0
T (°C)	23,3	19,1	14,7	11,6	10,3	11,4	13,4	15,4	18,4	22,5	25,7	26,1
I_m	0,6	1,2	2,4	2,9	3,9	2,7	2,6	1,8	1,1	0,2	0,03	0,07
Type	-1	1	2	2	2	2	2	2	1	-1	-1	-1

5. Conclusion

D'après les résultats des calculs obtenus, la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. La température moyenne mensuelle est d'environ 17.7 °C. Le mois le plus chaud est en Aout, avec une température moyenne annuelle de 25.8 °C.

L'étude du régime pluviométrique indique une période humide avec un maximum au mois de Janvier et une période sèche qui s'étale de la mi-Mai à la mi-October.

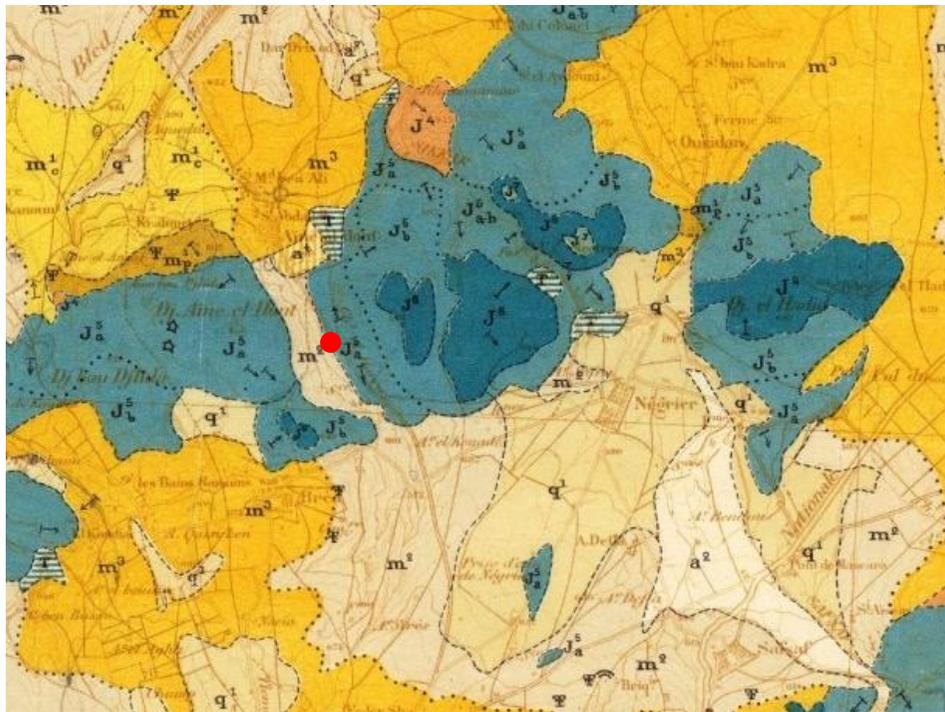
CONTEXTE GEOLOGIQUE

1. Contexte géologique

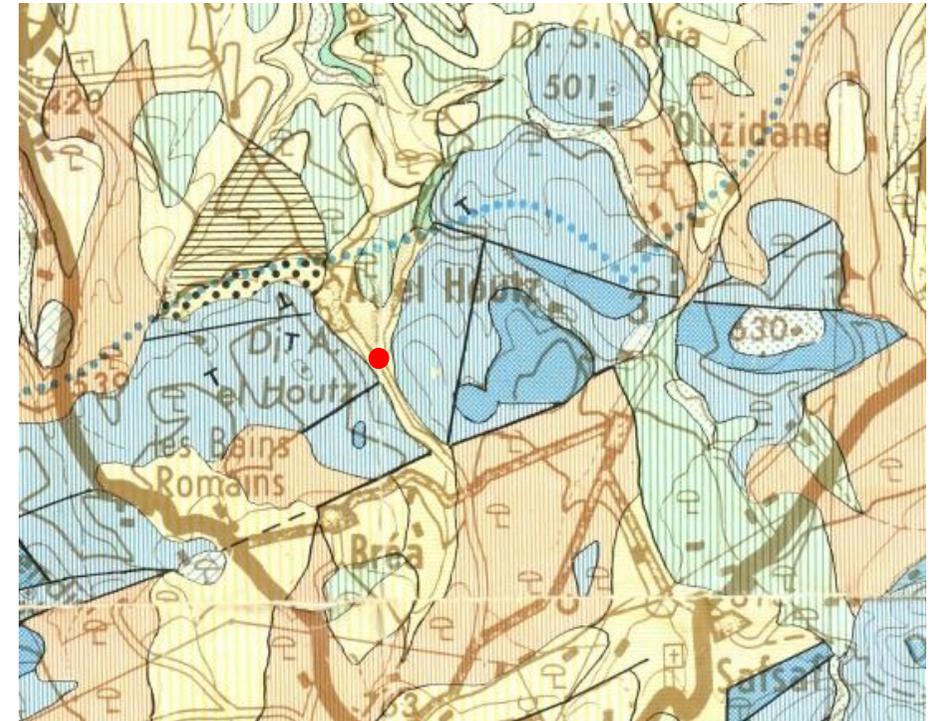
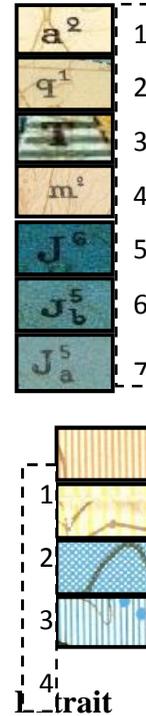
La région d'Ain el Hout fait partie des piémonts nord des monts de Tlemcen. Les formations qui y affleurent font partie de la série des Monts de Tlemcen qui a été décrite par Benest (1985), la succession lithostratigraphique des Monts de Tlemcen est présentée essentiellement du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur.

Au cours de nos recherches nous avons pu nous rendre compte qu'il existe deux cartes géologiques pour la zone étudiée. Nous en présentons dans ce qui suit deux extraits. La carte géologique de Doumergue (1924) et la carte d'A. Clair (1973). Dans la première, à l'échelle 1/50.000, les affleurements sont bien reportés cependant la tectonique est quasiment absente. Dans la seconde qui a été établie plus tard, l'auteur reprend les mêmes limites d'affleurements mais complète avec les éléments de tectonique particulièrement les failles.

D'une étude comparative de ces deux cartes avec les travaux de Benest (1985) nous avons établi le tableau suivant :



de la carte géologique 1/50000 de Doumergue 1924



Extrait de la carte géologique 1/200000 d'A. Clair 1973

- 1 : Alluvions récentes
 - 2 : Alluvions anciennes
 - 3 : Travertins anciens et récents
 - 4 : Marnes et grès
 - 5 : Marnes et Calcaires
 - 6 : Dolomie de Tlemcen
 - 7 : Calcaires bleus
- : Source Ain EL Hout
- Mio-Plio-Quaternaire (units 1-4)
- Jurassique supérieur (units 5-7)

- 1 : Alluvions
 - 2 : Marnes et poudings
 - 3 : Marnes et calcaires
 - 4 : Dolomies
- : Source Ain EL Hout
- Mio-Plio-Quaternaire (units 1-2)
- Jurassique supérieur (units 3-4)

Tableau 8 : Description géologique du secteur d'étude

		Age	Selon la carte de Doumergue 1924	Selon la carte d'A. Clair 1973	Travaux de Benest 1985	Les résultats obtenus	
Cénozoïque	Plio-Quaternaire		Alluvions	Alluvions	Alluvions	Alluvions	
	Miocène	Supérieur (Tortonien)	Grès	Grès	Grès	Marnes et grès	
		Moyen (helvétien)	Marnes et grès	Marnes et poudings	Argiles et marnes		
		Inférieur (Burdigalien)	Marnes	Marnes et poudings	Marnes		
Eocène		Grès	Marnes et grès	Grès et poudings			
Crétacé	Inférieur	Hauterivien	Calcaires à natica Leviathan [C _v]	Calcaires et marnes	Grès de Berthelot	Marnes et calcaires	
		Berriasien - Valanginien			Argiles de Lamoricière		
Tithonien – Berriasien (Portlandien)		Calcaires de Sidi el Hadj [J ⁸]	Calcaires et dolomies		Calcaires et dolomies		
Mésozoïque	Jurassique	Malm	Tithonien supérieur				
			Tithonien moyen			Marno-calcaires de Hariga	
			Tithonien inférieur	Dolomies et calcaires [J ⁷]		- Dolomies de Terni	
				Marnes et calcaires de ptérocère [J ⁶]	- Calcaires de Lato		
			Kimméridgien moyen-Kimméridgien supérieur	Dolomies de Tlemcen [J _b ⁵]	Calcaires et dolomies	Dolomies de Tlemcen	
			Kimméridgien moyen	Calcaires bleu [J _a ⁵]	Marnes et calcaires	Calcaires de Zarifet	
			Kimméridgien inférieur	Calcaires à échinidés [Jc4]	Dolomies		
			Oxfordien supérieur - kimméridgien inférieur	Grès séquaniens [J ⁴]	Grès	Grès de Boumediene	
			Oxfordien - Kimméridgien (ptérocérien)				
Callovo-Oxfordien			Marnes	Argiles de Saida	Marnes et argiles		

1. Description des formations géologiques

Dans le tableau ci-dessus nous mettons en corrélation les différents travaux géologiques effectués dans la région par les différents auteurs. Dans la dernière colonne nous avons présenté la série des formations géologiques que nous utiliserons dans le travail qui suit.

La description des formations géologiques affleurant dans la région est comme suit :

* Calcaires :

Il s'agit de bancs calcaires séparés par de minces intercalations de calcaires marneuxécailleux (Bouanani, 2004), d'âge kimméridgien inférieur.

* Dolomies :

Il s'agit de dolomies cristallines grises, avec de nombreuses cavités remplies de calcite (Bouanani, 2004), datées du kimméridgien supérieur.

* Marnes et Calcaires.

Cette formation a été définie pour la première fois par Doumergue en 1924 sous le nom 'marnes calcaires à Ptérocères' et correspond aux 'marno-calcaires intermédiaire' définis par A Clair en 1973. Benest les désigne sous le nom de Marno-calcaires de Raourai en 1985. Ce sont des marno-calcaires parfois dolimitiques, avec une calcification et des passages de marnes bleues (d'après forage AH1).

* Marnes, grès et alluvions

Ce sont des formations marneuses intercalées de grès et recouvertes par les alluvions du Quaternaire.

2. Contexte tectonique :

Le substratum du fossé de Tlemcen se relève en un horst et un graben bien remarquable dans la zone de Chetouane (Bensaoula 2006).

Le secteur d'Aïn el Hout est le résultat d'une des principales phases tectoniques qui ont affectées le domaine tlemcenien qui abaissent la série en graben successif (Hayane, 1983).

L'étude des fissurations dans la zone d'étude n'est pas mentionnée dans les travaux des auteurs étudiés les Monts de Tlemcen. Les principales directions des failles détectées dans la région selon Hayane, 1983 sont :

- Direction NNE – SSW (N 00° - N 20° E)
- Direction ENE – WSW (N 60° - N 80° E)
- Direction ESE – WNW (N 120° - N 140° E)

Les Compartiments des affleurements sont accentués en horst et en graben et sont traduits par jeu de faille (Bensaoula, 2006).

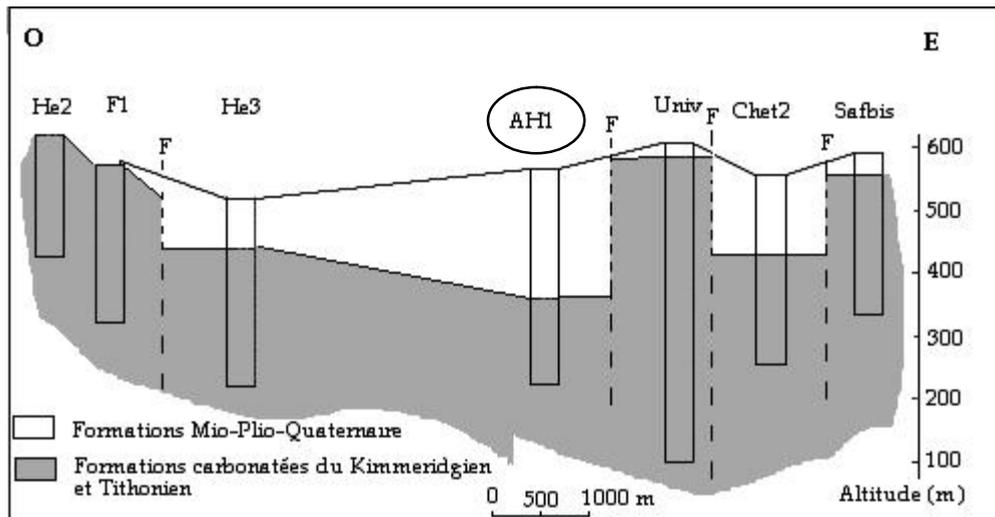


Figure 13 : Coupe synthétique établis à partir de données de forages, à travers le fossé de Tlemcen. Bensaoula (2006).

Le forage Aïn El Hout (AH1) a été foré dans un endroit où les formations Jurassiques sont profondes et sont couvertes par une couche épaisse de Mio-Plio-Quaternaire par contre le forage He2 est foré directement dans le Jurassique. Ceci se traduit par une structure compartimentée des formations carbonatées du Kimméridgien et du Tithonien sous l'effet de jeu de plusieurs failles comme le montre la figure ci-dessus.

3. Conclusion

L'étude géologique de la zone en question nous a permis de constater que le massif Aïn El Hout est un affleurement des Dolomie de Tlemcen.

Le secteur d'Aïn El Hout est le résultat d'une tectonique cassante qui se traduit en horst en graben et fait partie du domaine tlemcenien.

Le type de formation géologique affleurant dans cette région a influencée le comportement hydrogéologique. En effet, c'est un terrain calcaire et dolomitique karstifié qui favorise l'infiltration des eaux de surface pour constituer des réserves en eau souterraines.

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

1. Introduction

La zone étudiée se trouve dans une zone de limites entre les formations carbonatées du Jurassique et les formations du Plio-quaternaire. Dans ce qui suit nous passons en revue les différentes formations géologiques affleurant dans la région tout en mettant en évidence leurs caractéristiques hydrogéologiques.

2. Description des formations hydrogéologiques du secteur d'étude:

2.1. Les formations de Jurassique supérieur

- Les niveaux calcaires et dolomitiques sont largement fissurés voire karstifiés. Ainsi en surface des bancs calcaires plusieurs traces de karstification sont visibles telles que des vacuoles de dissolution, des avens dont celui mentionné sur la carte géologique se trouvant sur le djebel AïnEl Hout. La karstification de ces formations a été étudiée par plusieurs auteurs Hayane (1981), Collignon (1986) et Bensaoula (1992 et 2006). A cet effet cette karstification donne à ces formations une très bonne transmissivité et par conséquent constituent les principaux réservoirs d'eaux souterraines de la région.
- Au niveau du grès, la perméabilité sera plus ou moins importante par l'effet de la perméabilité d'interstice, l'existence de failles et de diaclases.

2.2. Les formations du Crétacé

- Les marnes constituent un ensemble imperméable.
- Les niveaux calcaireux sont parfois fissurés.

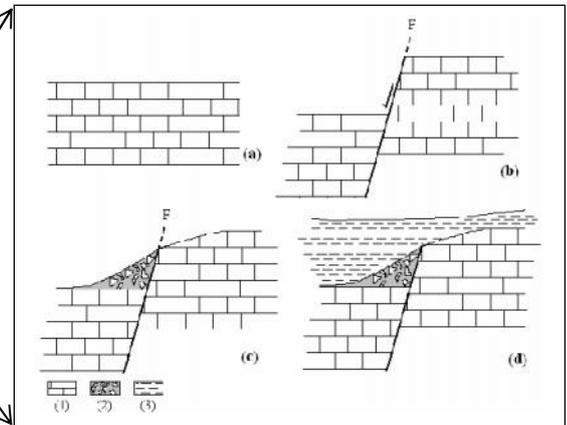
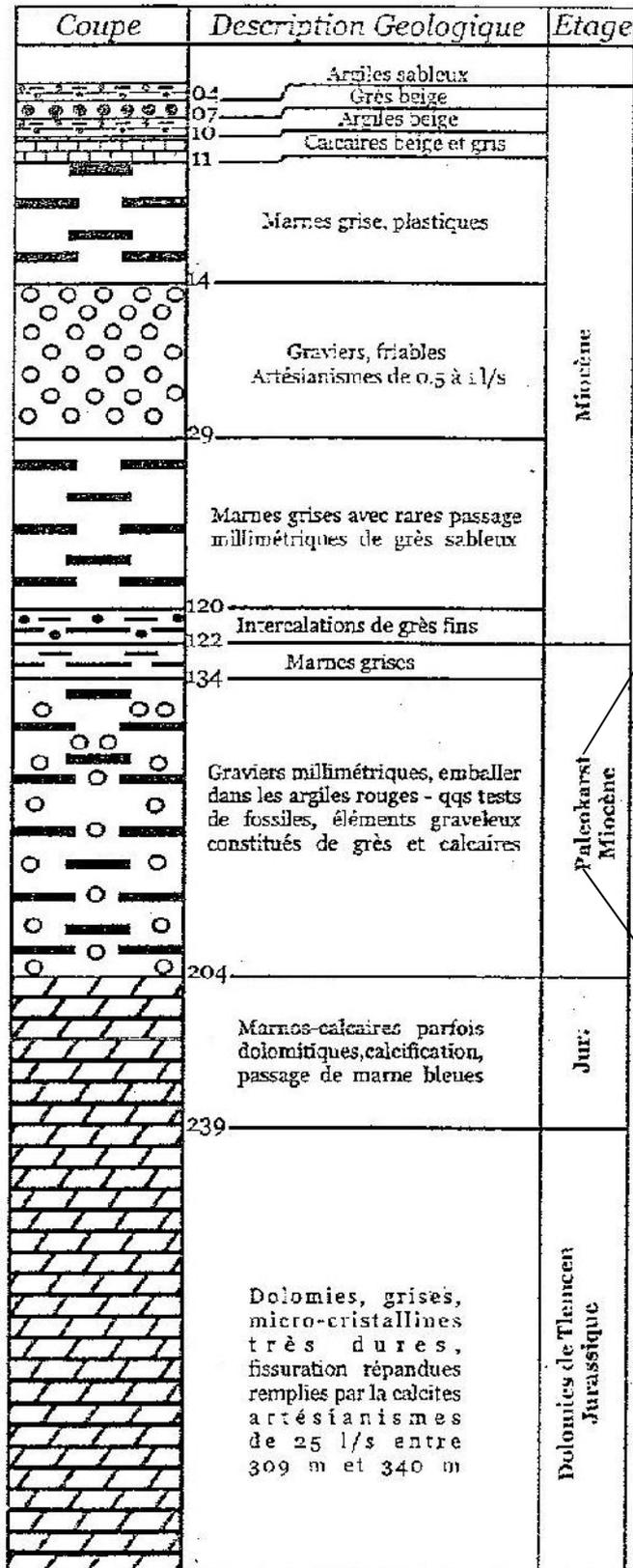
2.3. Les formations du Mio-Plio-Quaternaire

La perméabilité des formations alluvionnaires et gréseuse dépend de la cimentation ainsi que leur teneur en particules fines.

Les prospections dans la zone étudiée ont permis de voir qu'un forage d'eau (AH1) a été réalisé en 1989 en amont de la source en question à une distance environ de 2.2 Km. Ce forage profond de 340m s'est avéré artésien au moment de sa réalisation avec un débit de 50L/s. La figure (14) ci-dessous montre les différentes formations traversées par ce forage.

- Les dolomies de Tlemcen de Jurassique supérieur sont des formations à perméabilité de fissures et sont captées couverte par une formation semi perméable marno-calcaire.
- Les grès du Tortonien sont des formations perméables et ce sont captées.

Ce qui est intéressant à relever de ce forage est une formation d'une épaisseur de 70 m (figure 14) qui correspond probablement d'après Bensaoula (2006) à une formation de remplissage karstique : paléokarst. Ce sont des graviers millimétrique emballés dans les argiles rouges. Cette formation repose directement sur les formations calcaréo-dolomitiques du Jurassique et est recouverte des marnes grises et bleues du Miocène (Bensaoula, 2006).



X = 654.300

Y = 3864.600

Z = 565

Figure 14 : Log lithostratigraphique du forage Ain el Hout (AH₁)

3. Description de la source

La source d'Aïn el Hout émerge dans une formation dolomitique du Jurassique supérieur c'est les Calcaires de Zarifetau contact avec les marnes Helvétiques (Miocène), (Hayane 1983) à la faveur d'une faille. Elle est localisée aux coordonnées suivantes :

$$X = 132.750 \quad Y = 189.050 \quad Z = 521 \text{ m}$$

Elle a un débit très variable. Ainsi pour la période étudiée (1999-2008) le débit moyen annuel est de 13.82L/s.

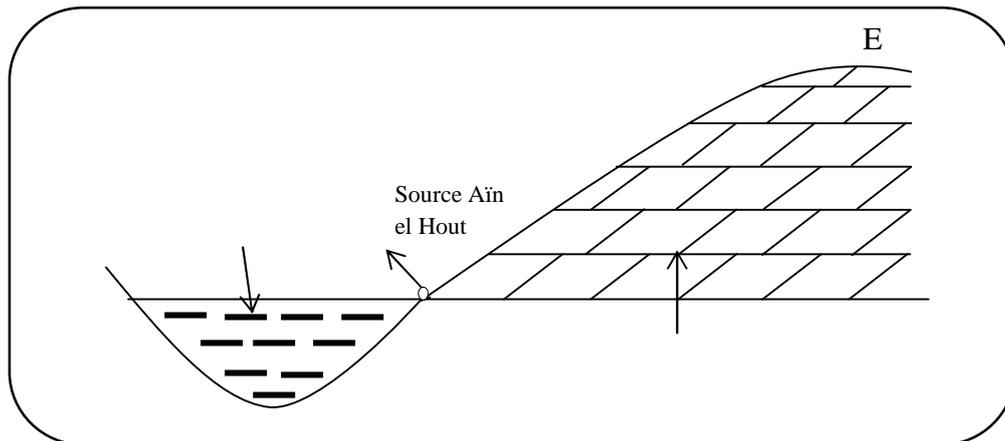


Figure 16 : Coupe schématique de la source Aïn el Hout d'après Hayane, 1985.

La figure ci-dessous montre le captage de la source. Notons bien l'existence du muret qui entoure le captage ainsi que les inscriptions sur ce muret voulant dire : **eau non potable**. Cette inscription a été faite par l'APC. Nous essayerons de vérifier cela au cours de l'étude de la qualité de l'eau.



Figure 17: Captage de la source Aïn El Hout

4. Etude du débit de la source

La source d'Aïn El Hout est caractérisée par un débit très variable. Ceci est bien illustré par la figure ci-dessous qui montre la variation des débits mensuels de la période 1999– 2008. Le plus fort débit 35 (l/s) a été enregistré le 08/05/2002 et en date du 09/01/2005 tandis que le débit le plus faible (5.7 l/s) a été enregistré en date du 01/09/2007. C'est une source qui a un régime karstique.

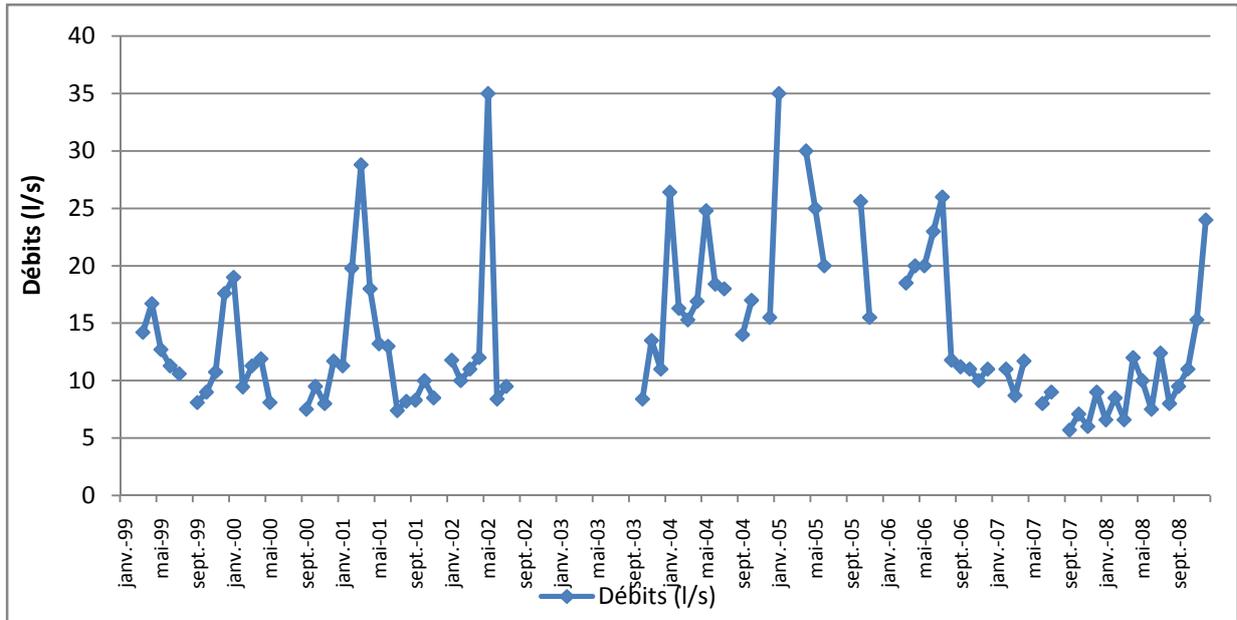


Figure 18 : Variation des débits mensuels de la période 1999 – 2008
Relation pluie – débit

Pour cette étude, nous avons utilisé les données disponibles à savoir les valeurs de débit instantanées avec un pas de temps mensuel et les précipitations moyennes mensuelles de la station Tlemcen pour la période 1999 – 2008. Le graphe ci-dessous illustre cette relation.

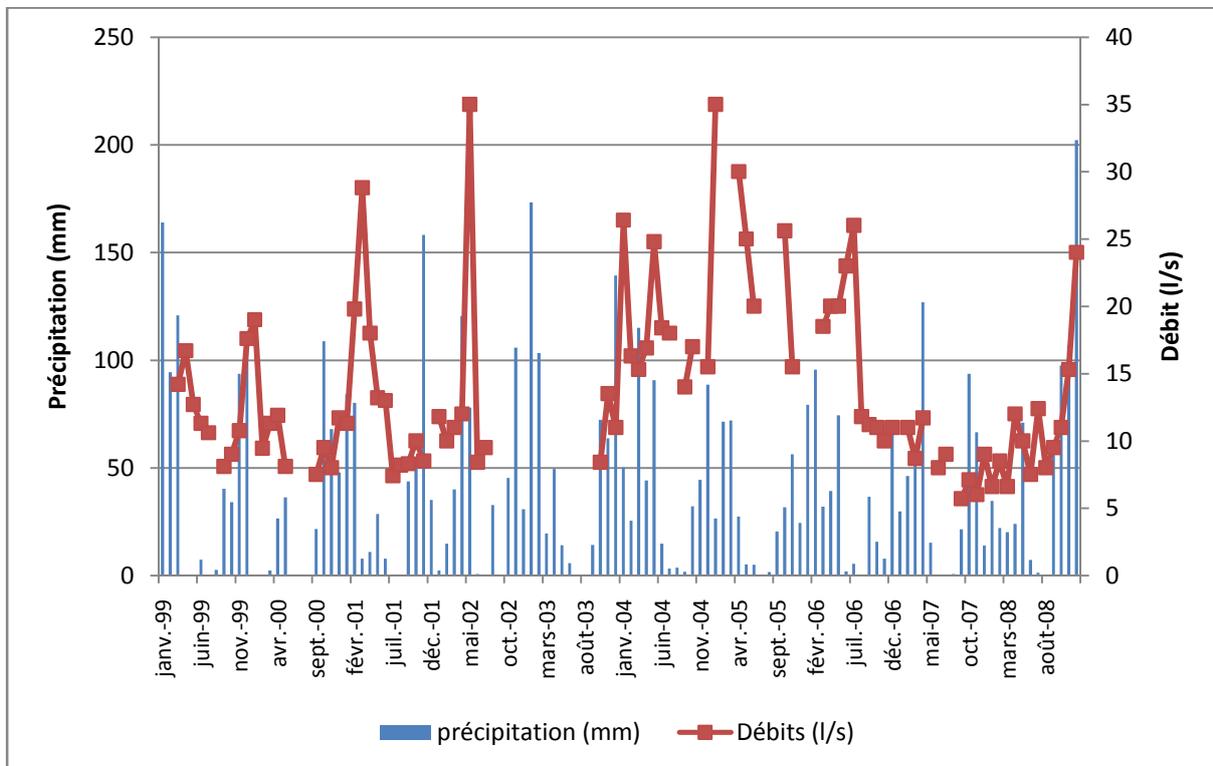


Figure 19 : Variation des débits en fonction des précipitations de la période 1999 à 2008.

L'interprétation de ce graphe n'est pas aisée et les conclusions qu'on pourrait tirer devraient être considérées avec beaucoup de précautions. Pour étudier la réponse à la pluie de cette source il aurait fallu utiliser les données journalières de la pluviométrie, chose que nous n'avons pas pu avoir auprès de l'ANRH.

Cependant il apparait clairement que les variations du débit de la source suivent globalement celles de la pluviométrie.

On admet que le débit de la source réagit avec les précipitations, la réponse est parfois un peu moins visible. Donc l'écoulement de la source est conditionné par un terrain karstique.

5. Conclusion

La source d'Aïn El Houtdraine un compartiment hydrogéologique karstique qui se traduit par le régime variable des débits au cours du temps et une réponse de la source aux précipitations.

ETUDE HYDROCHIMIQUE

1. Introduction

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux : la température, le pH, la conductivité et les teneurs en éléments chimiques dissous sont en fonction de la nature lithologique des formations traversées.

La chimie des eaux de la région d'étude va acquiescer aux formations karstiques.

La série des données physico-chimique pour l'étude hydrochimique est pour la période 1999 à 2008 sur la source Ain el Hout.

2. Balance ionique

Les analyses peuvent être contrôlées par la formule suivante :

$$BI = \left| \frac{\sum r^+ - \sum r^-}{\sum r^+ + \sum r^-} \right| \times 100$$

Avec : r : quantité en réaction (meq/l)

BI : balance ionique

BI > 5% : mauvaise analyse

2% > BI > 5% : analyse acceptable

BI < 2% : bonne analyse

La balance ionique des analyses chimiques de la période 1999 à 2008 varie entre bonne et acceptable sauf l'analyse du : 03/05/2004 est de mauvaise analyse 36.4%.

3. Interprétation des paramètres physico-chimiques

3.1. Les paramètres physiques

Les paramètres physiques de la source Ain El Hout sont présentés dans la figure au-dessous :

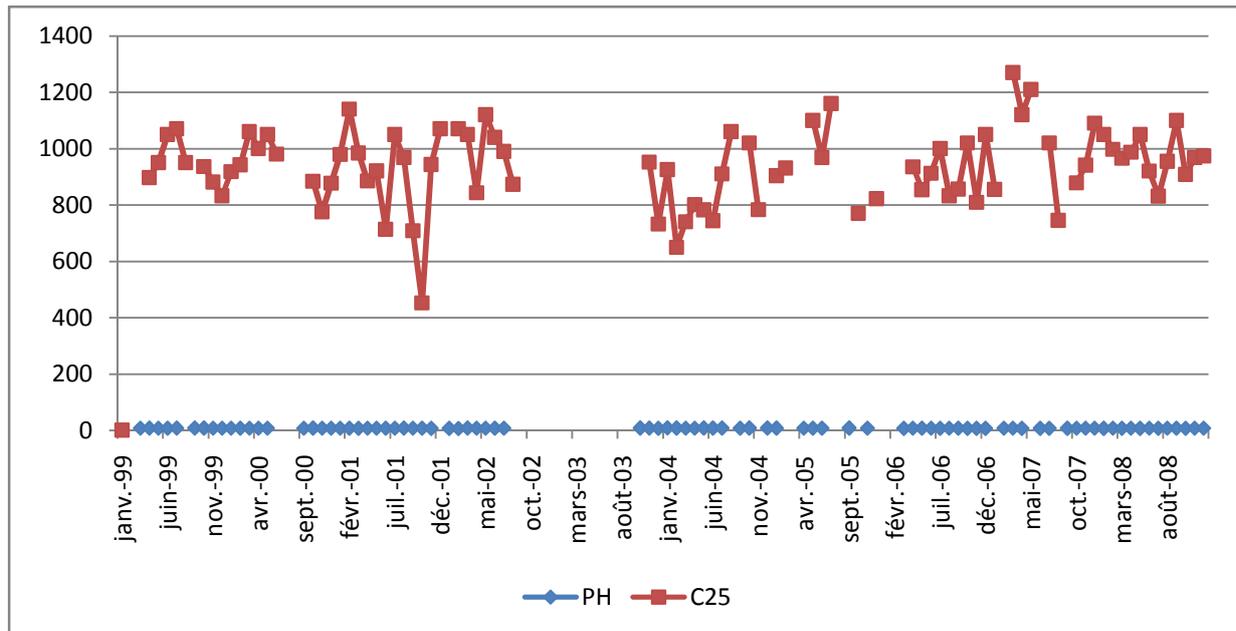


Figure 20 : Paramètres physiques de la source AIN El Hout de la période (1999-2008)

- **La minéralisation**

La minéralisation est fonction de la géologie des terrains traversés. Les eaux très minéralisées, du fait de leur teneur en sodium, en calcium, en magnésium, en chlorures, en sulfates et en hydrogénocarbonates (Rodier, 2009).

La minéralisation de la période 1999 à 2008 varie entre une minéralisation importante et faible tout dépend de la quantité des précipitations tombées.

La minéralisation en 06/02/2007 est de 1100 mg/l avec une précipitation de 29.8 mm même jours et en 03/11/2001 on a un max de précipitation 158.2 mm avec une minéralisation de 663 mg/l.

On peut penser à un phénomène de dilution avec l'apport des précipitations.

- **pH**

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés, il varie habituellement entre 7,2 et 7,6. (Rodier, 2009)

La fluctuation du graphe pH reste constante dans le temps.

3.2. Les paramètres chimiques

Les paramètres chimiques de la source Ain El Hout sont présentés dans la figure au-dessous :

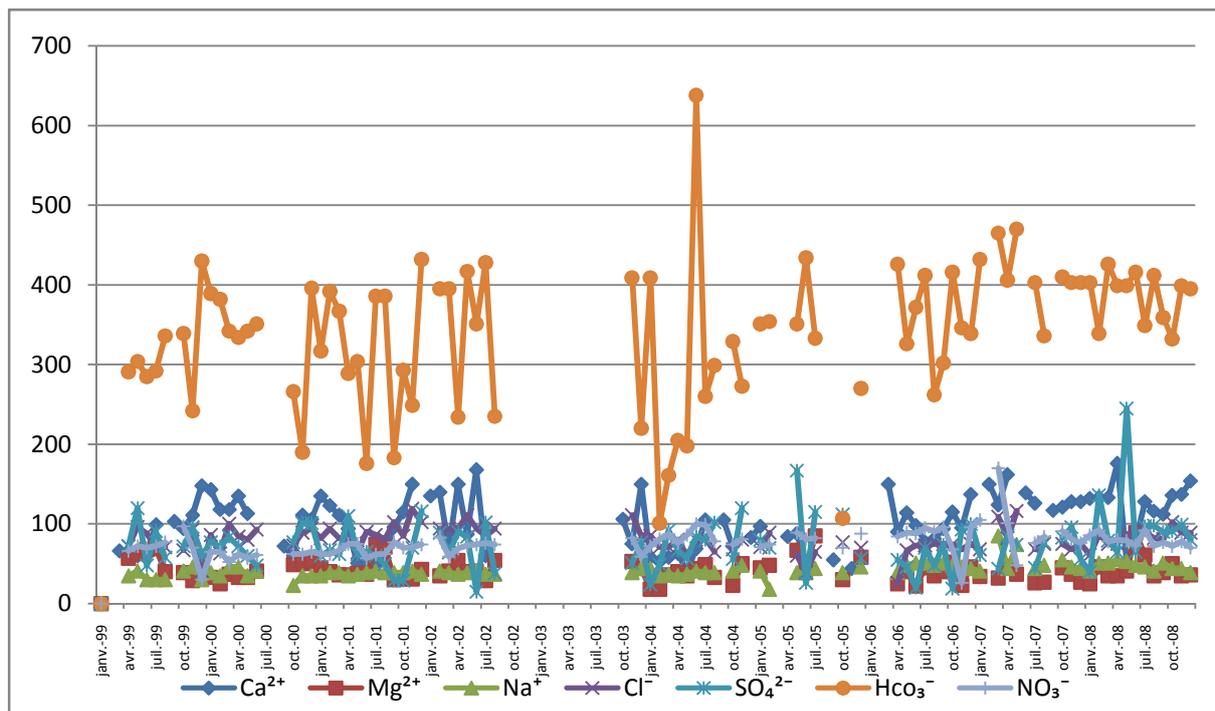


Figure 21 : Paramètres chimiques

- **Calcium**

Le calcium est un métal alcalino terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates (Rodier, 2009)

Les teneurs de calcium varient de 176 et 40 mg/l, son origine est due essentiellement soit à la dissolution de formations carbonatées du Jurassique CaCO_3 , soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4).

- **Magnésium**

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2,1 % de l'écorce terrestre La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies du Jurassique ou du Trias moyen) (Rodier, 2009).

Le magnésium varie entre 89 et 18 mg/l. son origine est comparable à celle du calcium.

- **Sodium**

Le sodium, sous forme de chlorure de sodium, Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères. (Rodier, 2009)

Les teneurs de sodium sont comprises entre 85 et 18 mg/l. Sa présence est liée probablement à la dissolution des formations salifères.

- **Potassium**

Potassium sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/L. Certains rejets industriels, en particulier de mines de potasse et d'usines d'engrais, peuvent entraîner dans l'eau des quantités de potassium relativement importantes. (Rodier, 2009)

Les teneurs de potassium varient entre 0 et 7 mg/l. Ce sont des valeurs très faibles.

- **Chlorure**

Les teneurs en chlorures varient de 26 à 119 mg/l. Elles sont essentiellement dues à la nature des terrains traversés.

- **Sulfate**

Les teneurs de SO_4^{-2} sont comprises entre 245 et 15 mg/l. La présence des ions des sulfates dans l'eau est liée, éventuellement à la dissolution des gypses.

- **Bicarbonate**

Les teneurs de HCO_3^- sont comprises entre 638 et 101 mg/l. L'origine des bicarbonates est les formations carbonatées jurassiques.

- **Nitrate**

Nitrate celle-ci est souvent liée au développement des élevages, à une fertilisation excessive des zones agricoles par les engrais, les fientes et fumiers divers, voire les boues de stations d'épuration. Les rejets des collectivités et occasionnellement de certaines industries. (Rodier, 2009)

Les teneurs en nitrates sont comprises entre 170 et 26 mg/l. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'activité agricole.

4. **Corrélation entre les paramètres**

- **Corrélation Calcium, Sodium et Bicarbonate avec la minéralisation**

Les paramètres Ca^{2+} , Na^+ et HCO_3^- sont bien corrélés avec la minéralisation comme montre la figure au-dessous :

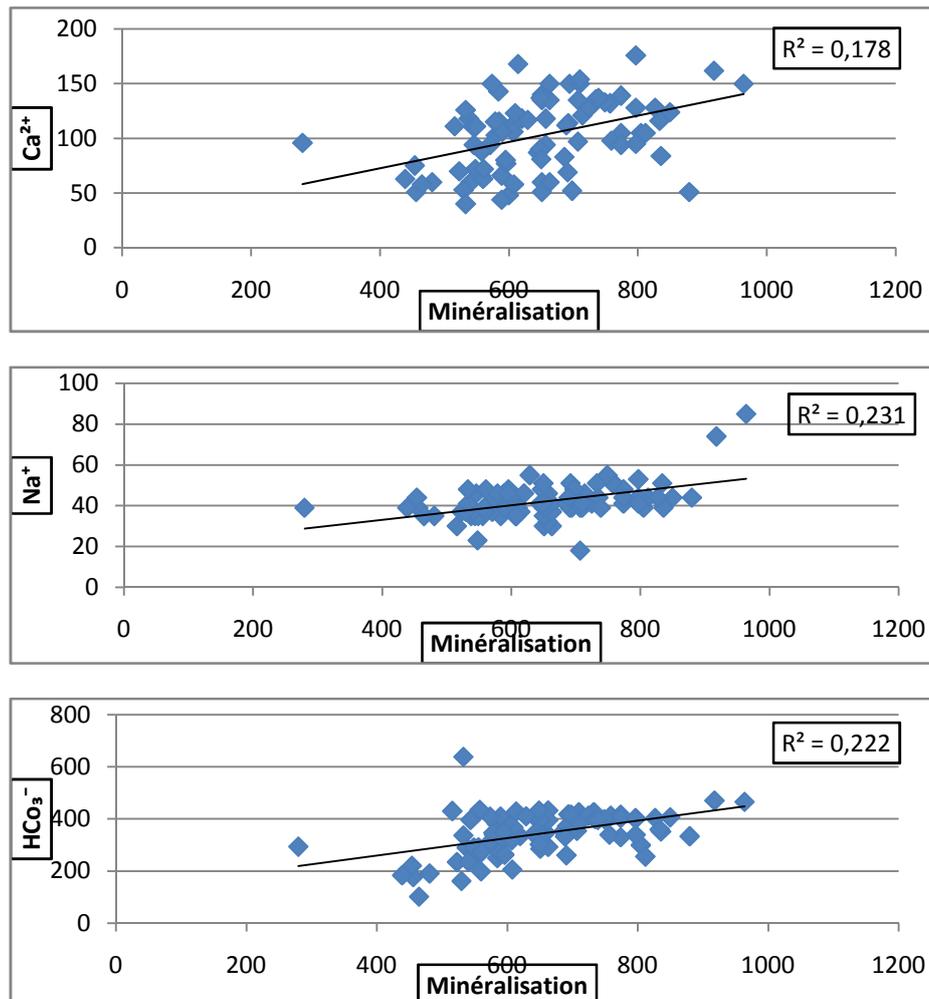


Figure 22 :Corrélation entre la minéralisation et les teneurs : Ca^{2+} , Na^+ et HCO_3^-

La minéralisation de cette eau est due essentiellement à la concentration des éléments Ca^{2+} , Na^+ et HCO_3^- . Ceci s'explique par la dissolution des carbonates et l'halite.

- **Corrélation Calcium – Bicarbonate, Calcium – Sulfate et Sodium – Chlorure**

Les paramètres chimiques sont corrélés entre eux, comme montre la figure au-dessous :

- Les valeurs de teneurs en bicarbonates sont bien corrélées avec les teneurs en calcium, qui s'explique par la dissolution des bicarbonates.
- Les valeurs de teneurs en sulfates sont moins corrélées avec les teneurs en calcium, qui s'explique par la dissolution du gypse.
- Les valeurs de teneurs en chlorures sont bien corrélées avec les teneurs en sodium, qui s'explique par la dissolution d'halite.

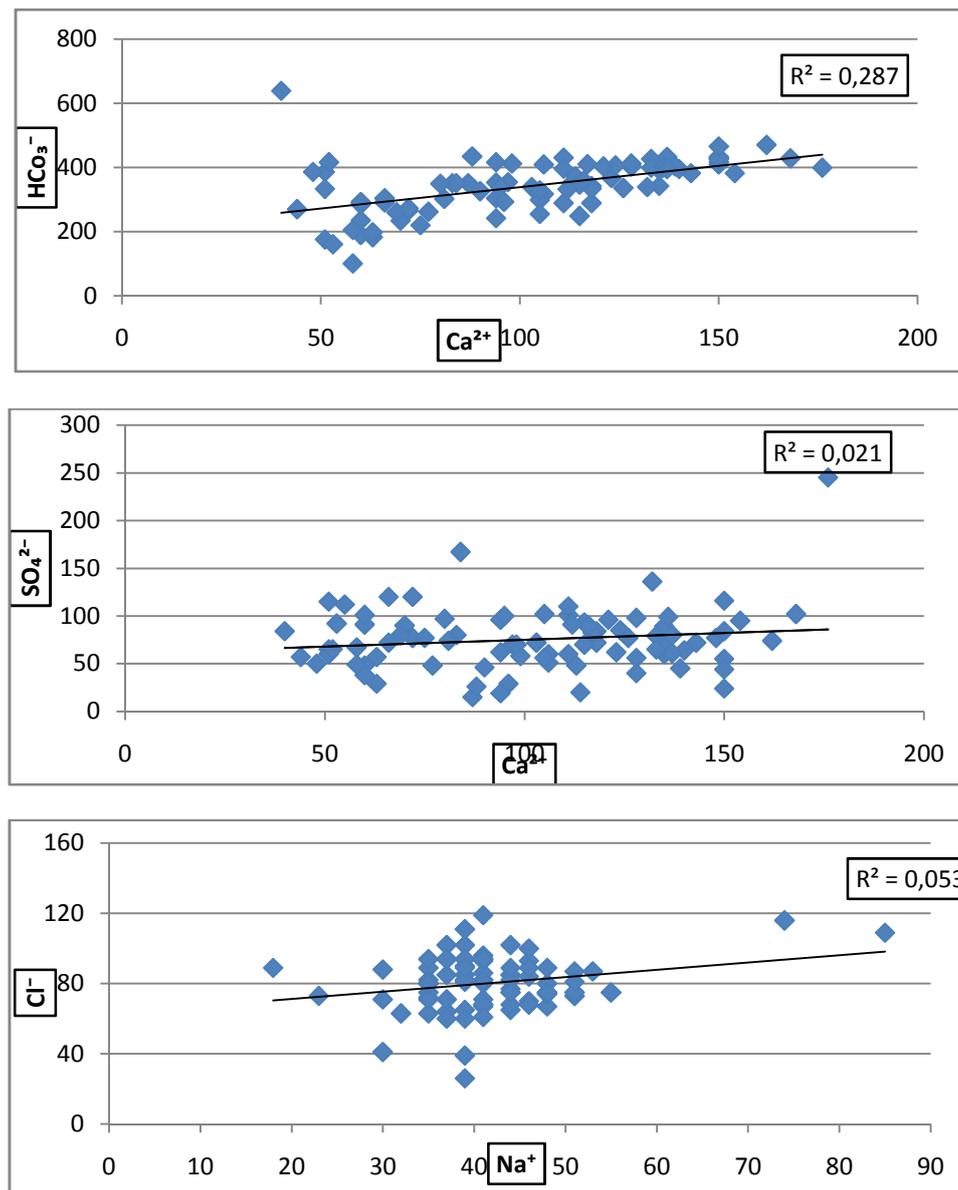


Figure 23 :Corrélation entre les paramètres chimiques

5. Classification de l'eau

La classification hydrochimique de l'eau de la source à partir du diagramme de SchoellerBerkaloff (figure 23), montre que le faciès chimique de la source Aïn el Hout est bicarbonaté calcique ou magnésien due au essentiellement à la dissolution des formations carbonatées (dolomie et calcaire) et globalement le faciès reste le même mais les teneurs qui changent au cours de la période 1999 à 2008. (Le reste de diagramme en annexe).

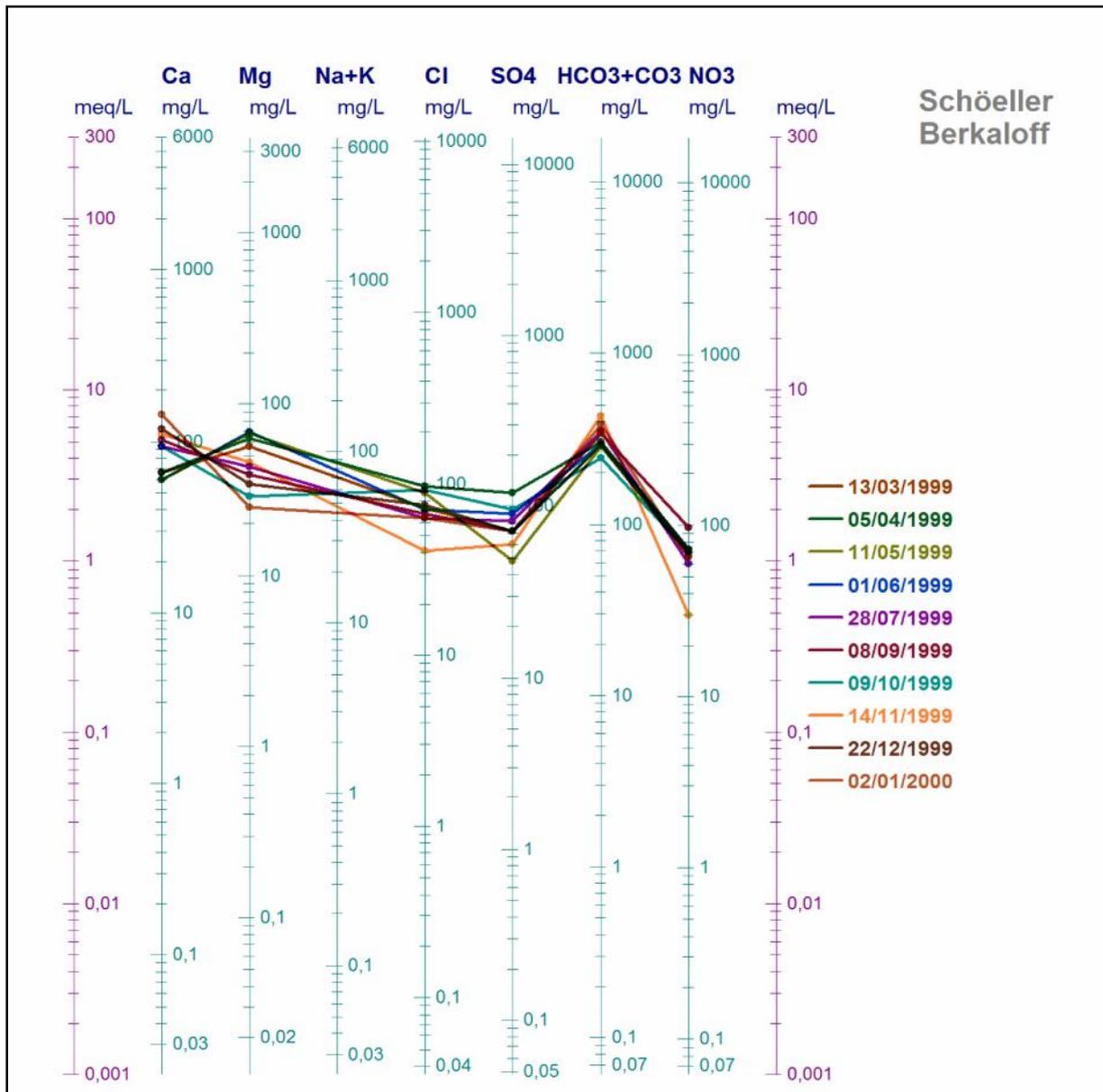


Figure 24 : Diagramme de SchoellerBerkaloff de la source Aïn El Hout

6. Conclusion

En général, la minéralisation de la source Aïn El Hout qui détermine le faciès chimique bicarbonaté calcique ou magnésien est lié à la nature des roches présentes et qui essentiellement constitué de roches sédimentaires à composante carbonatée importante.

7. Traitement statistique des données hydrochimiques

7.1. Introduction

L'analyse en composantes principales, souvent notée ACP, fait partie des techniques descriptives multidimensionnelles.

L'opération de l'Analyse de Composantes Principales consiste à passer d'un tableau des données brutes, contenant toute l'information recueillie sur le phénomène que nous souhaitons étudier, à certaines représentations visuelles des données (Alain, 2004)

Le but de l'ACP est projeté au mieux les individus afin de déformer au minimum la réalité.

Elle permet d'analyser des tableaux de données numériques quantitatives pour en réduire la dimensionnalité en trouvant un nouvel ensemble de variables plus petit que l'ensemble des variables, qui néanmoins contient la plupart de l'information. (Menció et al, 2008).

7.2. Application et résultat

7.2.1. Matrice de corrélation

L'ACP a été effectuée sur les données physico-chimiques de la source Ain El Hout (86 données).

Le résultat d'analyse de corrélation entre les paramètres : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , conductivité (C25), précipitation et débit est mentionné dans le tableau 10, montre que :

- La corrélation est bonne entre : (Ca^{2+} - HCO_3^-), (NO_3^- - Na^+), (C25 - Ca^{2+}) et (C25 - HCO_3^-).
- La corrélation est moyenne entre : (Cl^- - Na^+), (Cl^- - K^+), (SO_4^{2-} - Mg^{2+}), (HCO_3^- - Na^+), (NO_3^- - K^+), (C25 - Na^+), (précipitation - Ca^{2+}), (précipitation - Cl^-) et (précipitation - HCO_3^-).
- La corrélation est mauvaise entre le reste de paramètres.

Les bicarbonates sont associés avec le calcium d'où une origine commune due aux formations carbonatés.

Les précipitations sont associées avec les ions calcium, chlorures et les bicarbonates due aux l'interaction eau – roche. Par contre les précipitations sont dissociées aux débits.

La conductivité est associée avec les bicarbonates, les chlorures et le calcium ceci montre que ces ions sont responsables de la minéralisation.

Variables	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Hco ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	C25	précipitation	Débit L/s
Ca ²⁺	1										
Mg ²⁺	-0,560	1									
Na ⁺	0,311	-0,142	1								
K ⁺	-0,132	0,255	0,368	1							
Cl ⁻	0,120	0,092	0,231	0,272	1						
SO ₄ ²⁻	0,168	0,212	0,040	-0,055	0,086	1					
Hco ₃ ⁻	0,536	0,020	0,317	0,001	-0,025	0,031	1				
NO ₃ ⁻	0,055	-0,049	0,437	0,263	-0,012	0,022	0,152	1			
C25	0,444	0,142	0,291	0,061	0,152	0,159	0,486	0,121	1		
précipitation	0,176	-0,085	-0,087	0,005	0,167	-0,023	0,144	0,010	-0,110	1	
DebitL/s	-0,225	-0,022	-0,205	0,027	-0,251	-0,034	-0,112	0,154	-0,062	0,059	1

Tableau 9 : Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques

7.2.2. Analyse en composante principale

A partir des résultats de l'ACP et la distribution des paramètres physico-chimiques (figure 24), nous a permis de démontrer deux groupes principaux selon l'origine de la minéralisation de cette eau :

- Un groupe caractérisé par les ions Ca^{2+} et HCO_3^- est un groupe d'origine carbonatée due aux formations calcaires dolomitiques les plus abondantes dans cette région.
- Un groupe caractérisé par le reste des paramètres chimiques est un groupe acquérir son origine par les formations marneuses et évaporitiques.
- Un groupe unique de nitrates son origine est due lessivage d'engrais chimiques et rejets des eaux usées, c'est une origine entropique. Donc, la source Ain El Hout est contaminée.

L'analyse d'ACP du débit et précipitation a permis de distinguer globalement les mêmes résultats que ceux résultant relation débit – précipitation (partie hydrogéologie) l'écoulement de la source est conditionné par la quantité d'eau tombée.

La conductivité est liée principalement à la minéralisation d'une eau. L'analyse d'ACP de la minéralisation de la source Ain El Hout montre que son origine est acquérir a partie de paramètres chimiques adjacents : Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NO_3^- et Cl^- .

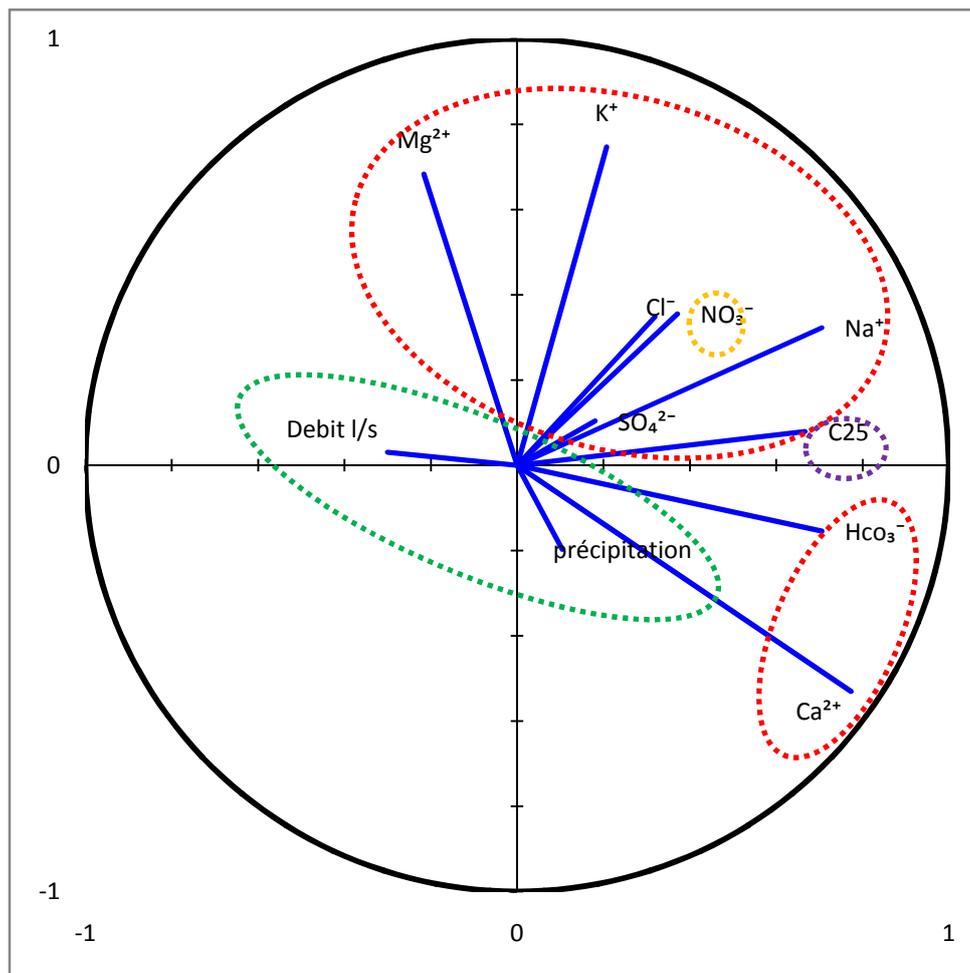


Figure 25 : Analyse en composante principale, espace des variables

8. Conclusion

D'après le traitement statistique des paramètres physico-chimiques de la source Aïn El Hout en analyse en composante principale (ACP), les résultats obtenus sont :

Le coefficient de corrélation entre ces paramètres a permis de déduire que l'origine essentielle de la minéralisation est due aux formations carbonatées.

La configuration géochimique de la source est conditionnée par la présence des affleurements adjacents et même par le contexte géostructural de la région caractérisé par le karst.

C'est une source vulnérable à la pollution. Ceci se traduit par la présence des nitrates dans l'eau avec des teneurs parfois dépassent les normes.

CHAPITRE 3

PROTECTION

1. Introduction

Dans les précédents chapitres on a pu identifier les éléments suivants :

L'étude bibliographique nous a permis de voir que la cartographie de la vulnérabilité à la pollution est une étape importante dans l'établissement des périmètres de protection des captages en milieu karstique.

L'étude climatique a montré que le climat de la région est semi-aride ce qui se traduit par la variabilité des apports d'eau des précipitations qui influe sur l'écoulement au niveau de la source.

Le contexte géologique et hydrogéologique de la zone a permis de mettre en évidence la prédominance des terrains karstiques qui constituent le bassin d'alimentation de la source. .

L'étude hydro chimique explique le contexte géochimique de la source, montre la prédominance d'un faciès bicarbonaté de ses eaux et une réponse rapide à la pluie.

Afin de déterminer les zones à protéger autour du captage d'Aïn El Hout, nous nous sommes basés sur ces observations.

2. Délimitation de la zone à protéger

Sur la base de la carte géologique à l'échelle 1/50000, une zone constituant en partie la zone d'alimentation de la source a été délimitée. Ceci est montré sur la figure ci-dessous.

Au Sud : (enamont de la source) les formations jurassiques affleurantes.

A l'Ouest : on a essayé de prendre les avens comme des indices d'une source d'alimentation.

A l'Est : c'est très difficile à limiter, on a pris les failles supposées d'après les pendages indiqués sur la carte comme source d'alimentation et la dispersion des pendages est expliquée par le jeu de faille.

Au Nord : c'est l'exutoire de la source et le reste des terrains sont des zones proposées pour la cartographie de vulnérabilité.

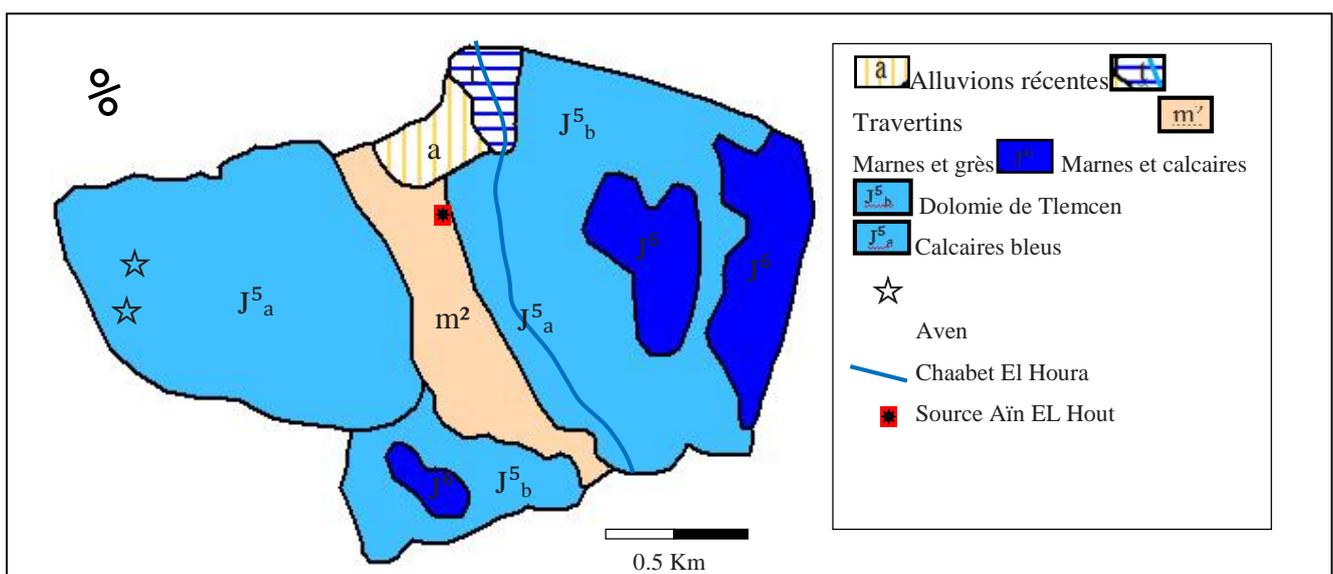


Figure 26 : Carte géologique simplifiée du secteur d'étude.

La cartographie de la vulnérabilité est un outil qui permettra le zonage des terrains sensibles à la pollution et par la suite l'établissement de périmètre de protection.

3. Concept de la vulnérabilité

La vulnérabilité à la contamination est définie comme étant la protection naturelle contre la contamination.

Le concept est basé sur une propriété relative, non mesurable et sans dimension (Vrba et Zaporezec, 1994).

La sensibilité à la pollution d'un site de captage dépend de différents facteurs qui conditionnent l'évolution, dans le temps et l'espace, d'un panache de pollution susceptible d'atteindre le captage. Les pollutions cheminent verticalement dans la zone non saturée jusqu'à l'atteinte de la nappe. Ensuite, la migration se fait en partie horizontalement, en fonction du sens de circulation de l'eau souterraine (Marchal, 2007).

Deux critères principaux sont pris en compte pour la mise en place des périmètres de protection : la vulnérabilité intrinsèque du milieu et la vulnérabilité spécifique ou induite (Marchal, 2007) :

- ✓ **La vulnérabilité intrinsèque** des eaux souterraines aux contaminants prend en considération les caractéristiques géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques du milieu, mais est indépendante de la nature des contaminants et des scénarios de contamination (Loubier et *al.*, 2004).
- ✓ **La vulnérabilité spécifique** considère les propriétés d'un contaminant en particulier ou d'un groupe de contaminants en plus de la vulnérabilité intrinsèque du milieu (Loubier et *al.*, 2004).

4. Méthode de détermination de la vulnérabilité

La vulnérabilité des eaux souterraines peut être déterminée à partir de différentes méthodes de cartographie. Ces méthodes sont résumées dans le tableau suivant :

Méthodes	Paramètres										
	Type d'aquifères	Profondeur Nappe	Recharge	Infiltration	Type de nappe	Lithologie/ Nature du Réservoir	Sol	Topographie	Incidence zone vadose	Epikarst	Degré de karstification
DRASTIC	Tout type	*	*		*		*	*	*		
SYNTACS	Tout type	*	*		*		*	*	*		
EPIK	Karstiques			*			*	*		*	*
RISK	karstiques			*		*	*	*		*	*
COP	karstiques			*		*	*	*			
PI	Tout type et karstiques		*		*	*	*	*	*		
DISCO	Fissurés			*			*				
GALDIT	Côtières	*				*			*		
LEA	Tout type			*			*				
SYMPEC	Aquifère Craie	*					*		*		
CORPEN	Tout type	*	*				*	*	*		

Tableau 10 : Tableau comparatif des différentes méthodes de caractérisation de la vulnérabilité (Vernoux et *al.*, 2007)

(* : Critère pris en compte)

5. Choix de la méthode

La méthode de cartographie de la vulnérabilité est sélectionnée en fonction des caractéristiques de structure et de fonctionnement des aquifères karstiques (Vernoux et *al.*, 2007). Vu les caractéristiques des formations aquifères drainées par la source d'AinEl Hout notre choix s'est porté sur la méthode RISK dédiée au karst.

La méthode de référence sera inspirée des méthodes multicritère de type EPIK ou RISK : méthodes basées sur l'utilisation de 4 à 5 critères conditionnant la sensibilité des eaux karstiques aux pressions anthropiques, avec facteurs de pondération et calcul d'un indice global de vulnérabilité (Cadilhac et Dugleux, 2006).

La méthode RISK est une méthode de cartographie multicritères permet d'apprécier la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques en fonction de leurs caractéristiques de structures et de leurs fonctionnements (Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse, 2013) Elle prend en compte 4 critères :

1. Critère R : Roche aquifère

Il traduit la nature des formations géologiques et la fracturation de ces formations (Agence de l'eau Rhône méditerranée et corse, 2013). En effet, il contrôle en partie les circulations d'eau et donc le transfert des polluants potentiels. La cartographie du critère R est réalisée à partir de l'analyse des cartes géologiques (Vernoux et *al.*, 2007).

2. Critère I : Infiltration

Les conditions d'infiltration de l'eau dans les aquifères karstiques sont très importantes dans la détermination de la vulnérabilité de l'aquifère. Elles tiennent compte de la pente (accélération du ruissellement) et de la présence de pertes (communication très rapide entre une perte et l'exutoire du réseau karstique) (Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse, 2013).

3. Critère S : Sol

Les formations pédologiques forment une couverture protectrice au-dessus des roches aquifères. Il est donc important d'évaluer le pouvoir protecteur et/ou régulateur de ces horizons vis à vis du transfert de polluants potentiels. D'une manière générale, les sols ne sont pas très développés en région karstique (Vernoux *et al.*, 2007).

4. Critère K : Karstification

Le critère de karstification évalue le développement du réseau karstique.

Les seules façons de déterminer le degré de karstification dans la zone d'infiltration semblent être :

- Une approche basée sur des observations de type spéléologique, la présence de grottes et d'avens constituant un bon indice de karstification, ainsi que les réseaux spéléologiques (actifs ou fossiles)(Loubier*et al.*, 2004).
- Les traçages, pouvant aussi permettre d'identifier la présence ou non d'un karst actif. (Loubier *et al.*, 2004).

Critères		Caractéristiques							Index		
R	Roche	R ₀	Marnes							0	
		R ₁	Marno-calcaires							1	
		R ₂	Calcaires marneux							2	
		R ₃	Calcaires et dolomies massifs en gros bancs non fracturés, Calcaires en petits bancs avec fracturation homogène							3	
		R ₄	Calcaires en gros bancs massifs fracturés							4	
I	Infiltration	I ₀	Pente très forte > 50%							0	
		I ₁	Pente forte (15 et 50%)							1	
		I ₂	Pente moyenne (5 et 15%)							2	
		I ₃	Pente faible (0-5%), zones cultivées (sol travaillé perpendiculairement à la pente)							3	
		I ₄	Bassin versant alimentant une perte							4	
S	Sol	Sol sur matrice nue ou avec un horizon géologique faiblement protecteur (éboulis, alluvions)				Sol sur horizon géologique important de faible conductivité hydraulique (argiles, argiles marneuses, conglomérats et brèches massifs)					
		Nature de sol inconnue	Nature de sol connue			Nature de sol inconnue	Nature de sol connue				
			1	2	3		1	2	3		
		S ₀	-	-	-	-	Couverture protectrice >5m (avec sol ou non)				0
		S ₁	Epaisseur >100 cm	Epais.>100 cm	-	-	Couverture protectrice 1-5m ou <1m avec un sol de texture inconnue ou de type 1 >20cm				1
		S ₂	Epais.20-100 cm	Epais.20-100 cm	Epais.>100 cm		Epais. 0-20 cm	Epais. 0-20 cm	Epais.20-100 cm	-	2
S ₃	Epais. 0-20 cm	Epais. 0-20 cm	Epais. 0-20 cm	Epais.>100 cm	Absence totale de sol	Absence totale de sol	Epais.20-100 cm	Epais. 0-100 cm	3		
S ₄	Absence totale de sol	Absence totale de sol	Epais. 0-20 cm	Epais.0-100 cm	-	-	-	-	4		
K	Karstification	K ₀	Aquifère peu ou pas fissuré							0	
		K ₁	Aquifère fissuré mais non karstifié							1	
		K ₂	Réseau mal karstifié ou mauvaise connection avec la surface							2	
		K ₃	Réseau karstique bien développé, présence d'un drain collecteur de petite taille connu(ou présumée d'un gros) connecté avec la surface. Traçage à circulation rapide							3	

		K ₄	Réseau karstique bien développé, présence d'un gros collecteur connecté avec la surface. Traçage à circulation rapide	4
--	--	----------------	---	---

Tableau 11 : Tableau récapitulatif des différents paramètres et pondération de la méthode RISK (Pételet-Giraud *et al.* 2001)

6. Application de la methode RISK à la zone étudiée :

Critère R :

La source est principalement alimentée par les carbonates du Jurassique. Ils se présentent sous forme de bancs massifs, fracturés et karstifiés. Ils seront donc cartographiés avec l'indice 4 et 2.

Le Miocène affleure à certains endroits, Il sera donc cartographié avec l'indice 1.

Le Quaternaire est présenté par les travertins avec l'indice 4 et les éboulis avec l'indice 1.

Tableau 12 : caractéristiques Critère R

Age	Jurassique			Miocène	Quartenaire	
Type de roche	<u>J⁵_a</u> : Calcaires bleu	<u>J⁵_b</u> : Dolomies de Tlemcen	<u>J⁶</u> : Marnes et calcaires	<u>m²</u> : Marnes et grès	<u>t</u> : Travertins	<u>a</u> : Eboulis
Indice de : R	4	4	2	1	4	1

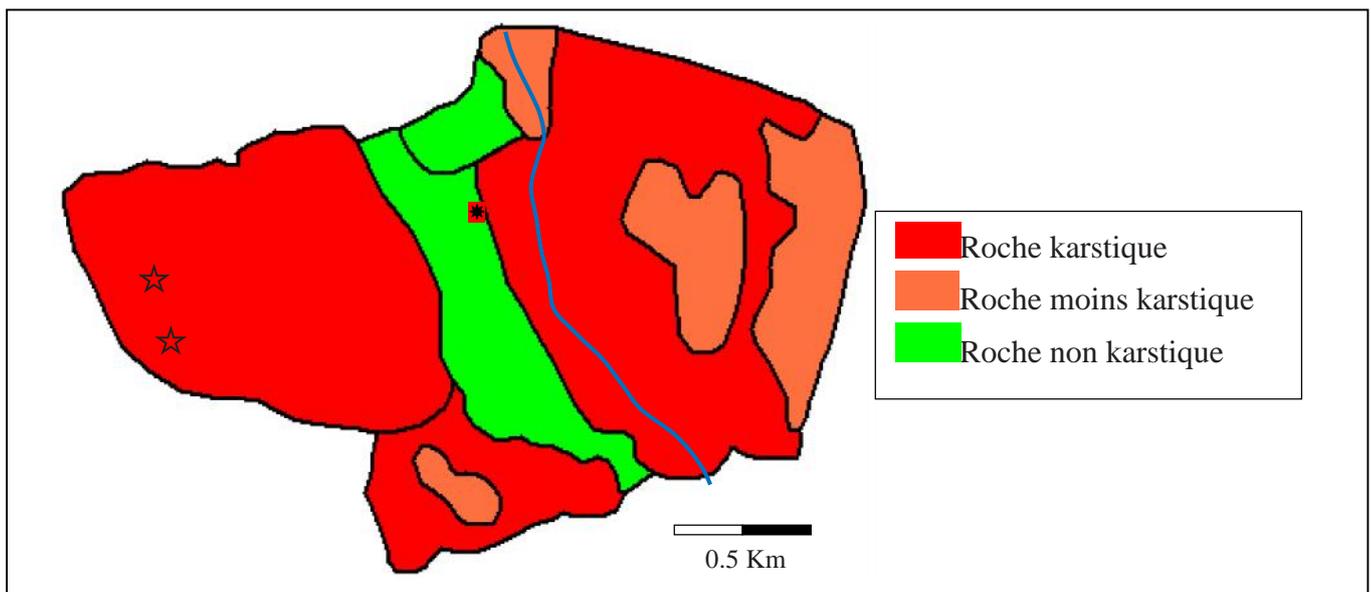


Figure 27 : Carte du critère R

Critère I :

La carte du critère I a été établie à l'aide du logiciel Vertical Mapper.

Figure 28 : Carte du critère I

Cinq classes d'indice 0 à 4 sont présentes dans la carte d'infiltration. Les zones vulnérables avec la classe de pente faible à modérée avec les indices 3 et 2 se trouvent au cours du trajet du thalweg Chaabet EL Horra. La classe de forte à très forte pente à vulnérabilité faible avec les indices 1 et 0 se trouvent globalement au bord du thalweg et au zones à relief.

Critère S :

La vulnérabilité faible avec indice 1 correspond aux zones où les sols ou la couverture protectrice sont les plus puissants et protecteurs, ce sont notamment les zones du Mio-Plio-Quaternaire. Le reste est en vulnérabilité forte à très forte avec l'indice 4, ce sont les formations du Jurassique.

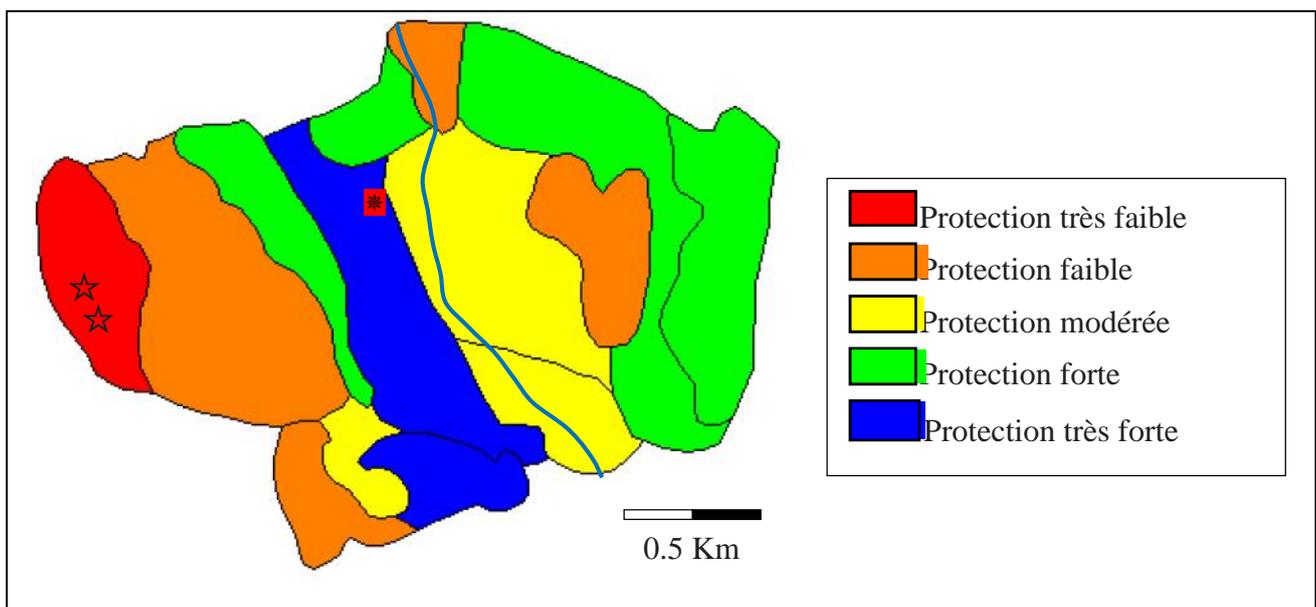


Figure 29 : Carte du critère S

Critère K :

La source Aïn El Hout est alimentée par les formations carbonatées du Jurassique. Le système karstique est considéré comme système développé par la présence des avens dans la partie occidentale de la source et donc le critère K détermine les 5 indices selon la nature du terrain.

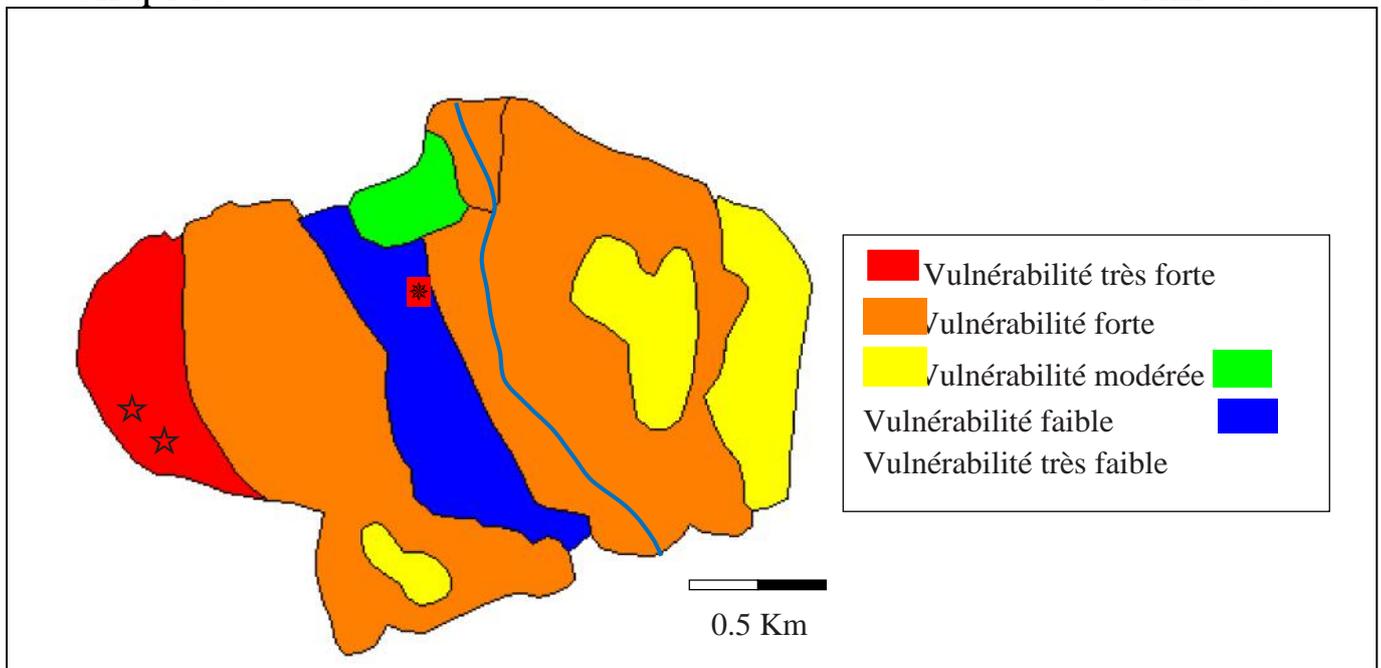


Figure 30 : Carte du critère K

Carte de vulnérabilité

La carte de vulnérabilité de la source Aïn EL Hout par la méthode RISK est obtenue par la combinaison des cartes précédentes : type de roche, infiltration, sol et karstification. La carte résultante est caractérisée par cinq degrés de vulnérabilité : très forte, forte modérée faible et très faible. Il est à remarquer que la zone à vulnérabilité très forte est marquée par l’existence d’aven. Les zones à vulnérabilité modérée et faible se localisent au niveau des affleurements du Jurassique tandis que les zones à faible et à très faible vulnérabilité se trouvent au niveau du Mio-Plio-Quaternaire.

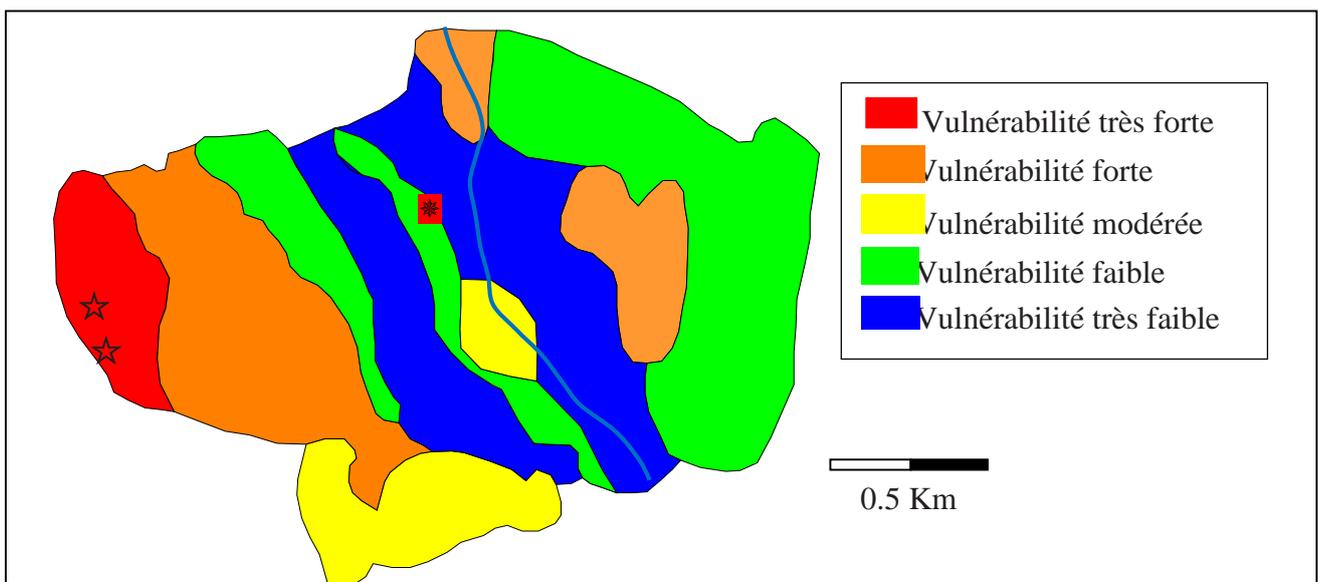


Figure 31 : Carte de vulnérabilité

La superficie totale du secteur cartographié est d'environ de 10.5 Km². Selon la carte de vulnérabilité les surfaces couvertes par les différentes zones représentent les pourcentages suivants :

- Zone très vulnérable : 10%
- Zone vulnérable : 21%
- Zone modérée : 15%
- Zone faible : 34%
- Zone très faible : 20%

Selon ces résultats, on peut déduire que notre secteur d'étude peut être sujet à des pollutions. Ceci est particulièrement à l'existence d'une karstification au niveau des formations carbonatées du Jurassique. Donc la sensibilité de la source à la pollution est due essentiellement au système karstique et surtout à la présence des avens qui peut être une source directe de pollution.

Afin de mieux préciser les risques de pollution de cette source la cartographie de l'occupation du sol a été effectuée dans ce qui suit.

7. Occupation du sol

Le tissu urbain et les activités anthropiques ont connu ces dernières années un développement très important qui menace l'environnement et les ressources d'eau. Dans la zone étudiée l'occupation des sols se présente comme le montre la carte d'occupation de sol de la figure ci-dessous.

7.1 Les activités agricoles

Les terres de la zone d'étude sont pour la plupart des terres à structure à maquis et des oliveraies.

Présence des petits jardins à cultures variées qui se traduit par une variété d'utilisation des engrais.

7.2 Urbanisation

La zone d'étude est caractérisée par une dominance urbaine qui n'a fait qu'augmenter la vulnérabilité de ce bassin à cause des désagréments qu'elle peut causer. L'existence d'un réseau d'assainissement avec la présence d'éventuelles fuites, les rejets d'eaux usées ainsi que la présence de la station d'épuration eaux usées du groupement de Tlemcen rejetées vers Chabet El Horra des eaux pour l'irrigation. Il faut noter que les lits de séchage des boues issues de l'épuration au niveau de cette station sont des foyers de pollution potentiels car ils ne sont pas bétonnés.

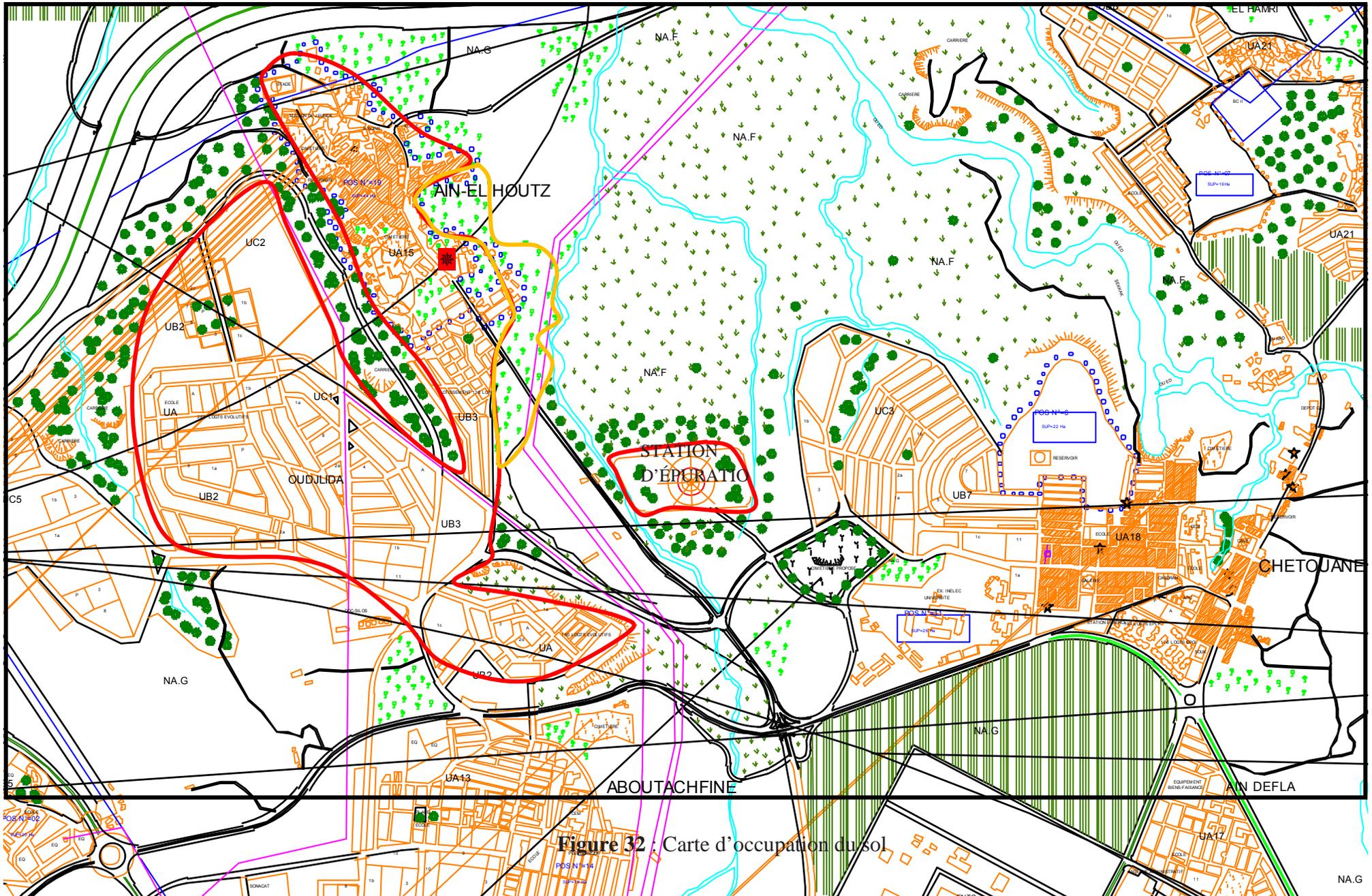
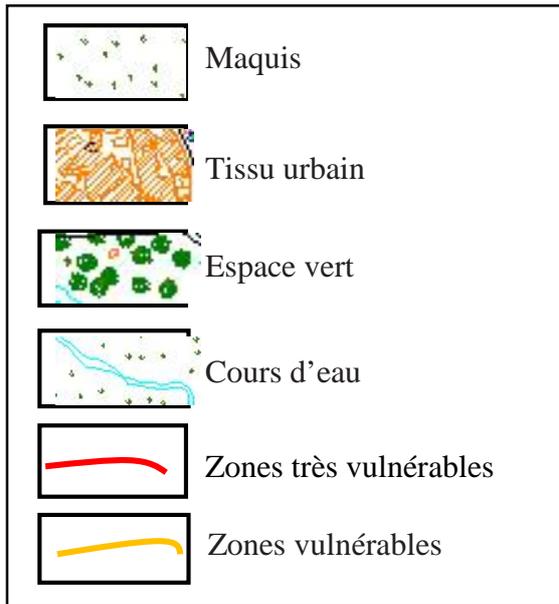


Figure 32 : Carte d'occupation du sol

Légende :



8. Conclusion

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la source Aïn El Hout, nous a permis de déduire deux zones sensibles à la pollution, l'une très vulnérable caractérisée par l'urbanisation et l'autre vulnérable correspondant aux petits jardins où l'utilisation des engrais est probable

La délimitation du périmètre de protection du captage de la source d'Ain El Hout se fera sur la base de la carte vulnérabilité. Les zones vulnérables et très vulnérables seront particulièrement protégées en installant une surveillance et une réglementation des activités susceptibles d'être polluantes.

Le périmètre de protection **immédiate** existe déjà, cependant il devrait être restauré.

Le périmètre de protection **rapprochée** devant être limité aux zones les plus vulnérables où il faut éviter toutes pollutions ponctuelles et diffuses liées aux engrais, pesticides, les rejets des eaux usées, les ruissellements des eaux polluées aux hydrocarbures. Aussi il faut s'assurer que les avens ont été bien comblés (par du béton) lors de la construction des immeubles d'Oudjlida. Il est à noter que ces avens pourraient acheminer vers la source toutes fuites qui se déclareraient dans le système d'assainissement de ces constructions.

Le périmètre de protection **éloignée** couvre la zone d'alimentation de la source. Ceci pourrait faire l'objet d'un travail futur.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

A la fin de ce modeste travail les conclusions suivantes peuvent être tirées :

Le périmètre de protection d'un captage a pour but de protéger la qualité de l'eau souterraine. La protection de l'eau se fait tout d'abord par l'établissement de textes législatifs qui réglementent et organisent le secteur de l'eau dans sa globalité. Il est à remarquer que les textes législatifs réglementant la protection des ressources en eau ne sont pas très précis et ne donnent aucune indication sur les méthodes à utiliser pour le dimensionnement des périmètres de protection. De notre étude bibliographique il en ressort que le choix de la méthode à utiliser dépend en grande partie du type du milieu aquifère : poreux, karstique ou fissuré.

Le secteur d'étude fait partie des piémonts nord des Monts de Tlemcen. Il est caractérisé par un climat semi-aride avec une température moyenne mensuelle est d'environ 17.7 °C, le mois le plus chaud étant le mois d'Aout, avec une température moyenne annuelle de 25.8 °C.

La synthèse des travaux géologiques effectués sur la région nous a permis de constater que le massif drainé par la source est un terrain karstique du Jurassique supérieur partiellement couvert par des terrains du Mio-Plio-Quaternaire affecté d'une tectonique cassante.

La source d'Ain El Hout draine un compartiment hydrogéologique karstique qui se traduit par un régime variable des débits au cours du temps et une réponse de la source aux précipitations.

Le contexte géochimique de la source est caractérisé par un faciès bicarbonaté dû à la prédominance du terrain karstique. Ce résultat est confirmé par le traitement statistique des paramètres physico-chimiques de la source Ain El Hout en analyse en composante principale (ACP) qui permis de déduire que l'origine essentielle de la minéralisation est due aux formations carbonatées et le contexte géochimique conditionné par le karst.

L'établissement du périmètre de protection autour du captage de la source est traduit par les zones sensibles à la pollution à partir de la cartographie de la vulnérabilité par la méthode RISK. Cette dernière a permis de mettre en évidence que la zone étudiée est dotée d'une vulnérabilité de cinq degrés à savoir : très forte, forte modérée, faible et très faible vulnérabilité.

De manière générale les recommandations qui permettraient d'aboutir à une meilleure préservation de la qualité de l'eau de la source de Ain El Hout sont :

- Exiger des autorisations règlementées sur la réalisation de nouveaux projets.
- Toute activité nouvelle devra prendre en compte la protection de la source.
- La gestion du cimetière d'Ain El Hout devrait faite avec plus de considérations.
- Sensibiliser les gens pour la préservation de la qualité de l'eau de la source.

- Améliorer ce travail en mettant en œuvre de nouvelles études dans le secteur en effectuant des essais de traçages pour mieux comprendre le fonctionnement de ce système karstique.
- Malgré le fait que la source est destinée à l'irrigation, il demeure quand même des personnes qui boivent de cette eau bien qu'elle soit de mauvaise qualité. Il faudrait donc prendre en considération ceci soit :
 - * en interdisant la consommation par une signalisation claire et digne de ce nom (panneaux inscrits en arabe et en français : eau non potable). Aussi il faudrait couvrir le canal qui achemine l'eau du captage vers les terres à irriguer et renforcer le périmètre de protection immédiate.
 - *ou alors il faut traiter l'eau de cette source.

Enfin nous terminons ce travail en espérant que pour des travaux futurs il y'ait une meilleure collaboration des institutions qui détiennent l'information et les données qui permettraient un travail plus poussé avec des résultats fiables.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Agence de l'eau Rhône méditerranée et corse, 2013 Identification des ressources karstiques majeures pour l'alimentation en eau potable en vue de leur protection sur une partie du massif du Jura. Volume n° 4 : méthodologie de la cartographie de la vulnérabilité RISK.

Alain F. et Jean – François R., 2005 Dictionnaire de géologie 6^e édition. *Dunod–Paris*.

Alain M., 2004 ACP – Analyse en Composante Principale

Allier D. et al., 2008 Evaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines de la Martinique. Rapport final BRGM/RP-56283-FR.

Andrée L. et Jean-Claude R., 1999 Périmètre de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. Édit. BRGM.

Auclair D., 1973 Carte géologique consultée de Tlemcen 1/200.000.

Benest M., 1985 Evolution de la plate-forme de l'Ouest Algérien et du Nord-Est marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : stratigraphie, milieux de dépôt et dynamique sédimentaire. Docum. Lab. Géol. Lyon, n° 95.

Bensaoula F., 2006 Karstification et vulnérabilité des eaux karstiques. Mise en point d'outils pour leur protection (Application aux Monts de Tlemcen – Ouest Oranais). Thèse de doct. D'état. Univ. De Tlemcen.

Bensaoula F., 2007 Etude de la karstification à partir des données de forage : le cas des Monts de Tlemcen (Algérie).

Bouanani A., 2004 Hydrologie, transport solide et Modélisation : étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie) ; Thèse doct. D'état, univ. Tlemcen

BRGM, 2005 Guide méthodologique, Cartographie de la vulnérabilité en vue de la délimitation des périmètres de protection en milieu karstique.

BRGM, 2007 Eaux destinées à la consommation humaine. Guide pour la protection des captages publics. Départements du Gard et de l'Hérault.

Bussard T., 2005 Méthodologie de dimensionnement des zones de protection des captages d'eaux souterraines contre les polluants chimiques persistants, thèse de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne,

Cadilhac L. et Dugleux E., 2006 Bilan et analyse de la mise en œuvre des périmètres de protection des captages AEP en milieu karstique. Synthèse des préconisations en faveur de l'amélioration des démarches de protection.

Castany G., 2002 Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edit. Dunod.

Code des eaux, 1996 Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 modifiée par l'ordonnance n° 96-13 du 15 juin 1996.

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. Mém. Mag. Univ. Tlemcen.

Doumergue F., 1924 Carte géologique consultée de Tlemcen 1/50000.

Hayane S.M., 1983 Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'oued Sikkak (région de Tlemcen). Thèse Doc. 3^e cycle. Univ. Oran.

Khelifi S., 2012 Application du modèle hydrogéologique gr (annuel, mensuel et journalier) au bassin versant d'Oued Sikkek (NW Algérie). Mém. Ing. Univ. Tlemcen (données température période 1993 – 2011)

Loubier S., Jauffret D. et Dofliger N., 2004 Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques en Franche-Comté. Rapport final BRGM/RP -53576-FR.

Marchal J.P., 2007 Eaux destinées à la consommation humaine. Guide pour la protection des captages publics. Départements du Gard et de l'Hérault. Rapport final BRGM/RP-55699-FR.

Menció A. et Mas-Pla J., 2008 Assessment by multivariate analysis of groundwater-surface water interactions in urbanized Mediterranean streams. Journal of Hydrology.

Nassah H. et Omdi F., 2011 Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines. Cas du champ captant du N'Fis (Maroc). Mém. Fin d'étude Univ. Marrakech.

OFEFP (Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage), 2004 Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines.

Petelet-Giraud E., Dörfliger N., Crochet P., 2000 RISKE : Méthode d'évaluation multicritère de la cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques. Applications aux systèmes des Fontanilles et Cent-Fonts (Hérault), Hydrogéologie, Vol. 4.

Renald M., 2003 Le puits. Développement durable, Environnement et Parcs Québec. Ouvrages de captage individuels.

Riccardo B., Daniel H., Claude M. et Benjamin M., 2004 Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines L'environnement pratique Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP. Berne

Rodier J., 2009 Analyse de l'eau 9^e édition – *Dunod-Paris*

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Seguin J.J. et Doerfliger N., 2007 Méthodologie de délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Rapport intermédiaire : synthèse bibliographique et analyse des études réalisées sur le bassin Seine-Normandie

Vrba J. et Zaporozec A., 1994 guidebook on mapping groundwater vulnerability – International Contributions to Hydrogeology (IAH).

Winschen M., 2011 Périmètres de Protection des Captages d'eau destinée à la consommation humaine Etude préalable à l'avis de l'Hydrogéologue Agréé N° BSS : 01947X0041. Rapport de stage. Univ. Henri Poincaré.

<http://www.interieur.gov.dz/Dynamics/frmItem.aspx?html=337&s=1>

<http://www.semide.dz/fr/legislature/decrets.htm>

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Le périmètre de protection immédiate (S.I.A.E.P.).....	15
Figure 2 : Le périmètre de protection rapprochée (S.I.A.E.P.).....	16
Figure 3 : Le périmètre de protection éloignée(S.I.A.E.P.).....	16
Figure 4 : Situation géographique de la zone d'étude	24
Figure 5 : Situation géographique de la zone d'étude en 3D.....	25
Figure 6 : Carte de réseau hydrographique.....	26
Figure 7 : Variation des précipitations annuelles (1993-2011) (ANRH).....	27
Figure 8 : Précipitations moyennes mensuelles (1993 -2011) (ANRH).....	28
Figure 9 : Variation des températures moyennes mensuelles (1993-2011).....	29
Figure 10 : diagramme pluviothermique.....	30
Figure 11 : Abaque de Demartone.....	31
Figure 12 : Cartes géologiques du secteur d'étude.....	35
Figure 13 : Coupe synthétique établis à partir de données de forages, à travers le fossé de Tlemcen. Bensaoula (2006).....	38
Figure 14 : Log lithostratigraphique du forage Ain el Hout (AH ₁).....	40
Figure 15 : Schéma de mise en place de la brèche de faille et éboulis de pente observés dans le forage AH1 ((1) : Formation carbonatée du Jurassique supérieur, (2) : Brèche de faille et éboulis de pente, (3) : Marnes du Miocène. (Bensaoula 2006).....	40
Figure 16 : Coupe schématique de la source Ain el Hout d'après Hayane, 1985.....	41
Figure 17 : captage de la source Aïn El Hout.....	42
Figure 18 : Variation des débits mensuels de la période 1999 – 2008 Relation pluie – débit	43
Figure 19 : Variation des débits en fonction des précipitations de la période 1999 à 2008....	43
Figure 20 : Paramètres physiques de la source AiN El Hout de la période (1999-2008).....	45
Figure 21 : Paramètres chimiques.....	46
Figure 22 : Corrélation entre la minéralisation et les teneurs : Ca ²⁺ , Na ⁺ et HCO ₃ ⁻	48
Figure 23 : Corrélation entre les paramètres chimiques.....	49
Figure 24 : Diagramme de SchoellerBerkaloff de la source Aïn El Hout.....	50
Figure 25 : Analyse en composante principale, espace des	

variables.....	54	Figure 26: Carte géologique simplifiée du secteur
d'étude.....	56	Figure 27 : Carte du critère
R.....	63	Figure 28 : Carte du critère
I.....	64	

Figure 29 : Carte du critère S.....	65
Figure 30 : Carte du critère K.....	66
Figure 31 : Carte de vulnérabilité.....	66
Figure 32 : Carte d'occupation du sol.....	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des procédures de protection des eaux souterraines (Bussard, 2005)...	14
Tableau 2 : Caractéristiques de la station de Tlemcen.....	27
Tableau 3 : Données des précipitations moyennes mensuelles (1993-2011).....	28
Tableau 4 : Températures moyennes mensuelles : minimum, maximum et moyenne (1993-2011) (Khelifi, 2012).....	29
Tableau 5 : Indice d'aridité mensuel de DeMartone.....	32
Tableau 6 : Types des mois par Moral.....	33
Tableau 7 : Classification des mois selon Moral.....	33
Tableau 8 : Description géologique du secteur d'étude.....	36
Tableau 9 : Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques.....	52
Tableau 10 : Tableau comparatif des différentes méthodes de caractérisation de la vulnérabilité(Vernoux <i>et al.</i> , 2007).....	58
Tableau 11 : Tableau récapitulatif des différents paramètres et pondération de la méthode RISK (Pételet-Giraud <i>et al.</i> 2001).....	62
Tableau 12 : Caractéristiques Critère R.....	63

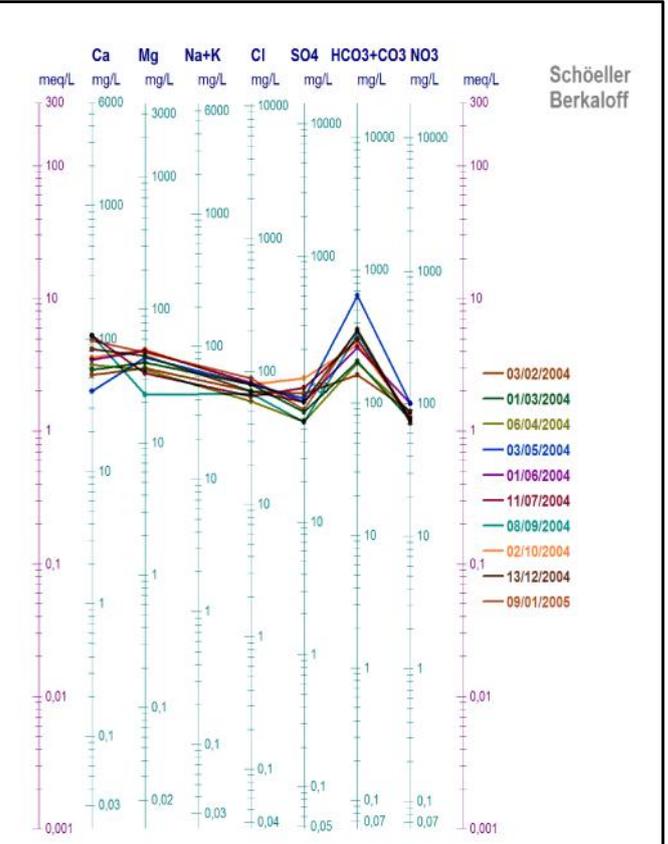
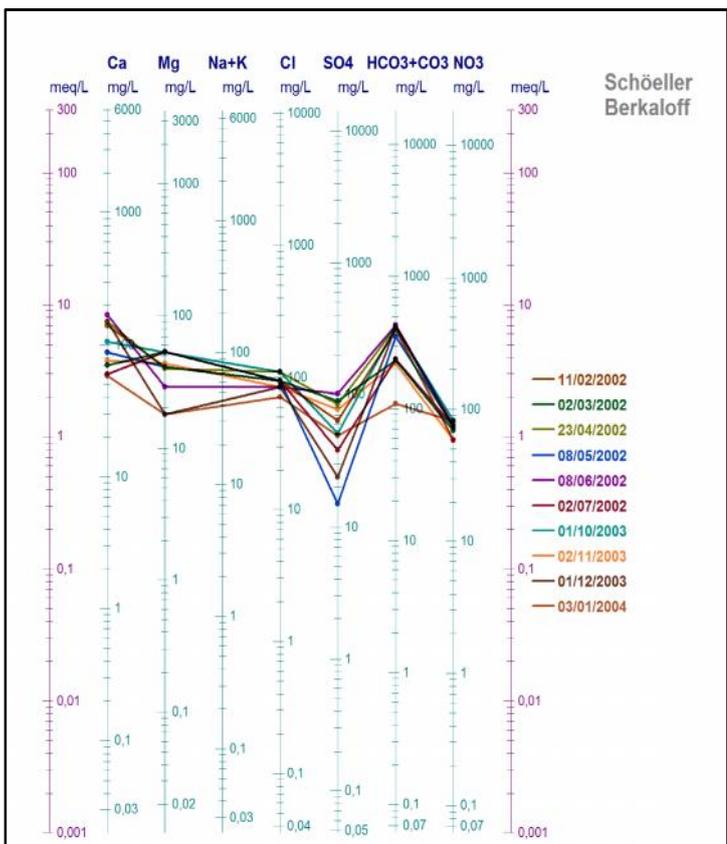
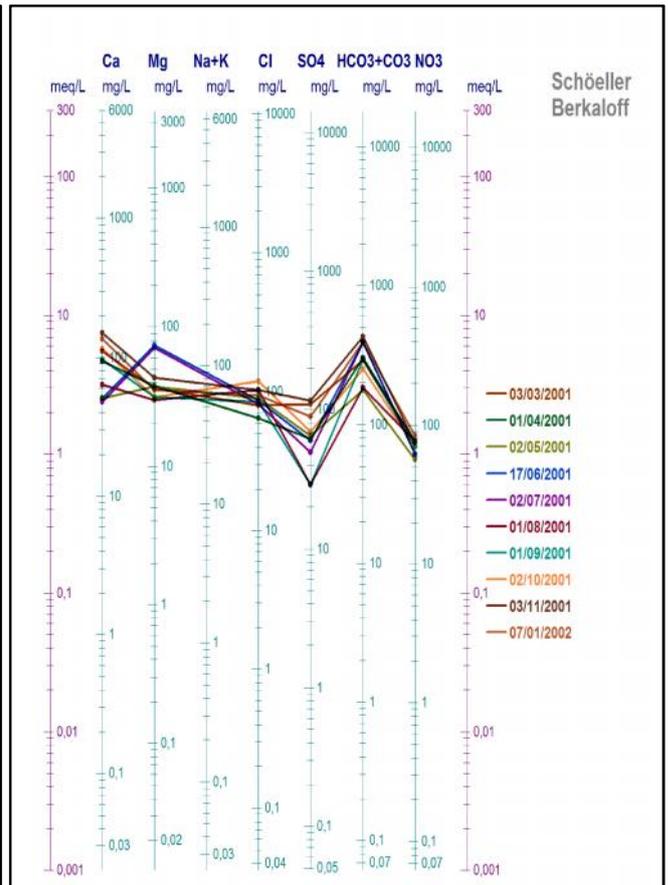
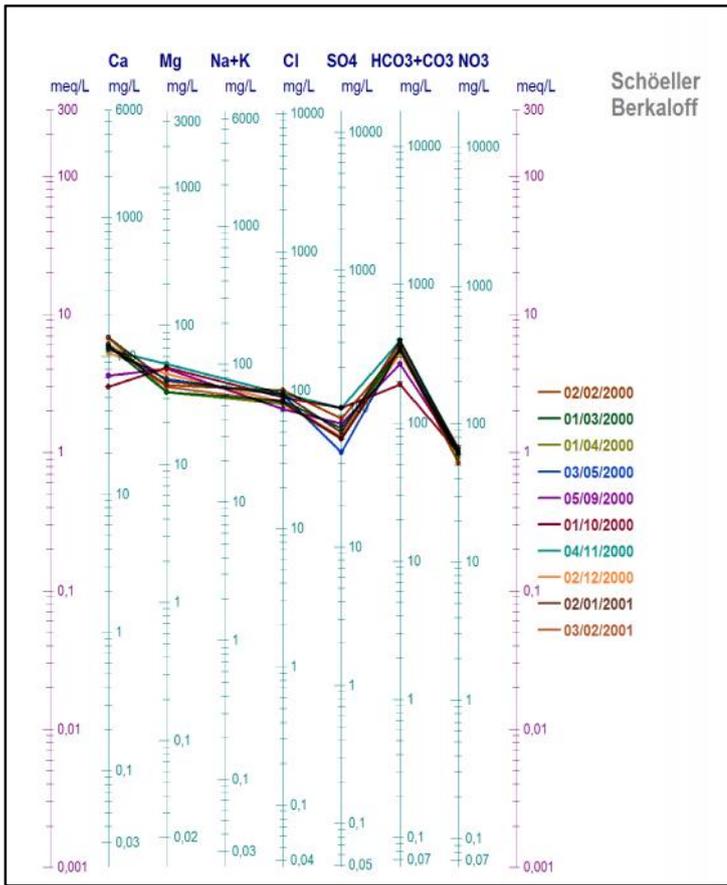
ANNEXES

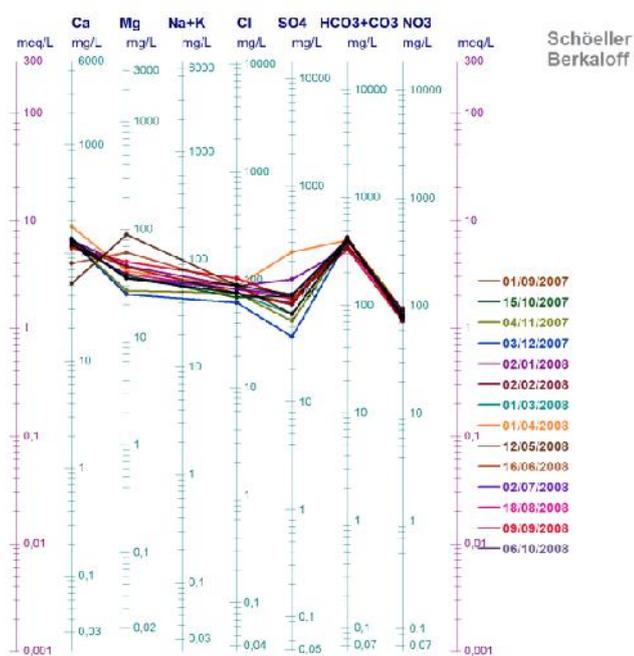
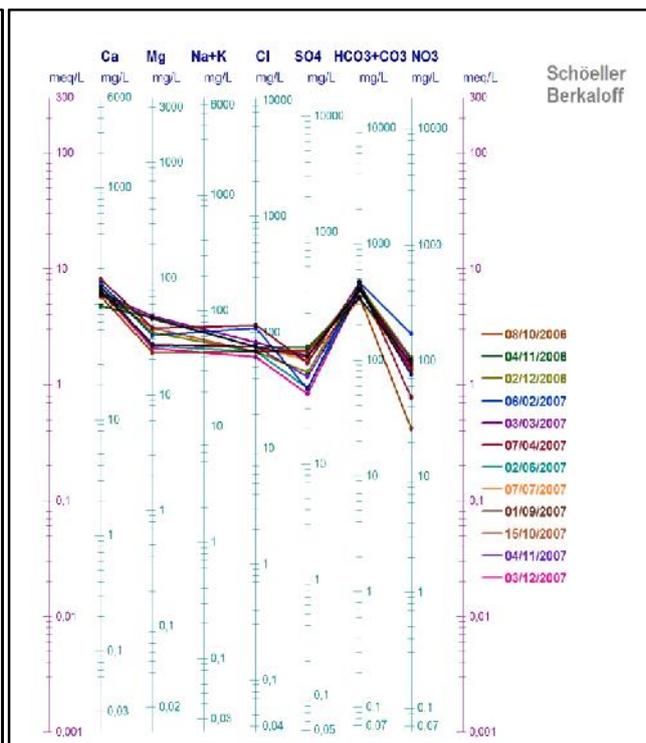
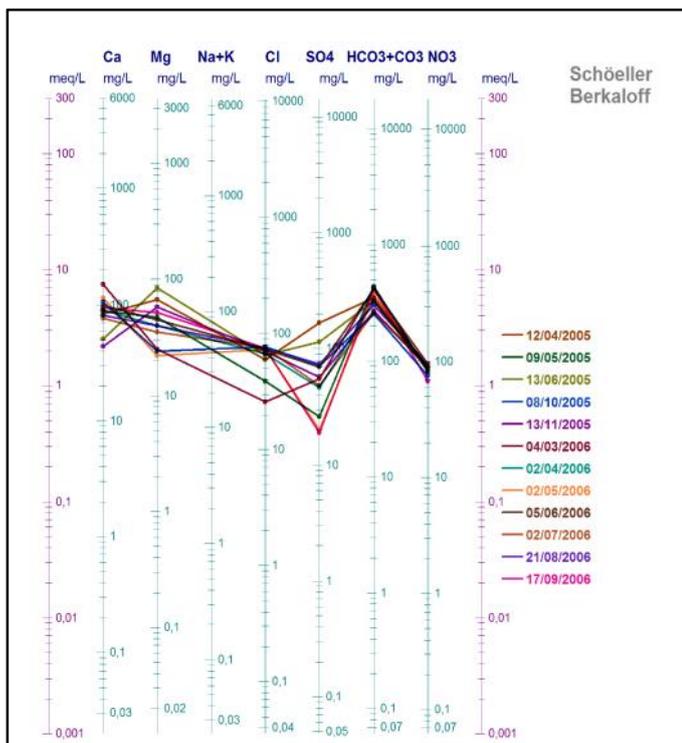
Tableau A : Précipitations moyennes annuelles de la période 1993 - 2011 (A.N.R.H.)

Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Moy.
1993-1994	11,5	6,4	80	11	135	84	cumul	49	38	0,5	6	2,3	423,7
1994-1995	17,5	35	43,2	14	33	72	252	11,2	5,6	19,2	0	2,5	505,2
1995-1996	15,6	43,4	20,7	82,5	123,4	106,1	119,9	52,1	54,9	21	10,8	9,8	660,2
1996-1997	36,2	26,9	0,2	39,2	119,6	0,1	15,4	104	0	0	0	0	341,6
1997-1998	54,4	29,4	73,3	100,5	39,2	52,2	62,2	34,5	79,4	0,8	0	2,3	528,2
1998-1999	14,1	6,9	46,4	16,9	164	94,4	120,8	0	0,4	7,4	0,5	2,7	474,5
1999-2000	40,4	34,1	93,7	105,2	0	0	2,4	26,6	36,4	0	0	0	338,8
2000-2001	21,6	108,9	68	47,9	84,2	80,2	7,9	11	28,6	7,8	0	0	466,1
2001-2002	43,7	51,4	158,2	35,1	2,3	14,8	40	120,6	78	0,7	0	32,8	577,6
2002-2003	0	45,4	105,8	30,8	173,3	103,4	19,6	49,5	14,1	5,8	0	0,4	548,1
2003-2004	14,2	72,3	63,8	139,4	50,3	25,5	115	44,2	90,7	14,9	3,3	3,7	637,3
2004-2005	1,8	32,2	44,5	88,7	26,6	71,4	72,1	27,4	5,2	5,1	0	1,6	376,6
2005-2006	20,5	31,7	56,4	24,5	79,3	95,7	32	39,3	74,5	1,9	5,5	0	461,3
2006-2007	36,6	15,7	7,9	71,7	29,8	46,3	52,8	127	15,2	0	0	0,8	403,8
2007-2008	21,5	93,7	66,6	14	34,7	22,1	20,1	24	71,1	7,2	1,3	0	376,3
2008-2009	58,7	97,6	106,9	202,3	175,5	50,2	39,5	54,5	21,7	5,5	4,5	0,2	817,1
2009-2010	95,3	2	59	60,9	64,5	82	118,7	50,9	40,1	20,6	0,8	11,1	605,9
2010-2011	24,3	98,7	61,5	45,4	47,6	53	28	93,4	102,6	20,2	0	10	584,7
Moy.	29,3	46,2	64,2	62,8	76,8	58,5	65,8	51,1	42,0	7,7	1,8	4,5	507,1

Tableau B : Température moyennes annuelles de la période 1993 – 2011 (Khelifi, 2012)

Années	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
1993-1994	22,3	19,6	15,6	11,7	10	11,4	13,5	14,8	19,5	22,6	28,2	27,8
1994-1995	21,5	20	17	14,3	10,9	12,9	13,7	15,3	20	21,7	25,4	26,3
1995-1996	21	17,3	15,3	13,4	13,6	11	13	15,7	18,1	22,9	25,1	24,9
1996-1997	23,2	20,5	15,9	12,6	12,3	12,3	13,6	16,8	19,1	22,4	23,4	24,7
1997-1998	23,7	17,7	14,5	10,3	11,5	12,9	13,8	15,2	17,3	23	25,8	26,8
1998-1999	23,1	20,6	13,1	11	11,1	10,1	13,2	15,8	19,9	23	25,8	26,8
1999-2000	23,3	17,8	14,3	13	8,7	12,6	13,7	15,5	19,6	24,1	26,1	26,4
2000-2001	23,2	21,5	13,3	10,1	12,1	11,5	15,8	16,2	18,7	24,8	26	26,6
2001-2002	22,7	18,8	13	13	10,4	11,9	14,2	15,6	18,4	22,9	25,3	25
2002-2003	23,1	19,4	14,6	11,4	10,1	10,5	14	15,2	19,1	24,6	27,1	27,2
2003-2004	23,8	20,5	12,7	10,4	11,2	12,3	12,6	14,4	16,7	23,2	26,2	27,1
2004-2005	22,1	19,5	14,6	11	7,3	8,3	12,8	14,8	20	23,4	26,1	26
2005-2006	23	20,7	16,5	11,4	9,4	10,5	14,2	17	20,1	22,4	27,2	26,1
2006-2007	22,7	18,6	13,6	10,6	10,4	13,3	12,5	14,4	19,1	22,2	25,5	25,8
2007-2008	23,4	19,3	12,4	9,7	11	12,3	13,7	16,9	18	22,7	26,6	26,6
2008-2009	22,1	20	16,9	13,8	10,3	10,6	13	13	19,5	23,8	27,6	26
2009-2010	23,7	18,3	14,3	12,8	12,1	13,6	13,7	16,3	18,7	22,2	26,6	27
2010-2011	23,3	19,3	14,8	10,5	10,1	10,6	13,3	17,5	19,9	23,4	26,3	27,2





Diagrammes de Schoeller Berkaloff de la Source Aïn El Hout de la période 2000-2008

