

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

UNIVERSITE AMMAR TELIDJI
- LAGHOUAT -



Faculté de Technologie
Département de génie civil

En vue de l'obtention du diplôme Master en hydraulique
Option : ressources en eau

Thème :

**Vulnérabilité et risque de pollution des eaux
souterraines de la nappe du synclinal
d'Aflou**

Présenté par:

Melle. DJAFRI Fatima

Promoteurs:

Mr. SAKOUM Mohammed

Mme. YAMANI Kheira

Membres De Jury:

Président : M.BOUACHE Mohammed

Examineurs 01:M.STAMBOUL Madani

02:M.HAMLAT.Abelkader

Promotion : 2014/2015

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Avant propos	
Liste des tableaux et Figues	
Résumé	
Introduction Générale	01

CHAPITRE I :

CADRE PHYSICO-GEOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DU SYNCLINAL D'AFLOU

I-1 Introduction	03
I -2 Situation géographique la région étudiée	03
I-3 Géomorphologie	04
I-4 Paramètres Géomorphologiques du bassin versant.....	05
I.4.1 Le Bassin Versant Hydrogéologique.....	05
I.4.2 Le Sous Bassin Versant	05
A. Les Paramètres Altimétriques	05
B. les paramètres de forme du bassin versant.....	06
B.1.Indice De Compacité De GRAVELIUS	06
B.2.Indice De Pente Globale (Ig).....	06
I.5. Les sous-bassins de la région	07
I.6. Conclusion	07

CHAPITRE II :

CLIMATOLOGIE DU SYNCLINAL D'AFLOU

II.1. INTRODUCTION :.....	08
II.2.Les précipitations :.....	08
II.2.1.Précipitations mensuelles	10
II.2.2.Etude de la pluviométrie saisonnière	11
II.3.Les températures	12
II.3.1.Températures moyennes mensuelles	12

II.4.Régime climatique	14
II.5.Le Déficit D'écoulement Ou Evapotranspiration	16
II.5.1.Evapotranspiration	16
II.5.2.Evapotranspiration potentielle ETP	16
II.5.3.Evapotranspiration réelle ETR	16
II.5.4.Formule de Turc	16
II.6.CONCLUSION	21

**CHAPITRE III :
GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT**

III.1. Introduction	22
III.2. Historique des travaux	23
III.3. Stratigraphie	27
III.3.1 Le Trias	27
A. Le Pointement des trias d'Ain Fourene	27
B. Le Pointement de Djebel Zlag	27
C. Le Pointement de Gourou	27
III.3.2. Le Jurassique	28
A. Le Kimméridgien	28
A.1. Kimméridgien gréseux	28
A.2. Kimméridgien Marno-calcaire	28
A.3 Le portlandien	28
III.3.3. Le Crétacé	29
A. Le Barrémien-valangenien	29
B. Albien – Aptien	29
C. Le cénomanien	29
D. Le Turonien	29
III.3.4. Le Tertiaire et le Quaternaire	30
A. Le Tertiaire	30
A.1. L'Oligocène	30
A.2. Miocène et pliocène	30
B. Le Quaternaire	30
III.4. Analyse Structurale	30
III.5. Coupe Géologique	34

III.6.Conclusion	37
------------------------	----

CHAPITRE IV :

CADRE HYDROGEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT

IV.1. Généralités	38
IV.2. Horizons Aquifères	38
IV.2.1 Le Quaternaire	39
IV.2.2 Aquifère du Turonien	39
IV.2.3 Aquifère du Complexe Gréseux	39
IV.2.4 Aquifère du Portlandien	39
IV.2.5 Aquifère du Kimméridgien	39
IV.3. Inventaire des Points D'eau	39
IV.4. Piézométrie	39
IV.5 Etude De La Nappe Valangenien –Barremien	41
IV.5.1 Structure Hydrogéologique	41
IV.5.2 Condition D'émergence Des Sources	41
IV.6 Conclusion	44

CHAPITRE V :

ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT

V.1. Introduction	46
V.1.1. Sous-Bassin de l'Qued Namous-Chellal	47
V.1.2. Bassin-Versant du chott Melghir	47
* Sous-bassin. Oued M'Zi Amont	47
V.1.3. Bassin Versant des hauts plateaux oranais	47
* Sous-Bassin de l'Oued Sidi-Nasseur	47
V.1.4. Bassin-Versant du Sahara	47
* Sous-Bassin de l'ERG occidental M	47
V.2. Réseau hydrographique	48
V.3. Bilan Hydrologique	48
V.3.1. Précipitation	49
* Bassin (01-01)	49
* Bassin (01-02)	49
* Bassin (06-01)	49

* Bassin (08-10)	49
* Bassin (13-01)	49
V.3.2. Evaporation	50
V.3.3. Ruissellement	50
V.3.4. Infiltration	51
V.4. Interprétation des Résultats	51
V.5 Infiltrations calculées par jaugeages différentiels.....	51
V.6- Conclusion	51

CHAPITRE VI :

HYDRODYNAMIQUE DE LA NAPPE DU SYNCLINAL D'AFLOU

VI.1. Caractéristiques Hydrodynamiques de la Nappe	52
VI.1.1 Méthodologie et Rappel des Equations	52
VI.1.2 La Méthode Semi-Logarithmique de C.E. Jacob	52
A. Forage Ain arar	53
B. Le niveau dynamique	53
* Sens de l'écoulement	54
* Gradient hydraulique	54
* Aquifère du Mio-pliocène	54
* Aquifère du turonien	54
* Aquifère du barrémien Aflou- Sebgag – Brida	54
VI.1.3 Interprétation de la Géophysique	55
VI.1.4 Echelle des Résistivités Adoptée	55
VI.1.5 Cartes des Résistivités Apparentes	56
VI.1.6 Carte de Résistivité Transversale	47
VI.2 Conclusion	58

CHAPITRE VII :

HYDROCHIMIE DES EAUX DE LA NAPPE DU SYNCLINAL D'AFLOU

VII.1 Introduction	59
VII.2 Mesures Physico-Chimiques	60

VII.2.1 Potentiel D'hydrogène PH	60
VII.2.2 Résidus Sec	60
VII.2.3 Conductivité	60
VII.2.4 Degrés Hydrométrique Total : DHT	61
VII.2.5 Potabilité Chimique Des Eaux	61
VII.2.5.1 Ion Calcium (CA++)	61
VII.2.5.2 Ion Magnésium (MG++).....	61
VII.2.5.3 Ion Chlore (CL-)	62
VII.2.5.4 Ion Sulfate (SO4--)... ..	62
VII.2.5.5 Ion Nitrate (NO3+)	62
VII.2.6 Représentation graphique des faciès hydro-chimiques	62
VII.2.6.1 Diagramme de PIPER	62
VII.2.6.2 Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF	63
VII.3 Caractères Chimiques et Potabilité des Eaux	71
VII.4 Potabilité des eaux d'Après le Diagramme Logarithmique	71
VII.5 Cartographie Hydro chimique	78
VII.5.1 Rapport Caractéristique Mg /Ca	72
VII.5.2 Rapport Caractéristique S04- /Cl-	72
VII.5.3 Rapport Caractéristique Cl- / HC03-	73
VII.6. Aptitude des eaux a L'irrigation	73
VII.6.1 Introduction	73
VII.6.2 Caractérisation des eaux pour l'irrigation	73
A. Classification des eaux par la méthode de Wilcox	74
VII.7.Conclusion	78

CHAPITRE VIII :

ETAT DE LA POLLUTION DE LA NAPPE DU SYNCLINAL D'AFLOU

VIII.1 Introduction	79
VIII.2 Les principales sources de pollution	79
VIII.3 Pollution agricole	79
VIII.3.1 Les Produits Phytosanitaires	80
A. Les Herbicides	80
B. Les Pesticides	80
C. Les Fongicides	80

VIII.4 Impact de l'activité agricole	81
VIII.4.1 Production Des Nutriments	81
L'élevage	82
Les engrais azotes	82
Le fumier	82
VIII.4.2 Etude De L'évolutions De Teneurs Des Nitrates	83
- Répartition Spatiale Générale	83
- Origine des nitrates	84
- Évolution des nitrates dans le temps	84
VIII.5. l'Influence des rejets urbains	84
- Apport Des Nitrates	84
VIII.6 Conclusion	85

CHAPITRE IX :

ETUDE DE LA VULNERABILITE DE LA NAPPE DU SYNCLINAL D'AFLOU

IX.1. Introduction	86
<i>IX.2. Aspect Théorique Et Pratique De La Méthode Drastic</i>	87
<i>IX.3. Le Système De Notation Applique</i>	90
<i>IX.4. Calcul De L'indice Drastic</i>	90
<i>IX.5. Interprétation De L'indice DRASTIC</i>	90
<i>IX.6. Concept D'unité Hydrogéologique</i>	90
<i>IX.7. Description Des Paramètres DRASTIC</i>	91
IX.7.1 Profondeur de l'eau	91
IX.7.2 La recharge nette	91
IX.7.3 Nature du matériel aquifère	91
IX.7.4 Type de sol	92
IX.7.5 Topographie	93
IX.7.6 Impact de la zone non saturée	93
IX.7.7 Conductivité hydraulique	93
IX.8. Utilisation de SIG	94

IX.9.1 La recharge efficace	96
IX.9.2 Nature de la zone saturée	97
IX.9.3 La nature du sol	98
IX.9.4 La topographie (pente)	99
IX.9.5 Nature de la zone non saturée (vadose)	100
IX.9.6 La perméabilité	101
IX.9.7 Carte de synthèse	102
IX.10. Conclusion	103
CONCLUSION GENERALE	104

L'impact sur l'environnement est l'une des préoccupations majeures dans notre monde contemporain qui ne cesse de s'évoluer technologiquement au vu de l'avancement du concept humain et l'esprit de créativité.

La définition la plus courante de l'environnement se détermine sur les éléments et les caractéristiques nécessaires qui entourent et assurent la vie humaine et par conséquent, la vie de toute espèce vivante.

Delà, il convient de dire que le rapport relationnel entre « la substance vitale pour la vie humaine qu'est l'eau d'une part et le perfectionnement technologique graduel d'autre part » constitue parfois une complémentarité tout à fait compatible dans la vie et parfois, une incompatibilité percutante non seulement sur l'environnement, mais aussi sur le milieu social dont l'homme en est la cause.

Le développement économique des pays assujetti à la croissance du « capital » avait rendu les décideurs de premier rang très restreints dans leurs idées en ne projetant en l'occurrence, qu'aux moyens de développement économique sans y réfléchir toutefois sur les conséquences subies.

Il serait donc nécessaire d'investir dans le domaine de la préservation de l'environnement, particulièrement, les eaux souterraines qui risquent la contamination à cause du rejet des déchets liquides et solides, outrepassant toute loi naturelle.

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
Tableau II- 01	Coordonnées de la station pluviométrique d'Aflou	08
Tableau II-02	Précipitations moyennes annuelles à la station d'Aflou	09
Tableau II-03	Précipitations moyennes mensuelles période 1990-2011	10
Tableau II-04	Précipitations saisonnières pour la période (1990/2011)	11
Tableau II-05	Températures moyennes mensuelles et annuelles	12
Tableau II-06	Valeurs de l'ETP et l'ETR obtenues par différentes méthodes	20
Tableau VI-01	échelle des résistivités des différentes formations	55
Tableau VI-02	perméabilité et transmissivité (source Stamboul Madani)	57
Tableau VII-1	Paramètres Physico-chimiques et Métaux lourds	59
Tableau VII-2	échantillons analysées pour chaque nappe	60
Tableau IX- 3	Poids et propriétés des paramètres DRASTIC.	89
Tableau IX- 4	Notation et pondération du paramètre de la profondeur	94
Tableau IX- 5	Notation et pondération du matériau aquifère.	96
Tableau IX- 6	Notation et pondération de la nature du sol.	98
Tableau IX- 7	Notation et pondération du facteur de la pente	99
Tableau IX- 8	Notation et pondération de la couche vadose.	100
Tableau IX- 9	Classes et notations retenues pour la perméabilité.	101

LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
Figure I-01	Situation Géographique du secteur d'étude dans les Monts du Djebel Amour	03
Figure I-02	Carte représente le synclinal d'Aflou	04
Figure I-04	courbe hypsométrique	05
Figure II-01	Précipitations mensuelles (1990-2011)	10
Figure II-02	Régime saisonnier de précipitations Période 1990-2011	10
Figure II-03	Variation mensuelle de température à la station d'Aflou (période 1991 – 2011)	11
Figure II-04	Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne	15
Figure II-05	Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne	18
Figure II-06	Abaque de VERDEIL	19
Figure III-1	Situation géographique de la région étudiée	22
Figure III-2	Carte géologique de la zone d'étude établie par assemblage des cartes géologiques sur MapInfo	26
Figure III-3	Séries et formations du Jurassique supérieur de l'Atlas Saharien Central. (D'après S. Abed, 1982)	31
Figure III-4	Colonne stratigraphique synthétique de l'Atlas Saharien Central (d'après Guillemot et al, 1974 ; notice de la carte géologique de Laghouat, non publiée)	32
Figure III-5	Colonne lithostratigraphique synthétique de la région d'étude (Djebel Ammor) (Nouar, 1992)	33
Figure III-6	La carte géologique de la région d'étude (Djebel Amour, près d'Aflou) (d'après la carte géologique au 1/200.000 de Laghouat, feuille J-K 9-10).	34
Figure III-7	Coupes sériées à travers les structures du Djebel Amour (zone d'étude) (Nouar, 1992)	36
Figure III-8	Coupes Géologique (Nouar, 1992)	37
Figure IV-1	Localisation des points de prélèvement de la nappe	38
Figure IV-2	Carte piézométrique de la région d'Aflou Piézométric map of the Aflou région	40
Figure IV-3	Carte géologique simplifié de la région d'Aflou (Source Stamboul 2001)	42

LISTE DES FIGURES

Figure IV-4 (1)	Log hydrogéologique nappe du synclinal d'Aflou	43
Figure IV-4 (2)	Log hydrogéologique nappe du synclinal d'Aflou	44
Figure V-1	Localisation de la nappe du synclinal d'Aflou - source ANRH	46
Figure V-2	Réseau hydrographique au niveau de la nappe d'Aflou	48
Figure VII-01	Représente des analyse chimique sur le diagramme de piper	64
Figure VII-02	Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF	64
Figure VII-03	Représente des analyse chimique sur le diagramme de piper 2008	65
Figure VII-04	Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF ville d'Aflou	65
Figure VII-05	Représente des analyses chimiques sur le diagramme de piper 2009	66
Figure VII-06	Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF ville d'Aflou	66
Figure VII-07	Représente des analyses chimiques sur le diagramme de piper 2010	67
Figure VII-08	Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF ville d'Aflou	67
Figure VII-09	Représente des analyses chimiques sur le diagramme de piper 2011	68
Figure VII-10	Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF ville d'Aflou	68
Figure VII-11	Représente des analyses chimiques sur le diagramme de piper 2012	69
Figure VII-12	Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF ville d'Aflou	69
Figure VII-13	Représente des analyses chimiques sur le diagramme de piper 2013	70
Figure VII-14	Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF ville d'Aflou	70
Figures VII-15	Évolution de la qualité des eaux selon le diagramme de Wilcox (2007-2008)	75
Figures VII-16	Évolution de la qualité des eaux selon le diagramme de Wilcox (2009-2011)	76
Figures VII-17	Évolution de la qualité des eaux selon le diagramme de Wilcox (2012-2013)	77
Figure VIII-01	Les étapes successives de la nitrification	81
Figure VIII-2	Évolution des nitrates en fonction des chlorures, pour la période.	89
Figure VIII-3	Évolution des nitrates en fonction des chlorures, pour la période	91
Figure IX-1	Carte PIÉZOMÉTRIQUE 2012 surfer	94
Figure IX-2	Carte indice de profondeur	94

LISTE DES FIGURES

Figure IX-3	Carte indice de recharge	95
Figure IX-4	Carte indice de la zone saturée surfer	97
Figure IX-5	Carte indice de sol	98
Figure IX-6	carte de pente	99
Figure IX-7	indice de la zone vadose	100
Figure IX-8	Carte indices de perméabilités de la nappe du synclinal d'Aflou	101
Figure IX-09	indice de vulnérabilité de la nappe du synclinal d'Aflou	102

هذا الموضوع يتمثل في دراسة القابلية للتلوث للمياه الجوفية بمنطقة أفلو، حيث تتأثر هذه الأخيرة بمختلف مصادر التلوث الناتجة عن التطور في (العمران، الصناعة، تربية المواشي، النفايات العشوائية، النشاط الزراعي، ...) حيث هذا التطور جعل الطلب على المياه في ازدياد مستمر، مصحوبا بتلوث الأودية و المياه الجوفية، التي تصعب تنقيتها إن تلوثت، وبالتالي تصبح حمايتها مطلب أساسي. دراسة قابلية المياه الجوفية للتلوث تعتبر وسيلة فعالة لمراقبة التلوث و الحد من مخاطر تدهور نوعية المياه الجوفية بمنطقة أفلو. إن تقدير القابلية للتلوث للمياه الجوفية بانجاز خرائط بسيطة تسهل قراءتها و تحديد المناطق التي تتأثر أكثر بالتلوث، ويتطلب حمايتها.

كلمة مفتاح: القابلية للتلوث، المياه الجوفية، أفلو، التلوث،

Résumé

Le présent travail traite la vulnérabilité et risques de pollution de la nappe du synclinal d'Aflou menacées par de nombreux foyers de pollution (urbanisations, industrie, élevages, décharges sauvages, activité agricole, etc.) ont abouti à une augmentation de la demande en eau, accompagnée d'une pollution des oueds et nappes d'eaux souterraines. étant donné les coûts importants que nécessitent la restauration des aquifères contaminés. La protection des eaux souterraines devient alors primordiale.

L'étude de la vulnérabilité à la pollution des ressources en eau se présente comme un outil efficace pour limiter et contrôler les risques de dégradation de la qualité des eaux. Notre travail consiste à estimer la vulnérabilité à la pollution des aquifères du synclinal d'Aflou, et l'élaboration d'un document cartographique, dont la simple lecture permet de localiser les zones où la nappe présente une vulnérabilité élevée, et donc, les zones où des protections soutenues s'imposent.

Mot clé : synclinal d'Aflou, Vulnérabilité, pollution, DRASTIC, nappe, SIG

Abstract:

This work handle the vulnerability and the risk of the synclinal of Aflou groundwater pollution, threaten by several sources of pollution (urbanization, industry, breeding, rubbish dump, agriculture activity, etc..) that increase water demand and groundwater pollution. As the price needed to the contaminated aquifers restoration is important, the protection of groundwater becomes then primordial.

The study of vulnerability to water resources pollution present the best tool to limit and control the risk of water quality degradation. Our work consists to estimate the vulnerability to aquifer pollution of the synclinal of Aflou and the elaboration of vulnerability maps easy to read it and to localize the very important vulnerable zone where its protection is needed.

Key Word: synclinal of Aflou, aquifer, Vulnerability, pollution, DRASTIC, Groundwater, GIS

INTRODUCTION GENERALE

Dans ce contexte, L'application de cette méthodologie ne peut être possible sans l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG), en raison de la masse très importante des données nécessaires, notamment, dans le cas de nappes d'extension régionale. Les eaux souterraines de la nappe représentent une excellente source en eau potable, d'irrigation et d'eaux industrielles. La filtration naturelle constituée par les matériaux géologiques, produit le plus souvent une eau de meilleure qualité. Le maintien de cet avantage requiert, cependant que des mesures qui doivent être prises pour préserver de façon durable la qualité du réservoir naturel.

La pollution des eaux souterraines présente des caractéristiques en faveur de la contamination de leurs eaux. Elle vise à mettre en évidence la vulnérabilité et les risques de pollution chimique que peut présenter le système aquifère du synclinal d'Aflou.

Dans ce modeste travail, nous allons présenter nos observations et interprétations, pour essayer de répondre à plusieurs questions, dont les principales sont les suivantes :

- la nature du réservoir souterrain du synclinal d'Aflou,
- l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines,
- le risque et la sensibilité du système vis-à-vis de la pollution,
- les polluants chimiques existants dans les eaux souterraines et leurs origines.

Pour répondre à ces questions, nous avons essayé de localiser sur des cartes les zones vulnérables et celles à niveau de risque élevé, quant à la pollution chimique d'une eau contenue dans un réservoir sableux, et de présenter un inventaire des causes de pollution réelles ou potentielle d'origine naturelle ou anthropique.

Le plan de travail concernant le mémoire en suspens et réparti en neuf chapitres qui sont les suivants :

- Chapitre I : Cadre Physico-Géographique Du Bassin Versant Du Synclinal D'Aflou
- Chapitre II : Climatologie Du Bassin Versant
- Chapitre III : Géologie Du Bassin Versant
- Chapitre IV : Cadre Hydrogéologique Du Bassin Versant
- Chapitre V : Etude Hydrologique Du Bassin Versant
- Chapitre VI : Hydrodynamique De La Nappe Du Synclinal D'Aflou
- Chapitre VII : Hydrochimie Des Eaux De La Nappe Du Synclinal D'Aflou
- Chapitre VIII : Etat De La Pollution De La Nappe Du Synclinal D'Aflou
- Chapitre IX : Etude De La Vulnérabilité De La Nappe Du Synclinal D'Aflou

CHAPITRE

I

CADRE PHYSICO-GEOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT
DU SYNCLINAL D'AFLOU

I.1.INTRODUCTION :

La région d'Aflou, ou Djebel Ammor, avec son relief, était l'un des remparts solides.

Cette zone réputée par son agro- pastoralisme, l'art du tissage de la laine, de la broderie sur cuir, la dinanderie etc..., s'apprête aujourd'hui, à livrer une autre bataille, celle de l'industrialisation, de l'agriculture.[1]3

I.2.SITUATION GÉOGRAPHIQUE DE LA RÉGION ÉTUDIÉE :

La région étudiée chevauche deux Wilayates à savoir Laghouat et El-Bayadh, avec deux daïras, Aflou et Brida appartenant à la première, et la daïra de Boualem appartenant à la deuxième wilaya.

La prospection d'aquifères importants et l'évaluation des ressources en eau dans la zone de l'Atlas Saharien. La région d'Aflou, ou du Djebel Ammor, dispose d'un relief impressionnant, était l'un des remparts solides, contre l'avancée coloniale. [1]3

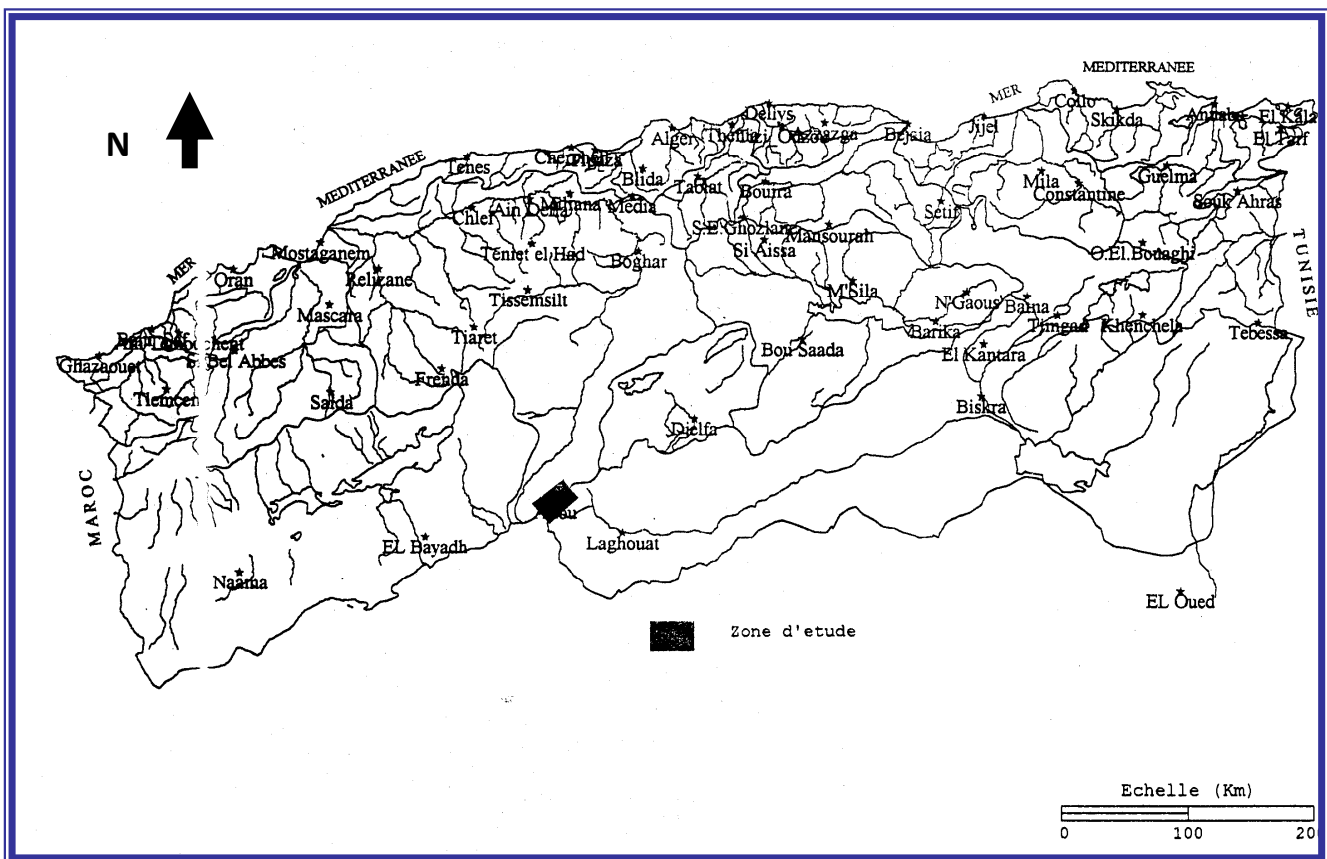


Figure I-01-: Situation de la ville d'Aflou par rapport à l'Algérie du nord

(Source : Said Abed 1989)

La région d'Aflou est située au cœur de l'atlas saharien et en même temps, elle est la capitale du Djebel Ammor. Elle est à environ 500 kilomètres de la capitale (Alger) et se trouve presque à mi-chemin des quatre grandes villes, Laghouat, Djelfa, Tiaret et El-Bayadh.[1]4

Elle est le chef lieu de la daïra, appartenant à la wilaya de Laghouat. Elle est située au Nord -ouest du chef lieu de la wilaya. La commune d'Aflou est limitée par:

- Nord par la commune de Gueltat Sidi Saad et Nord-est par la commune de Sidi-Bouزيد
- Est par les communes de Oued Morra et Oued M'zi
- Sud par la commune d'El-Ghicha
- Ouest par la commune de Sebgag

1.3. GÉOMORPHOLOGIE:

Sur un plan purement hydrographique, les crêtes du Djebel Ammor dessinent une ligne de partage des eaux qui pour les unes vont rejoindre les Dhayas, les Sebkhass et les Chotts parsemés sur les Hauts Plateaux Oranais. Tandis que les autres, sont à l'origine des Oueds qui circulent sur la Hamada avant d'aller se perdre en bordure des sables du Grand Erg.[1]

Dans leur grande majorité, les cours d'eau issus de l'Atlas répondent bien à leur appellation d'oueds, puisqu'ils sont à sec durant la majeure partie de l'année.

Cependant, certains sont régulièrement alimentés par le déversement des nappes souterraines.

Ils sont bien définis par la pente générale assez forte vers le sud. Dans ce cas, les oueds ne participent que faiblement au déblaiement des produits issus de l'érosion qui constituent de vastes glacis faiblement entaillés par les eaux au pied des Djebels. [1]



Figure I-2 : carte représentant les reliefs topographiques (source : Google -Earth)

I.4 PARAMÈTRES GÉOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT:

I.4.1 Le Bassin Versant Hydrogéologique :

Les altitudes du bassin considérées sont comprises entre 1500 m au Djebel Mzara, 1710 m au Djebel Sidi Okba et 1400 à l'exutoire du bassin versant, nous prenons une moyenne de 1555m pour l'ensemble du bassin.

L'étude morphométrique nous a permis de dégager quelques paramètres caractéristiques qui ont une influence sur la circulation de l'eau à l'intérieur de ce bassin.

L'étude des courbes altimétriques montre un relief assez élevé au Sud-est ainsi qu'au Nord-ouest. Les reliefs s'élèvent du Djebel M'zara ainsi que du Djebel Sidi Okba sur les bordures du bassin provoquant des écoulements assez rapides des eaux en un temps de concentration assez court. [1]

I.4.2 Le Sous Bassin Versant :

A. Les Paramètres Altimétriques :

L'établissement de la courbe hypsométrique par la méthode statistique pour le sous bassin versant étudié va nous permettre d'apprécier l'importance de l'effet du relief sur le comportement hydrologique.

Le tracé de la courbe hypsométrique est obtenu en remplaçant les surfaces cumulées en (%) en ordonnée et les altitudes en abscisse. Il permet de:

- déterminer graphiquement l'altitude médiane (Altitude de fréquence $\frac{1}{2}$ à partir de l'ordonnée 50% de la surface située au dessous et 50% au dessus .est située à (1575m).

- calculer l'altitude moyenne H donnée par la formule

$$H = \frac{\sum S \times h}{\sum S}$$

S : aire des tranches altitude en (km²)

St : Aire totale du sous bassin en (km²)

h : Altitude moyenne (m) des tranches d'altitudes compris entre deux courbes de niveau .H=1200 m

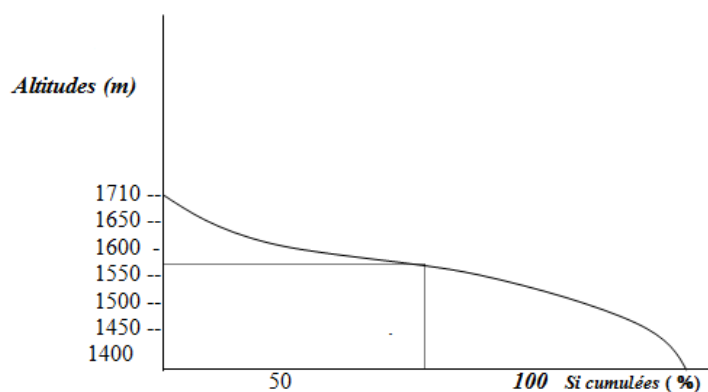


Figure I- 4 : courbe hypsométrique du sous bassin

B. les paramètres de forme du bassin versant:

L'exutoire d'un bassin versant est largement influencé par la forme de celui-ci.

En effet, la superficie, les conditions physiques et le relief sont constants. Un bassin de forme allongée ne réagit pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée. La montée des crues est plus rapide dans le cas de bassins compacts, ce qui aura pour effet de diminuer l'infiltration, d'où les nappes s'alimentent si elles existent. [1]

B.1. Indice de Compacité de GRAVELIUS :

L'indice de compacité de Gravelius est le rapport du périmètre (P) du sous bassin à celui d'un cercle de même surface (A).

La valeur de cet indice donne une idée sur la vitesse de concentration des eaux de ruissellement à l'exutoire. [1]

il est obtenu à l'aide de la relation suivante :

$$K = 0,28P / \sqrt{A}$$

P = périmètre du bassin versant en (Km)

A = superficie en (Km²)

B.2. Indice de Pente Globale (Ig):

L'indice de pente globale peut être calculé à partir de la formule suivante :

$$I_g = (H_{05\%} - H_{95\%}) / L \quad \text{d'après la courbe hypsométrique:}$$

$$H_{5\%} = 1690 \text{ m}$$

$$H_{95\%} = 1420 \text{ m}$$

$$L = 12 \text{ km}$$

$$I_g = 0.0225$$

Dénivelée spécifique :

$$D_s = I_g \cdot A^{1/2}$$

I_g : L'indice de pente globale (m/Km)

A : superficie du BV (Km²)

D_s = 194.3 (100m < D_s < 200m donc un relief assez fort)

1.5. LES SOUS-BASSINS DE LA RÉGION :

La région étudiée fait partie de cinq (05) sous-bassins versants :

Parmi eux,

- deux appartenant au Sud du bassin-versant de Oued Chlef dont,

-un bassin-versant de Oued SEBGAG - BERKANA,- 01 - 01

-un bassin-versant de Oued NAMOUS - CHELLAL,- 02 - 02

Un bassin appartenant au bassin du Chott Melghir: Bassin-versant de Oued Mzi Amont, 06-01.

Un bassin des hauts plateaux oranais: Bassin-versant de Oued Sidi Naceur-Amont, 08 - 09

Un grand bassin du Sahara : Bassin-versant de l'Erg occidental, 13-01 .

D'après les paramètres morphologiques des bassins, les sous-bassins versants de la région étudiée sont à forme ramassée, d'où la vitesse d'écoulement est élevée, ce qui permet l'arrivée des eaux rapidement à l'exutoire, d'où l'infiltration est limitée.[2]

Ceci n'est pas valable pour le bassin de Oued Namous - Chellal, qui est peu compact, d'où la vitesse de concentration du ruissellement est élevée à l'exutoire, ce qui explique que l'infiltration est faible.

Un allongement modéré du bassin menant au développement d'une érosion linéaire. [2]

En ce qui concerne les reliefs, l'altitude moyenne est d'environ 1555 mètres (altitude de la ville d'Aflou).

-L'altitude maximale (1977m - TOUILET MEKNA), qui est situé au Sud Ouest d'Aflou

-L'altitude minimale (1100 m - OUED MOUDJAHEDINE), au Sud-ouest d'Aflou .[2]

Oued Sebgag (l'affluent le plus important de Oued Chlef : le cours d'eau le plus important de l'Algérie). Superficie du bassin 126, 5 km², il est alimenté par les sources de la dépression de Sebgag avec un débit moyen de 500 l/s. [2]

1.6. CONCLUSION :

L'étude morphologique de la région nous a permis de déterminer les caractéristiques hypsographiques du bassin versant étudié.

Ces caractéristiques physiographiques doivent se compléter par une reconnaissance géologique de la région ainsi que celle du couvert végétal qui l'occupe afin de mieux cerner les modalités des écoulements superficiels et souterrains à l'intérieur du bassin.

CHAPITRE

II

CLIMATOLOGIE DU SYNCLINAL D'AFLOU

II.1.Introduction :

La source d'alimentation de l'eau souterraine est l'infiltration qui renouvelle l'eau des réservoirs souterrains et entretient, par son circuit dans les aquifères, le débit de l'écoulement souterrain [2]

II.2.Les précipitations :

Tableau .II.1 : Coordonnées de la station pluviométrique d'Aflou

Station	Longitude	Latitude	Altitude(m)	Installation
Aflou	2°6'8'' E	34°6'46''	1406	1874

La pluviométrie demeure le paramètre le plus important, elle conditionne l'écoulement saisonnier, le régime des cours d'eau et l'alimentation des nappes d'eau souterraines. [2]

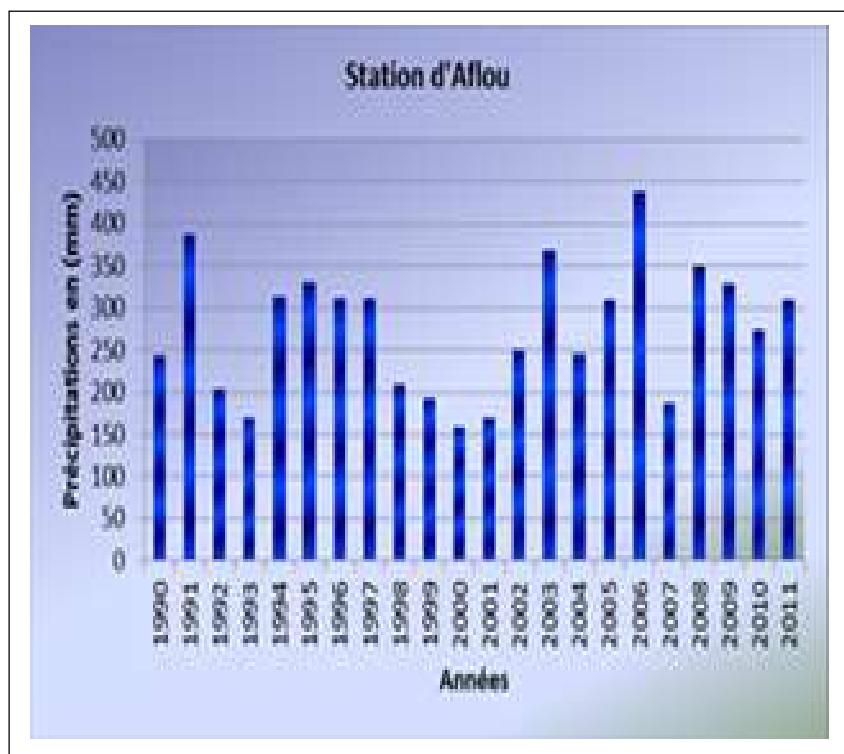
Variation de la pluviométrie annuelle :

Nous nous disposons des données concernant la station d'Aflou pour la période 1990 – 2011. Ces données sont fournies par l'ANRH et présentent de nombreuses lacunes.

La figure visualise l'évolution de la pluviométrie annuelle sur une période de 21 ans (1990/ 2011) où l'on remarque que les hauteurs maximales des précipitations atteignent 438,62mm au niveau de la station d'Aflou au cours de l'année 2006 tandis que les hauteurs minimales de l'ordre de 159 mm ont en 2000. La moyenne est de 275,17 mm[2]

Tableau II.2 : Précipitations moyennes annuelles à la station d'Aflou

Année	Aflou
1990	243,8
1991	387
1992	202,79
1993	168,89
1994	313,29
1995	330,6
1996	311,19
1997	310,6
1998	210
1999	191,5
2000	159
2001	168,9
2002	248,3
2003	368,2
2004	245
2005	309,49
2006	438,62
2007	186,22
2008	348,7
2009	328,24
2010	273,81
2011	309,70



II.2.1. Précipitations mensuelles :

Les variations moyennes mensuelles des précipitations à Aflou pour la période 1990-2011 sont portées dans le tableau suivant.[3]

Tableau II.3: Précipitations moyennes mensuelles période 1990-2011

Stations	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	Cumul annuel
Aflou	33,01	31,71	24,09	26,59	24,63	12,10	11,89	15,05	27,77	24,17	18,74	24,78	274,53

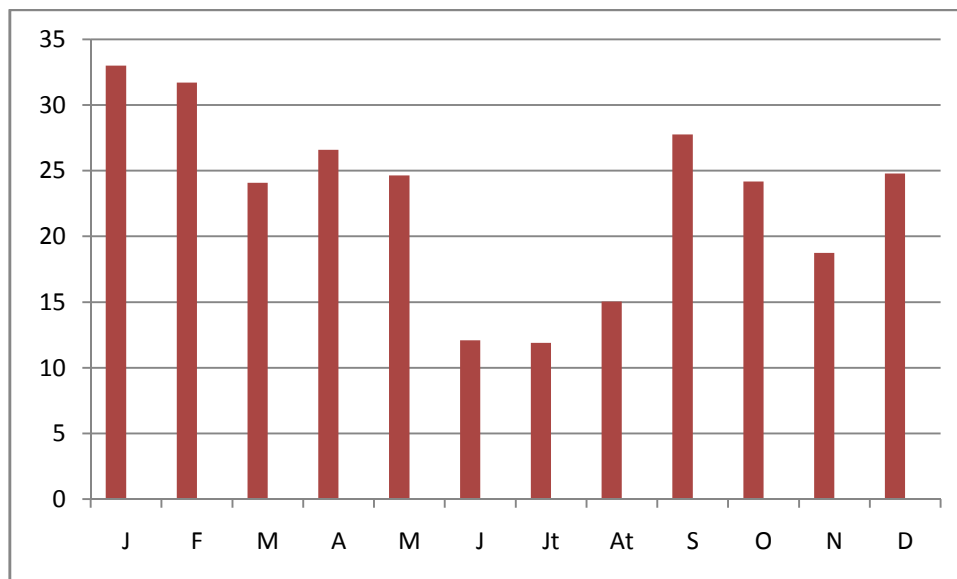


Figure II.1: Précipitations mensuelles (1990-2011)

Les histogrammes de la figure, représentent la répartition des précipitations moyennes mensuelles des stations Aflou relative à la période 1990/2011. Janvier le mois le plus pluvieux avec une lame précipitée de 33,01mm. Le minimum apparaît en Juillet avec 11,89mm.[3]

II.2.2.Etude de la pluviométrie saisonnière :

Tableau II.4 : Précipitations saisonnières pour la période (1990/2011)

	Moyenne saisonniere	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Indice Saisonnier
Aflou	mm	89,5	75,31	39,04	70,68	HPAE
	%	32,6	27,43	14,22	25,75	

La répartition saisonnière de la pluviosité montre que pour :

Au niveau de la station d'Aflou, l'Hiver est la saison la plus humide avec un pourcentage 32% ; tandis que en période estivale les elle est de 14 % des précipitations annuelles. [4]

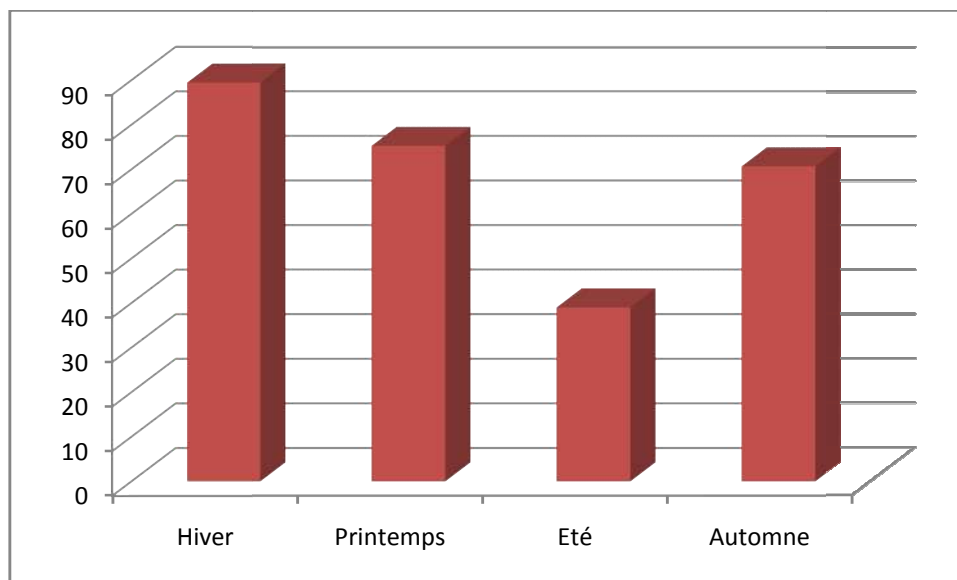


Figure II.2 : Régime saisonnier de précipitations Période 1990-2011

II.3. Les températures :

La température est un facteur très important régissant les facteurs climatiques et intervenant dans de nombreux calculs d'évapotranspiration. [4]

II.3.1. Températures moyennes mensuelles :

On dispose des données de températures moyennes mensuelles et annuelles de la station d'Aflou pour une période de 21 ans (1990/2011) et celles d'une période de 25 ans d'après SELTZER. Ces données sont mentionnées dans le tableau suivant : [4]

Tableau II.5 : Températures moyennes mensuelles et annuelles

Station	Période	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	Moy.
Aflou	1913-1938	4,3	3,5	8,3	10,85	18,7	20,4	24,35	23,95	19,05	13,95	8,75	4,8	13,4
	1990-2011	3,9	4,4	8,05	10,75	16,05	19,3	24,2	24,75	20,75	15,2	10,6	5,65	13,63

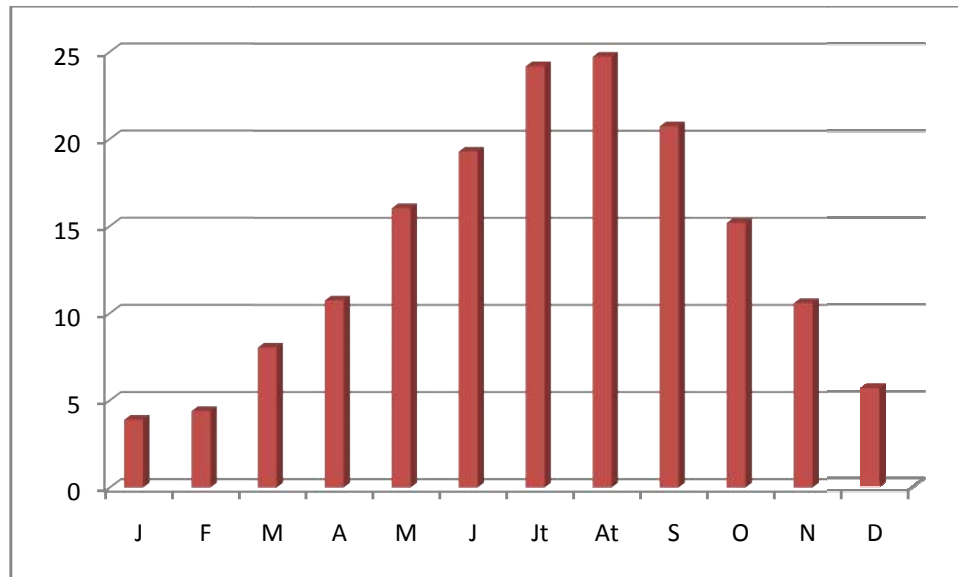


Figure II.3 : Variation mensuelle de température à la station d'Aflou (période 1991 – 2011)

La figure montre que la température moyenne est de 13.63 °C pour la période 1990 – 2011 et de 13.4 pour la période 1913 - 1938, les températures moyennes faibles à la station d'Aflou s'observent au mois de Janvier, elles sont de l'ordre de 3,9°C et 4,3°C. Tandis que les températures moyennes fortes s'observent aux mois de juillet avec 24,35°C et d'Août avec 24,75°C. Concernant les séries de la période 1990-2011, L'écart thermique entre le mois chaud et le mois froid varie de 20,85 °C pour la station d'Aflou. [5]

II.4.Régime climatique :

Indice de Martonne :

En se basant sur le régime des précipitations et des températures De ARTONNE (1923) a défini un indice d'aridité "A".

$$A = \frac{P}{T+10}$$

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : température moyennes annuelles (°C)

Pour $A < 5$: climat hyperaride

$5 < A < 7,5$: climat désertique

$7,5 < A < 10$: climat steppique

$10 < A < 20$: climat semi-aride

$20 < A < 30$: climat tempéré

L'indice d'aridité est de l'ordre de 11,61 à Afloou indiquant donc un climat semi-aride.[5]

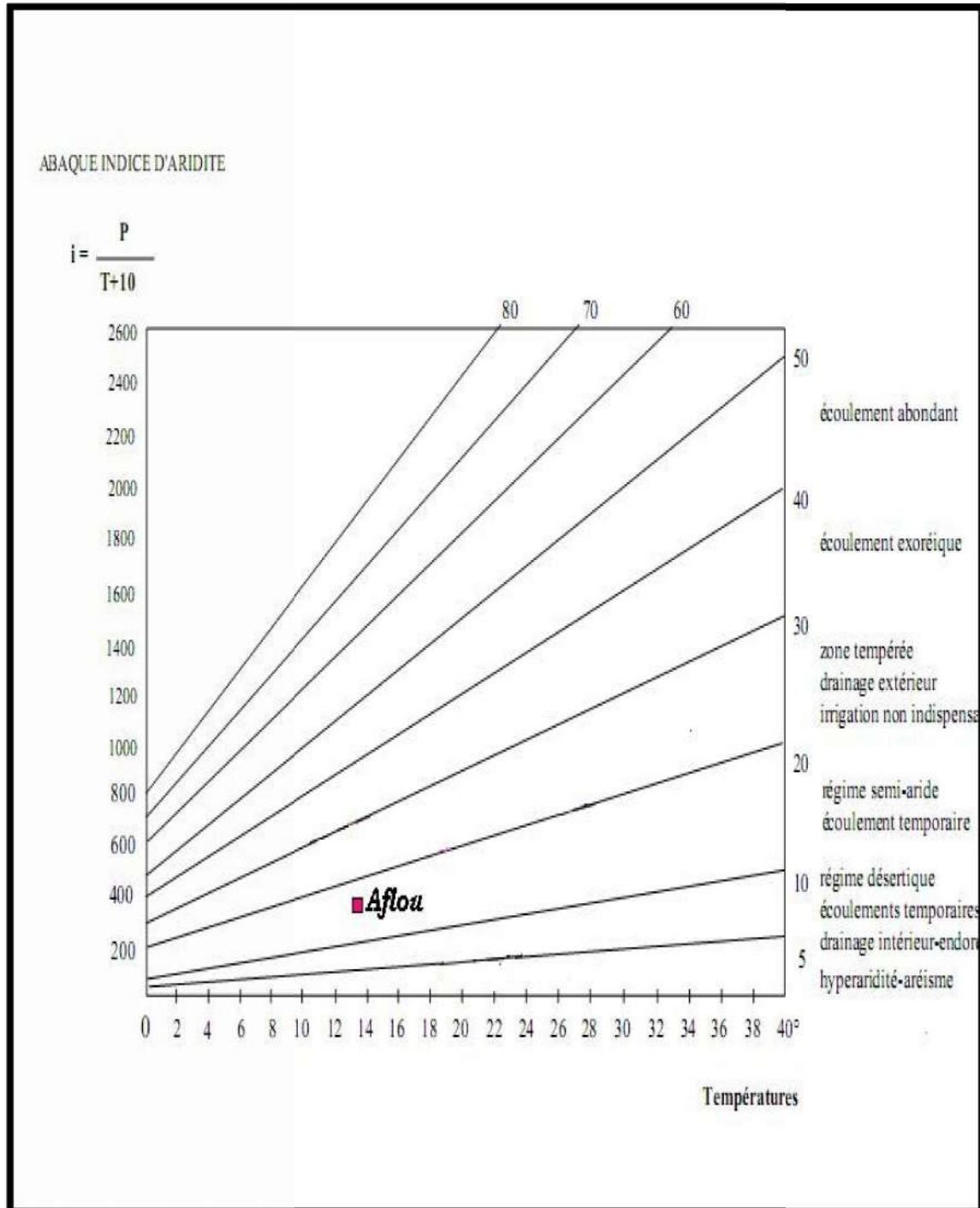


Figure .II.4: Abaque de l'indice d'aridité annuel de Martonne

De même, un indice d'aridité mensuel a été calculé au niveau de la station. Les valeurs obtenues ont été mentionnées dans le tableau suivant : [6]

II.5.Le Déficit D'écoulement Ou Evapotranspiration :

II.5.1.Evapotranspiration :

C'est la restitution de l'eau à l'atmosphère à partir d'une surface quelque soit sa nature : sol, végétation, surface d'eau libre, neige ou glace, par transformation de l'eau en vapeur. Ce processus est le résultat de deux phénomènes :

- L'évaporation (E) : s'effectue à partir des surfaces évaporantes, surfaces d'eau libre et les sols humides.
 - La transpiration (T) ou évaporation physiologique : est l'évaporation biologique des plantes.
- [6]

II.5.2.Evapotranspiration potentielle ETP :

L'évapotranspiration potentielle qui correspond à la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant. [6]

II.5.3.Evapotranspiration réelle ETR :

L'évapotranspiration réelle est une réponse, en termes de vapeur d'eau, d'un milieu donné à la demande exercée par l'évapotranspiration potentielle, compte tenu de la quantité d'eau disponible.

L'évapotranspiration réelle est estimée à l'aide des formules de TURC, WUNDT et P. Verdeil[6]

II.5.4.Formule de Turc :

La formule de Turc permet d'évaluer directement l'évapotranspiration réelle annuelle d'un bassin à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle :[6]

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

$$= 300 + 25 T + 0,05 T^3$$

ETR : Evapotranspiration réelle (en mm/an)

P : moyenne annuelle de pluie (en mm) = 270.76 mm

T : Température moyenne annuelle (en °C) = 13.63 °C

ETR = 270.76 mm

-Méthode de Wundt :

Cette méthode permet d'obtenir à partir d'un diagramme le déficit d'écoulement en fonction de la température et des précipitations .Malheureusement, étant donné la structure de l'abaque, cette méthode est peu précise.[7]

On aura à partir de l'abaque **ETR Aflou = 290mm**.

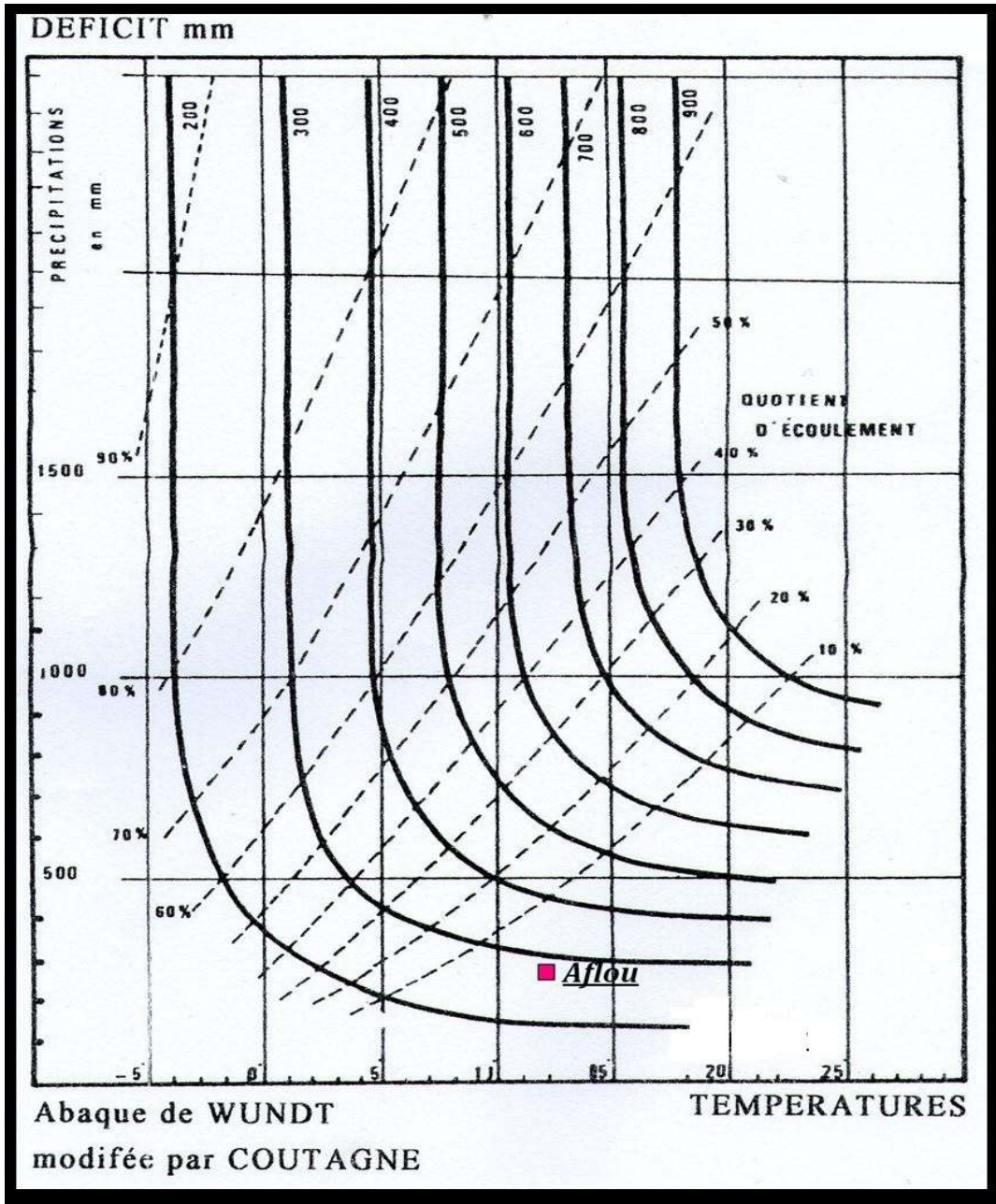


Figure II.5 : Abaque de Wundt

-Méthode de Verdeil :

En 1988, Verdeil a établi un abaque bi-logarithmique pour les régimes semi-arides où les précipitations ne dépassent pas les 600 mm. L'abaque de Verdeil permet de calculer l'ETR en prenant en considération seulement la précipitation.

La projection des précipitations a donné une évapotranspiration réelle de 260 mm soit 94,70 % des précipitations.[7]

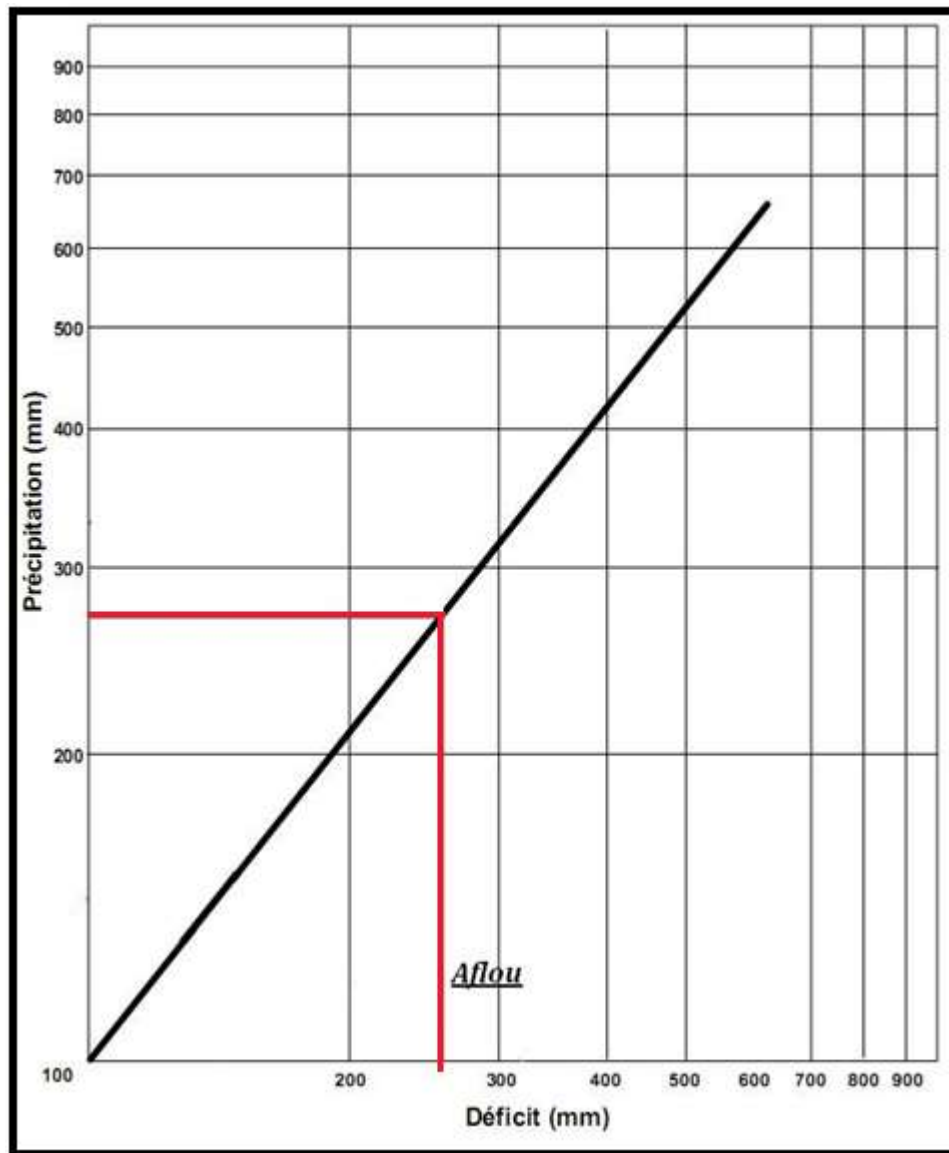


Figure II.6: Abaque de VERDEIL

L'ETR moyenne est de l'ordre 273,82 mm soit 99,74% des précipitations à la station d'Aflou.

Tableau .II.6 : Valeurs de l'ETP et l'ETR obtenues par différentes méthodes

	Méthode	Aflou
ETR	Turc	270,76
	Wundt	290
	Verdeil	260

-Bilan hydrologique :

Le bilan hydrologique permet d'évaluer la répartition des précipitations entre les différents composants de ce bilan, à savoir : l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration.

Le bilan est établi selon la formule suivante : [7]

$$P = E + R + I$$

Où :

P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm

E : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm

R : Ruissellement moyen annuel en mm

I : Infiltration moyenne annuelle en mm

-Ruissellements superficiels :

Il est estimé à partir de la formule de Tixeront-Berkaloff qui est la suivante :

$$R = P^3 / 3(ETPc)^2$$

Pour $P = 274.53$ mm

$ETP = 766.69$ mm (Evapotranspiration potentielle selon Thornthwaite).

Le ruissellement sera égal à 11,73 mm soit 4,27 % des précipitations.

-Infiltration :

L'infiltration est le passage de l'eau à travers la surface du sol, il est exprimé par la formule suivante:

$$P = ETR + R + I \rightarrow I = P - (ETR + R)$$

Seule la méthode de P. Verdeil donne un résultat acceptable, l'infiltration est de 2,8 mm soit 1,02 % des précipitations.[7]

II.6.CONCLUSION :

Sur la base des données que nous venons de présenter, il ressort que la région d'Aflou est soumise à un climat semi-aride avec des influences sahariennes et montagnardes

CHAPITRE

III

GEOLOGIE DU SYNCLINAL D'AFLOU

III.1.INTRODUCTION :

La région d'Aflou appartient, à la dernière barrière topographique que nous rencontrons avant d'atteindre la plate-forme saharienne. Cette barrière est formée par les monts des Ksour à l'ouest, les monts du Djebel Amour au centre, et les monts Ouled Nail à l'EST. [5]

La zone étudiée appartient au Djebel Ammor dans la région d'Aflou et se situe à environ 350 km au Sud d'Alger. Ces monts constituent la partie centrale de l'Atlas saharien, et sont limités au Sud-Ouest par les Monts des Ksour et au Nord-Est par les Monts des Oulad Nail. L'aspect général de la région est celui de reliefs dénudés allongés suivant la direction SW-NE qui encadrent des vallées ou de vastes steppes planes couvertes d'un tapis végétal constitué surtout par l'armoïse et l'alfa. L'altitude moyenne des vastes steppes est comprise entre 800 et 1200 mètres. Les crêtes qui forment les reliefs montagneux s'élèvent de 150 à 400 mètres au-dessus des plaines environnantes et atteignent leur maximum d'altitude près d'Aflou (Dj. Guern-Arif : 1721 m ; Dj. Sidi-Okba : 1707 m ; Dj. Gourou : 1706 m ; Dj. Zlag : 1583 m) [5]

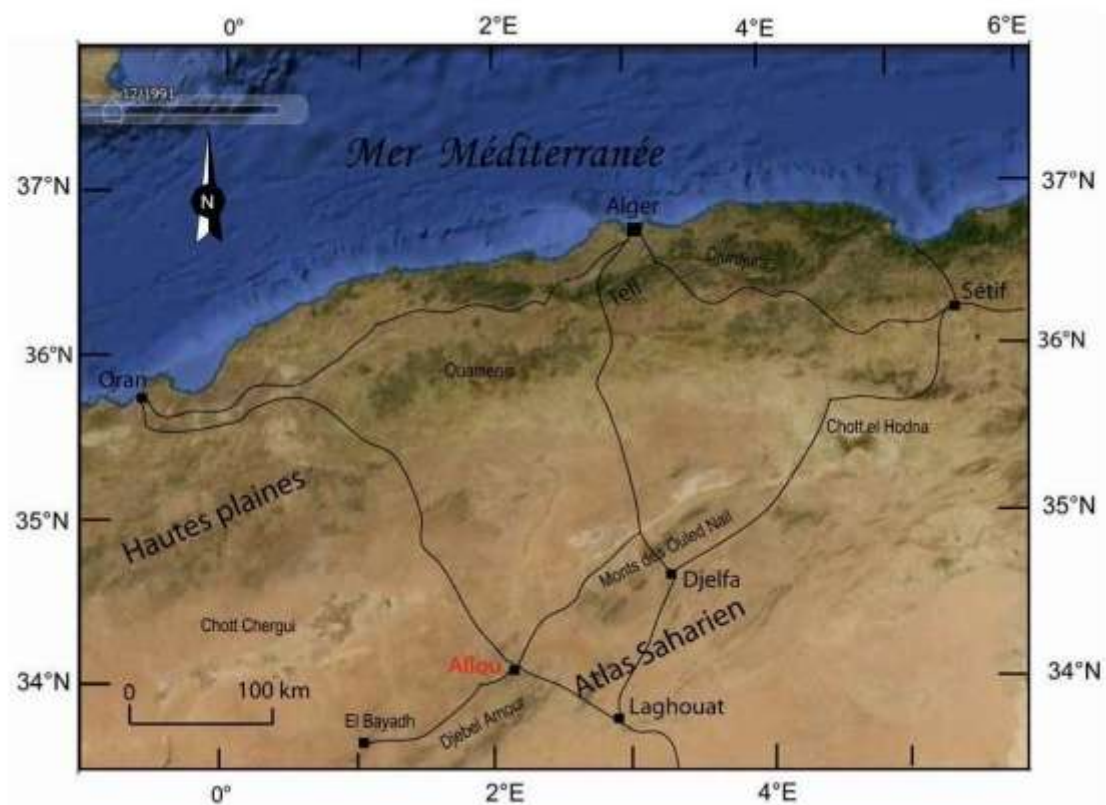


Figure III-1 : Situation géographique de la région étudiée

(secteur d'Aflou, Djebel Ammor, Atlas Saharien)

Sur le plan hydrographique, les cours d'eau ou oueds suivent une ligne de pente insensible à l'œil au milieu de la steppe étendue et s'épandent souvent dans des bassins fermés et vont alimenter les dayas et les chotts situés plus au Nord. Tous ces oueds sont à sec la plupart du temps. Une exception est l'Oued Sebgag située à l'Ouest d'Aflou (photo 3) qui est l'unique rivière de l'Atlas saharien qui se déverse dans la mer Méditerranée et qui constitue la source de l'un des plus importants cours d'eau d'Algérie : le Chélif. Un autre oued important, l'Oued Djeddi, naît sur le versant méridional de l'Atlas au Sud d'Aflou, et se déverse dans le Chott Melghir au Sud de Biskra, après avoir longé le pied de l'Atlas. [5]

III. 2. HISTORIQUE DES TRAVAUX :

Les premiers travaux géologiques concernant le Djebel Ammor et plus généralement l'Atlas Saharien remontent à la fin du 19^{ème} siècle; ils entraînent dans le cadre de la réalisation de la Carte Géologique d'Algérie.[5]

TISSOT (1881), PERON (1883), BROSSART (1886) et RITTER (1901) ont esquissé les premières cartes. RITTER (1901) décrit en détail les diverses formations du Djebel Amour. Il attribuait un âge Albien aux calcaires des Djebels Djahaifa, Chebka, El Mezara et El Kousia et un âge Vraconnien aux grès de la plaine d'Aflou.

Par la suite, les séries géologiques de l'Atlas Saharien seront révisées par FLAMAND (1911) et LAFFITTE(1913).[5]

FLANDRIN (1948), définit la stratigraphie du Nummulitique et sa répartition en Algérie. DURAND DELGA (1949) établit la carte géologique du Djebel Amour au 1/200.000. Il attribue au Portlandien les calcaires des Djebels Djahaifa, Chebka, El Mezara et El Kousia et à l'Albien les grès d'Aflou.[5]

Lors du XIX^{ème} Congrès International d'Alger (1952), CORNET, FLANDRIN et la S.N. REPAL présentent une première synthèse stratigraphique de ces régions, bien qu'une partie de la série ait été justement reconnue comme appartenant au Jurassique supérieur, une indétermination demeura cependant pour ce qui concerne les "unités infracrétacées".[5]

EMBERGER(1960) publie son "Esquisse géologique de la partie orientale des Monts des Ouled Nail". Il donne de nombreux détails lithologiques et stratigraphiques des différentes séries.[5]

CARATINI (1961) range les calcaires d'Aflou et les grès dans le Barrémien -Aptien- Albien après avoir décrit minutieusement les formations du Djebel Sidi Okba (au Nord d'Aflou).[5]

En 1967 une Mission Soviétique chargée de l'études des formations aquifères du bassin versant de l'Oued Touil dresse une carte géologique à l'échelle 1/200.000, qui confirme les travaux de Caratini. La même année BASSOULLET (1973) découvre une faune de vertébrés associée à des bois silicifiés dans une formation continentale près de Tiout (région d'AïnSèfra, Monts des Ksour). Pour lui cette formation dite "grès de Tiout" peut être attribuée à l'Albien.[5]

En 1967 BASSETO. D et COUMES. F révisent la stratigraphie de la région. La coupe levée dans le Djebel Azreg au Nord de Laghouat leur permet d'identifier le Kimméridgien, le Portlandien et le Berriasien et de les séparer de l'épaisse unité détritique du Crétacé inférieur.[5]

En 1970, DELFAUD et BASSOULLET J. P, ont analysé les séries des Monts des Ksour qui constituent la partie occidentale de l'Atlas Saharien. Une lithostratigraphie des unités essentiellement continentales sera établie et un modèle sédimentaire proposé pour ces séries par DELFAUD (1974) sous la dénomination de "complexe deltaïque des Ksour". Ce dernier englobe les grès du Jurassique moyen et supérieur et les grès du Crétacé inférieur.[5]

En 1971 Basseto. D et Guillemot. F, publient une notice explicative de la carte géologique au 1/200.000 d'Ain Riche, ils y donnent des détails importants concernant le Jurassique et le Crétacé.(3)

En 1973, PITAUD étudiant le synclinal d'El - Bayadh (Atlas Saharien central) donne la description lithostratigraphique et la synthèse stratigraphique de la région.

En 1974, GUILLEMOT.F publie les notices explicatives des cartes géologiques au 1/200.000è d'Aïn Riche et de Brézina.[5]

En 1976 dans son étude réalisée dans la région d'Aïn Ouarka (Monts des Ksour), DOUIHASNI. M a admis les subdivisions lithostratigraphiques proposées par BASSOULLET J. P (1973).[5]

1978 les géologues de la SONATRACH travaillant dans les Monts du Djebel Amour, rangent les calcaires de Chebka, El - Mezara et Djahaifa (région d'Aflou) dans le Kimméridgien et les grès dans le Barrémien.[5]

1982 ABED et HARKET devaient donner de nombreux détails concernant la lithostratigraphie et la sédimentologie du Jurassique moyen et supérieur du Djebel Mimouna (Djebel Ammor).[5]

En 1983 MAHBOUBI M. dans son étude sur la Géologie et la Paléontologie du Crétacé post-Albien et du Tertiaire de la bordure méridionale du Djebel Amour donne des précisions stratigraphiques sur l'Albien supérieur, le Turonien inférieur et le Tertiaire ancien (cf. 1995), sur la base des coupes établies dans la région d'El Khol (Sud Est de Brézina).[5]

L'Atlas Saharien constitue une chaîne montagneuse dont les caractéristiques sont fondamentalement semblables sur toute l'étendue du Maroc au Nemmemcha.

L'Atlas Saharien se décompose en Algérie de cinq faisceaux qui se relaient d'Ouest en Est : [5]

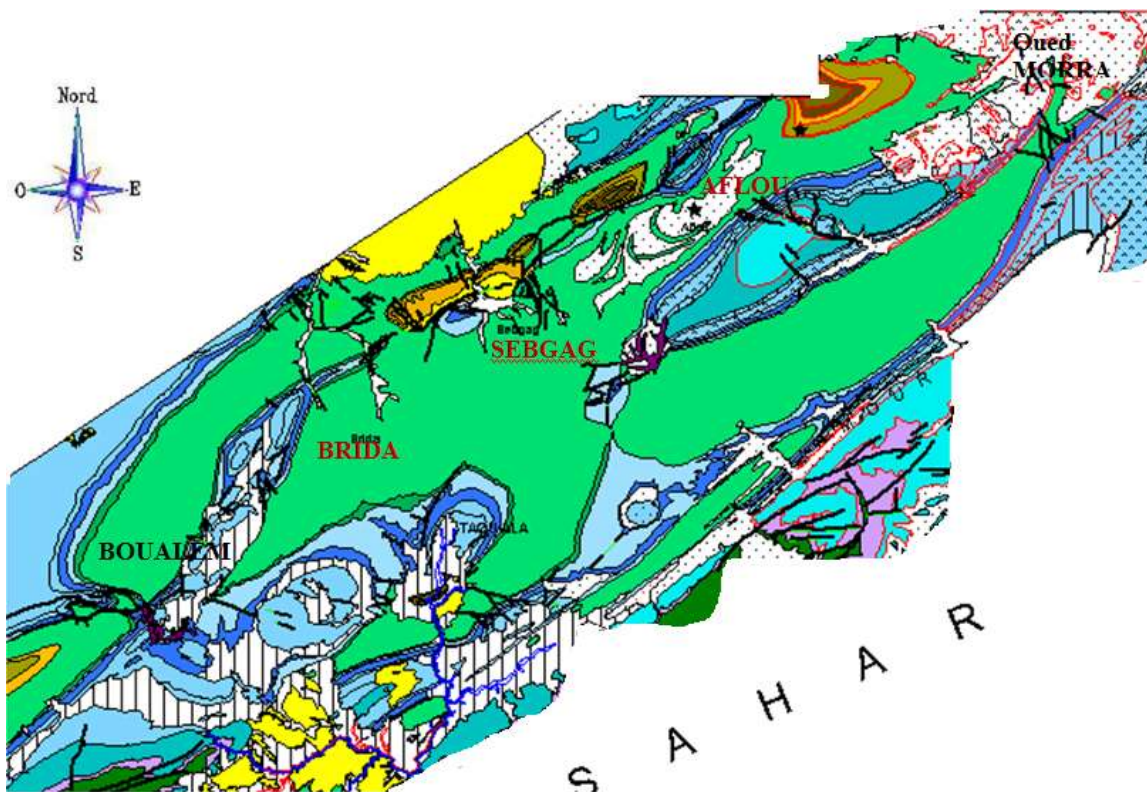
- Les Monts des Ksour.
- Le Djebel Ammor.
- Les Monts des Ouled Nail.
- Les Aurès
- Les Nememcha

Ces faisceaux sont décalés les uns par rapport aux autres, mais rattachés entre eux par une série de plis secondaires légèrement obliques à la direction principale.

L'Atlas Saharien est limité au Nord par un accident moyen qui est la faille Nord Atlasique et au Sud par un autre accident celui de la faille Sud Atlasique. En se dirigeant de l'Est vers l'Ouest, les formations géologiques de l'Atlas Saharien deviennent de plus en plus anciennes et en même temps on assiste à un passage progressif du milieu marin au milieu continental pour les mêmes terrains.

Les séries mésozoïques et cénozoïques présentent un ensemble plissé à sédimentation marine et continentale d'âge Jurassique et Crétacé. Les formations du Mésozoïque, de même âge deviennent de plus en plus carbonatées vers l'Atlas Saharien Oriental et détritiques vers l'Atlas Saharien Occidental.

[5]



Légende :

Quaternaire

- a D b Accumulations sableuses
- a-Barkanes
- b-sable en nappe
- q⁷ dépôts actuels
- Lit majeur des oueds
- Fonds de dayas
- q⁵⁻⁶ Quaternaire récent (Soltanien) en gîte roche
- q⁵⁻⁶ Quaternaire récent (Soltanien) sur grès à dragées "laminifères"
- q³⁻⁴ Quaternaire moyen
- q¹⁻² Quaternaire ancien
- Glacis moutoyen et haute terrasse

TERTIAIRE

- T_c

Jurassique

- j 6nf portlandien-berriasien
- barre calcaire
- j 5-6 Kimméridgien terminale à portlandien
- marnes calcaires
- j 5d Kimméridgien calcaréo-gréseux
- G-grès
- M-marnes
- C-calcaire
- j 5e Kimméridgien marno-calcaire
- j 5b Kimméridgien gréseux

C³⁻⁵ Sénonien

C² Turonien

C¹ Cénomannien

n⁷ Albien supérieur

n⁶ -Albien inférieur

n⁵ -Aptien

n²⁻⁴ -valanginien-Barrémien

n²⁻⁶ -cretacé inférieur indifférencié

grès à dragées

a -Banc repêché

j³⁻⁴ Oxfordien

j¹⁻² dogger

t³ Trias

SIGNES CONVENTIONNELS

- Contour géologique
- Faite: 1 visible 2 supposée
- 30° pandage.valeur en degré
- couche: 1 verticale 2 horizontale
- chamère anticlinale a-avec plangement axiale
- chamère synclinale avec plangement axiale
- Replis multiples
- Sondage

ECH :1/100000

Figure III-2 : Carte géologique de la zone d'étude établie par assemblage des cartes géologiques sur MapInfo. (Source ANRH)

III.3 STRATIGRAPHIE :

Les montagnes du djebel Amour forment un nœud orographique très important, et constituent un ensemble de plis plus ou moins individualisés. Ils enserrent une cuvette synclinale au centre de laquelle se trouve la ville d'Aflou.

Vers le nord on rencontre le djebel Sidi Okba (1707) dont le sommet est formé de calcaire au sud djebel Zlag (1580 m) qui sépare le synclinal d'Aflou du plateau de la Gaada.[5]

Au Sahara et au début de l'ère secondaire les reliefs formés sont aplanis ; les terrains enlevés sont exportés au nord et vont combler les zones de subsidences. Durant l'ère secondaire la mer couvrait en majeure partie le Maghreb ; les grands géosynclinaux de l'atlas Saharien commencent à être comblés de sédiments dès l'ère secondaire, peu profond vers le nord.[5]

Au crétacé la mer va couvrir la plus grande partie de l'Afrique du Nord, elle l'évacuera au début du Tertiaire. Les dépôts terrigènes et chimiques offrent une remarquable sédimentation.[5]

III.3.1.LE TRIAS :

A. Le pointement Des Trias d'ain Fourene :

Situé sur la route d'Aflou el Ghicha, il est constitué de roches vertes sous forme de filons en grains fins et légèrement modifiés au contact des calcaires jurassique. Ces filons de 1 à 2 mètres et sur une dizaine de mètres de long se trouvent à l'intérieur des marnes salifères et gypse. Cet affleurement se trouve enserré par l'anticlinal du djebel Chebka et djebel Zlag.[5]

B. Le Pointement De Djebel Zlag :

En amont de l'Ain djeneb et le long de l'axe anticlinal du djebel Zlag on rencontre un affleurement de gypse et de sel qui forme les berges de l'oued M'zi d'une hauteur de quelques mètres.[5]

C. Le Pointement De Gourou :

Il existe de nombreux petits pointements localisés dans les fonds et sur les bords des ravins souvent encaissés. Ils sont formés de gypse et micro diorites.[5]

III.3.2.LE JURASSIQUE :

A. Le Kimméridgien

A.1. Kimméridgien Gréseux :

Il occupe le cœur des anticlinaux, c'est au niveau de l'anticlinal de Taouiala Kef Labiad au nord d'Ain Sidi Ali, Djebel Zlag qu'affleurent ces grès. D'après les forages que nous avons effectués à Taouiala et Kef Labiad, et tout récemment à El Ghicha, l'épaisseur de ces grès varie d'un endroit à un autre. Nous avons noté une épaisseur de 100 mètres au niveau de Taouiala et plus de 200 m à Kef Labiad.[5]

A.2.Kimméridgien marno-calcaire :

La série présente une épaisseur de 100 m au niveau de djebel Djéhaifa et l'anticlinal de Taouiala au niveau de ses structures la série se présente comme suit : Des calcaires sous forme de bancs métriques alternant avec des marnes vertes gypseuses.

Une succession de calcaire et marno-calcaire de couleur grise, des marnes parfois feuilletées de couleur grise dans lesquelles s'intercalent des bancs de calcaires. [5]

A.3.Le Portlandien :

Cette série à une épaisseur de 200 m elle débute par :

Une assise calcaire, la roche est homogène dure, de couleur grisâtre à jaunâtre.

Des marnes vertes avec bancs de calcaires sous forme de plaquettes. [5]

Le portlandien se termine par des bancs de calcaires bien visibles et forme parfois de véritables corniches. Ces calcaires à lumachelles deviennent parfois oolitiques et prennent des formes plus régulières. [5]

Les terrains anciens du jurassique occupent généralement les cœurs des anticlinaux. Dans le djebel Amour les faciès calcaires, calcaire dolomitique se présentent surtout sous forme de bancs plus ou moins épais et mal lités. Cette épaisseur varie du mètre à quelques mètres. A la partie supérieure le calcaire spathique, de couleur grise, rugueux à la surface et au niveau de la partie supérieure, ce calcaire s'alterne avec des marnes parfois durcies de couleur verte et bleue. [5]

Les couches de la partie supérieures sont situées immédiatement au-dessous d'un ensemble puissant de grés sans fossiles. Dans la chaîne du djebel Sidi Bouzid le bord de l'oued M'zi et le djebel Lazreg des fossiles caractéristiques du jurassique ont été rencontrés. la faune nombreuses et variée a suffi pour déterminer cet étage avec certitude. [5]

III.3.3.LE CRÉTACÉ :

A. Le barrémien-valangenien :

Dans le djebel Amour cet étage est représenté par un complexe très puissant de grès, présentant un faciès habituel de grès à stratifications entrecroisées allant de quelques centimètres à plusieurs mètres. La roche est friable avec un ciment calcaire. C'est une série uniforme à grains grossiers qui en beaucoup de points contient de nombreux galets de quartz de diamètre variable allant de quelques millimètre à 2-3 centimètres. Ces grès sont largement fissurés suivant deux directions majeures d'orientation N60°E et N130°E. ce sont ces grès qui couvrent les plus grands espaces et constituent la cuvette du synclinal d'Aflou. Ces grès sont largement affectés par une tectonique cassante.

Les forages effectués au niveau du synclinal d'Aflou profonds de 900m sont restés en permanence dans les grès. [5]

Albien – Aptien :

Cet étage commence à affleurer au pied de la pente qui forme le djebel de Sidi Okba, Le Kef Gourou.

A la partie supérieure on trouve une brève alternance de marnes calcaire et calcaire gréseux cet ensemble est attribué à l'Albien supérieur. Puis des grès en gros bancs très faiblement inclinés, de 2 à 6 mètres séparés par des lits marneux de l'ordre du décimètre ; le tout est attribué à l'Albien inférieur. Au-dessous apparaissent des calcaires jaunes marneux. Ces calcaires présentent des niveaux fossilifères. Cette barre de calcaire est attribuée à l'Aptien. [5]

B. Le Cénomaniens :

Correspond à une sédimentation marine transgressive sur le grès Albien. La formation cénomaniens est constituée exclusivement de Marnes verdâtres gypseuses. Dans certains cas des bancs métriques de calcaire dolomitique viennent s'intercaler dans les marnes. Cette formation à une puissance de 200 m environ. [5]

C. Le Turonien :

D'une épaisseur de 80 m le turonien apparaît au niveau des sommets du Kef Gourou, Sidi Okba. Il forme des corniches constituées exclusivement de calcaire dolomitique, très dur de couleur blanchâtre et à surface rugueuse.

Dans l'ensemble, le turonien n'est pas riche en faune, voir dans la plupart des cas ces calcaires sont azoïques. [5]

III.3.4. LE TERTIAIRE ET LE QUATERNAIRE :

A. Le Tertiaire

A.1. L'oligocène :

Dans l'Atlas saharien on le rencontre au niveau de très nombreuses localités. C'est un conglomérat à l'élément grossier bien arrondis (5 à 8 cm) le ciment est marno-calcaire dans la plupart des cas dans le djebel Ammor ces dépôts sont localisés au djebel Hairech et djebel Gourou. [5]

A.2. Miocène Et Pliocène :

Il nous a été difficile de les séparer ; mais dans le djebel Amour, ils sont largement représentés. Toutefois ces dépôts forment des collines à têtes plates dans les régions de sidi Bouzid. Entre Hadj-Mechri et Sidi Naceur ils occupent de vastes étendues. Dans la région de Baidha ils comblent les dépressions leur puissance dépasse les 100 m ; (Forage Baidha 1, Chelel 1, Ben Djebila et Herara 1 et 2) leur profondeur varie entre 120 et 150m.[5]

Le miocène est caractérisé par des dépôts détritiques, il est constitué de la base au sommet par : Des argiles grises alternant avec des sables grossiers siliceux et des calcaires à éléments béchiques. Des marnes gréseuses alternants avec des grès jaunâtres et quelques passées de calcaires et gypses. Des argiles rouges avec des niveaux calcaires [5]

B. Le Quaternaire :

Le quaternaire ancien est déposé sur de très vastes étendues, généralement entre les collines témoins du Mio-Pliocène et forme parfois les berges des oueds qui atteignent plusieurs mètres.[5]

Le quaternaire récent lui aussi est largement représenté dans le djebel Amour. On le rencontre au niveau de la cuvette synclinal d'Aflou ; au nord entre Aflou et Gueltat Sidi Saad. Ce quaternaire est formé par une argile sableuse de couleur grisâtre parfois rougeâtre et tranche par sa couleur sur les autres dépôts. [5]

III.4. ANALYSE STRUCTURALE :

. Avant d'atteindre la plate forme saharienne, le djebel Amour est la dernière barrière montagneuse qu'on rencontre. Sur tout son ensemble l'atlas saharien garde les mêmes caractéristiques du Maroc jusqu'au Aurès. [5]

Les anticlinaux et synclinaux de l'Atlas saharien ont subi une tectonique très poussée durant le tertiaire. Les plis anticlinaux sont généralement coffrés et faillés au cœur. Ces failles ont mis à jour un trias accompagné de roches vertes. [5]

Généralement les synclinaux sont remplis de grès Barremien, quant aux synclinaux perchés de Gourou, Sidi Okba, Oum el Guedour sont formés exclusivement de calcaire Aptien de grès Albien de marne gypseuse du cénomaniens, et le tout est surmonté par des calcaires dolomitiques Turonien.

La liaison avec les hautes plaines oranaises se fait par des accidents complexes le plus souvent décrochant des rejets qui peuvent atteindre 1200 mètres et viennent s'éteindre au niveau d'Aflou (Durant Delga) et (Cornet 1950). Ces flexures se relaient du SW au NE avec des rejets qui peuvent atteindre 2000m, ces failles constituent la flexure sud atlasique. [5]

ÉPAISSEURS MOYENNES	FORMATIONS	SERIES	FAUNE ET FLORE CARACTERISTIQUES	AGES PROBABLES
250m	B CALCAIRES OOLITHIQUES du ZERGA A MARNES A GYPSE de TAOUJALA	AIN RICH II	CALPIONELLES	BERRIASIEN PORTLANDIEN
200m	C GRES A CHENOUX de TAOUJALA	LAGHOUAT III	Everticyclammina virgulifera	KIMMERIDGIEN SUPERIEUR
200m	B CALCAIRES EN PLAQUETTES			
700m	A CALCAIRES MASSIFS B MARNES A GYPSE A CALCAIRES LIMACHELLIQUES DE TADJMOUJ			
200m	D GRES ET ARGILES ROUGES DE KOURDANE	BREZINA II	Alveosepta jaccardi Sowerbyceras tortisulcatum	KIMMERIDGIEN INFERIEUR
500m	C GRES MASSIFS DE SEKLAFA			
200m	B ZONE INTERMEDIAIRE A CALCAIRES A POLYPIERS DE L'AZREG			
500m	C GRES ET DOLOMIES DE KERAKDA	EL BAYADH I	Macrocephalites macrocephalus	OXFORDIEN — CALLOVIEN
200m	B ZONE DE PASSAGE			
500m	A ARGILES SILTEUSES D'EL AOUJJA			

Figure III-3 : Séries et formations du Jurassique supérieur de l'Atlas Saharien Central.

(D'après S. Abed, 1982)

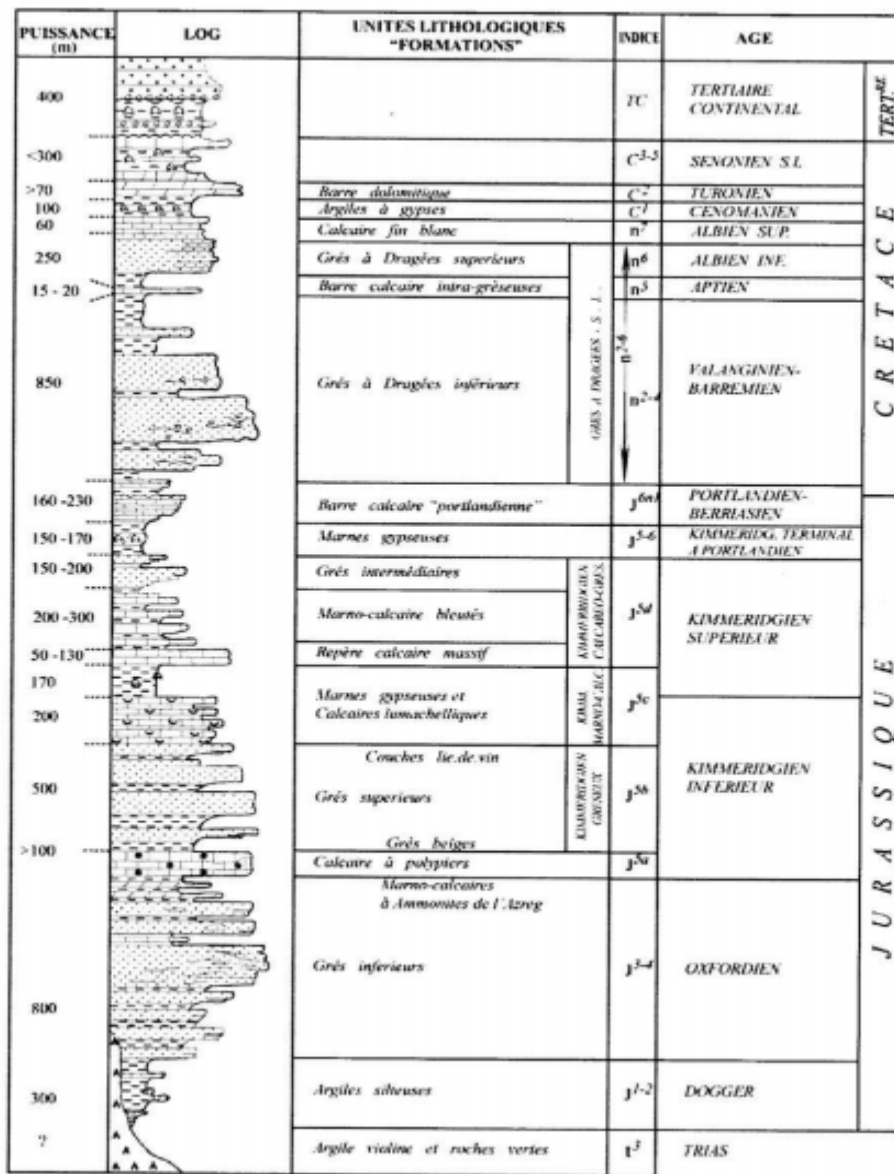
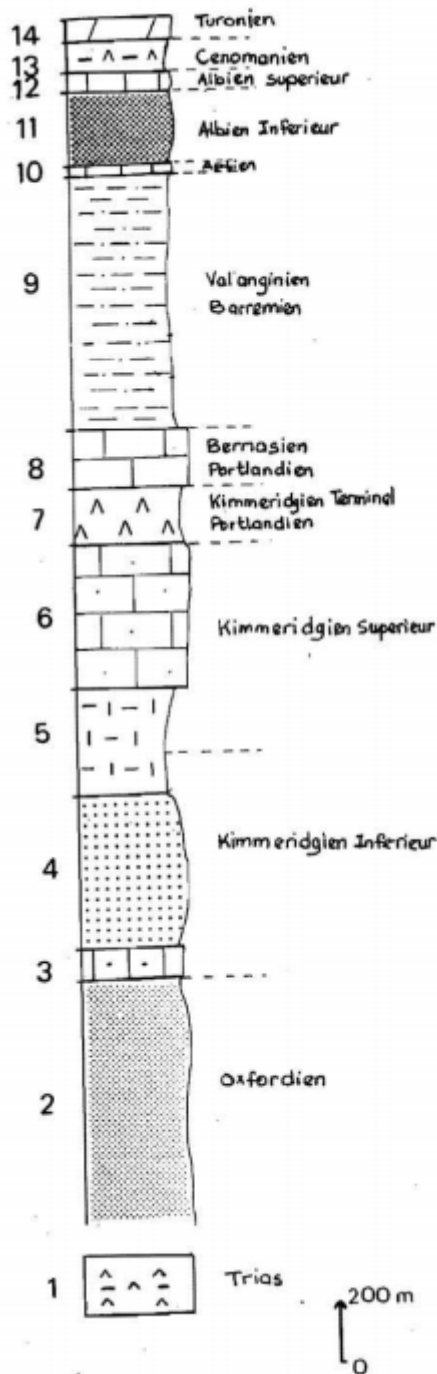


Figure III-4 : Colonne stratigraphique synthétique de l'Atlas Saharien Central (d'après Guillemot et al, 1974 ; notice de la carte géologique de Laghouat, non publiée)



Descriptions lithologiques.

- 14: Barres carbonatées massives dolomitisées avec des niveaux en plaquettes séparant les grandes barres; microfaune dolomitisée.
- 13: Gypse blanc massif associé à des marnes vertes et des plaquettes dolomitiques.
- 12: Calcaires en plaquettes en petit bancs avec passées de grès tendres.
- 11: Grès et conglomérats à dragées de quartz.
- 10: Calcaires jaunâtres, marneux et dolomitiques en intercalations décimétriques dans des argiles silteuses.
- 9: Grès massifs à stratifications obliques.
- 8: Calcaires intercalés de marnes et marno-calcaires noduleux à calpionnelles.
- 7: Marnes dolomitiques localement gréseuses et évaporites.
- 6: Alternances d'argiles et de grès en bancs décimétriques au sommet. Alternances fines de marnes, calcaires et marno-calcaires. Alternances plus massives de calcaires et de marno-calcaires.
- 5: Calcaires à débris d'ostreïdés à la base; unité marno-calcaire dolomitique à passées gypseuses au sommet.
- 4: Séquences grés-argileuses verdâtres et grès quartzitiques bruns rouges au sommet.
- 3: Calcaires bleutés à oncolithes et calcaires construits à polypiers.
- 2: Alternances de grès, argiles et silts. Quelques intercalations dolomitiques au sommet.
- 1: Marnes et argiles bariolées gypseuses, gypse massif blanc, grès fins et dolomies plus ou moins bréchiques. Roches vertes "ophitiques".

Figure III-5 : Colonne lithostratigraphique synthétique de la région d'étude (Djebel Amour)

(Nouar, 1992)

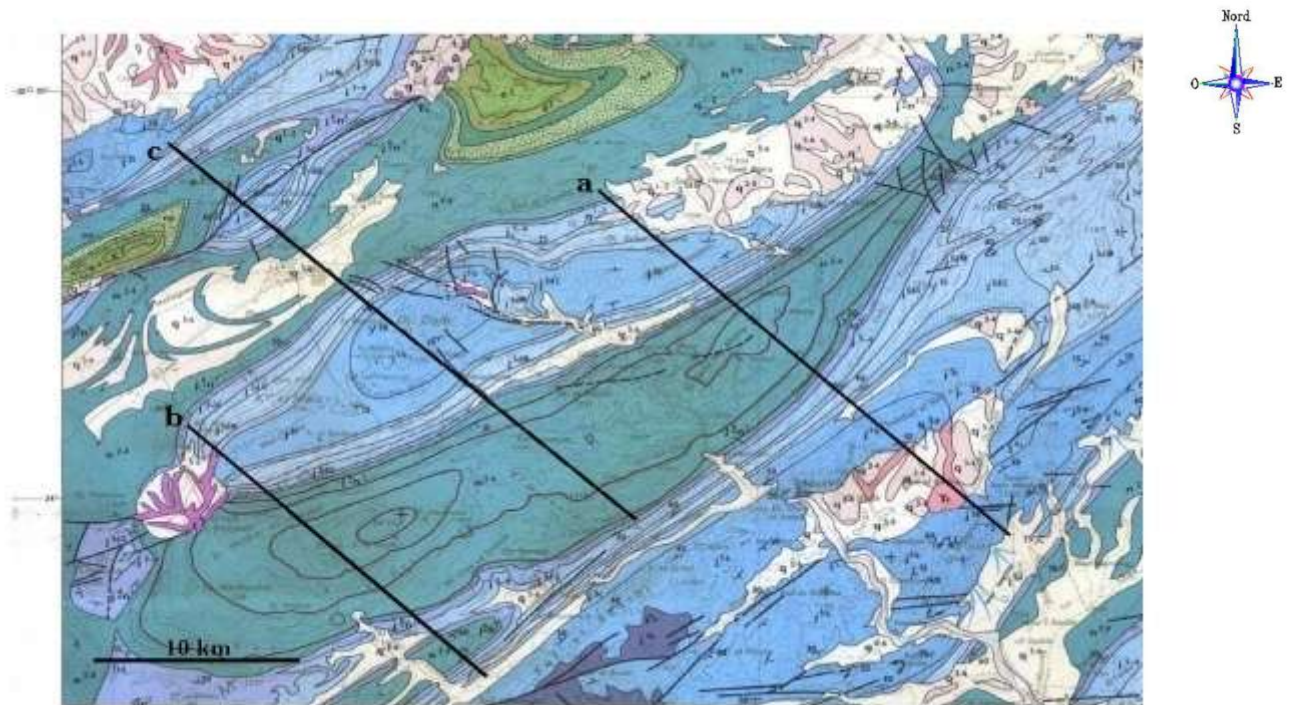
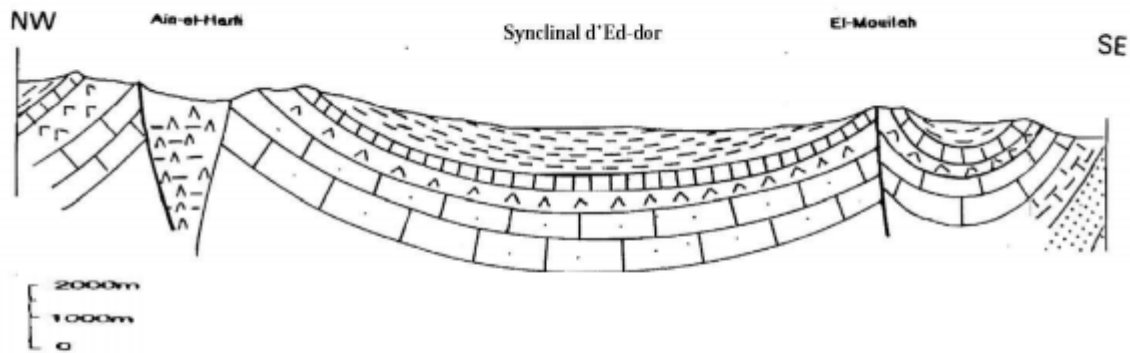
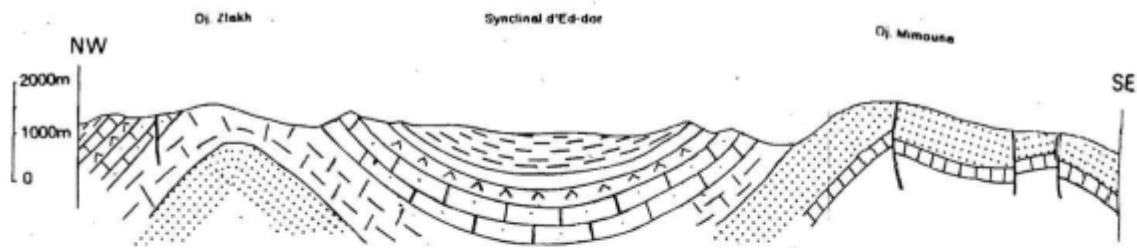
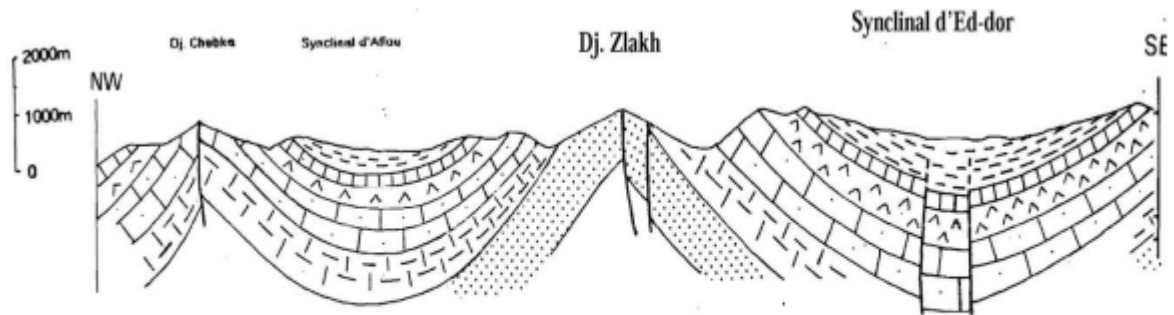
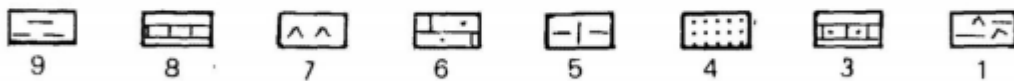
III.5. COUPE GÉOLOGIQUE :

Figure III-6 : la carte géologique de la région d'étude (Djebel Ammor, près d'Aflou)

(d'après la carte géologique au 1/200.000 de Laghouat, feuille J-K 9-10).



Synclinal d'Ed-dor



1 : Trias ; 3 : Kimméridgien basal ; 4 : Kimméridgien gréseux ; 5 : Kimméridgien marno-calcaire ; 6 : Kimméridgien calcaire ; 7 : Kimméridgien terminal-Portlandien ; 8 : Portlandien-Berriasien ; 9 : Valanginien-Barremien.

Synclinal d'Ed-dor

1 : Trias ; 3 : Kimméridgien basal ; 4 : Kimméridgien gréseux ; 5 : Kimméridgien marno-calcaire ; 6 : Kimméridgien calcaire ; 7 : Kimméridgien terminal-Portlandien ; 8 : Portlandien-Berriasien ; 9 : Valanginien-Barrémien.

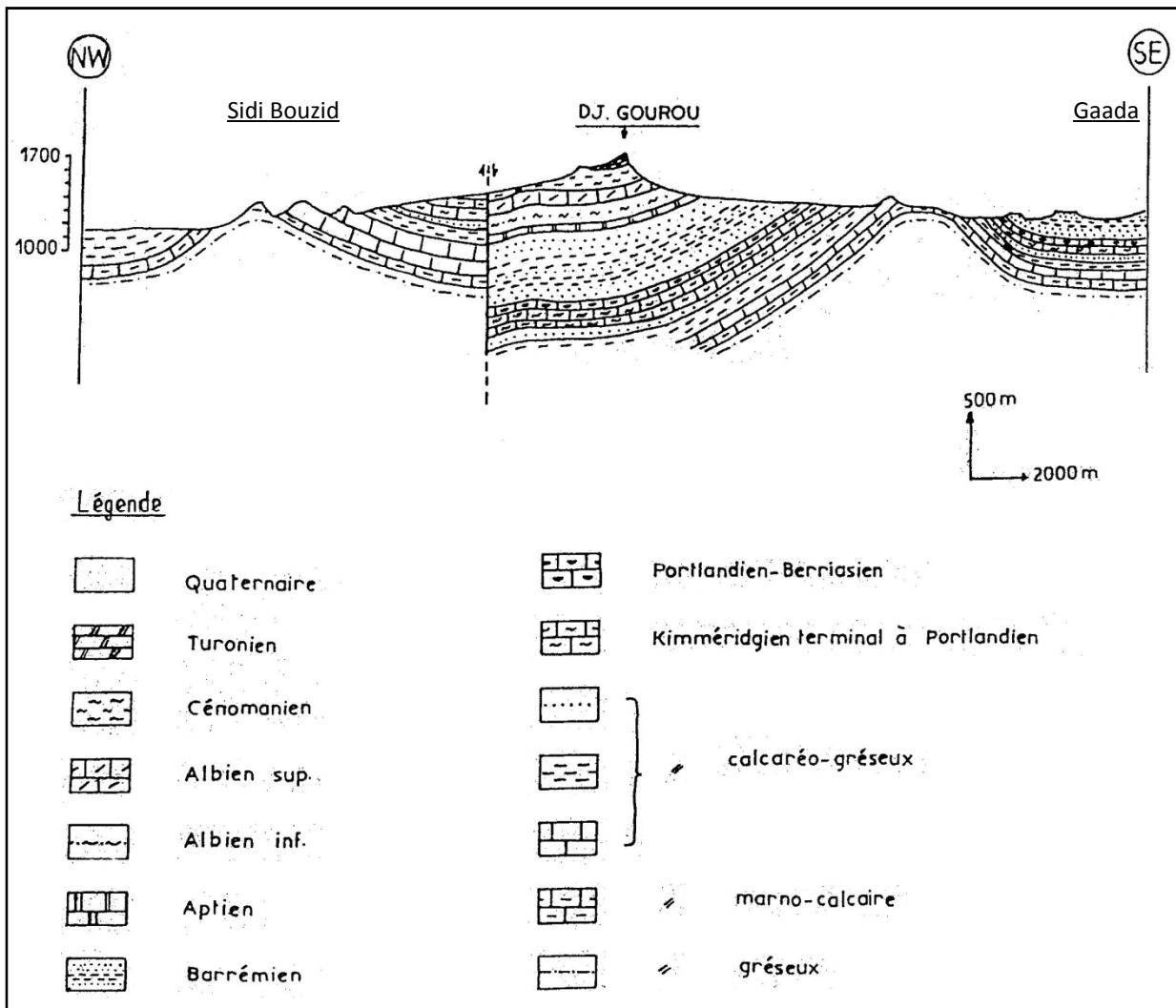


Figure III-7 : Coupes sériées à travers les structures du Djebel Amour (zone d'étude)

(Nouar, 1992).

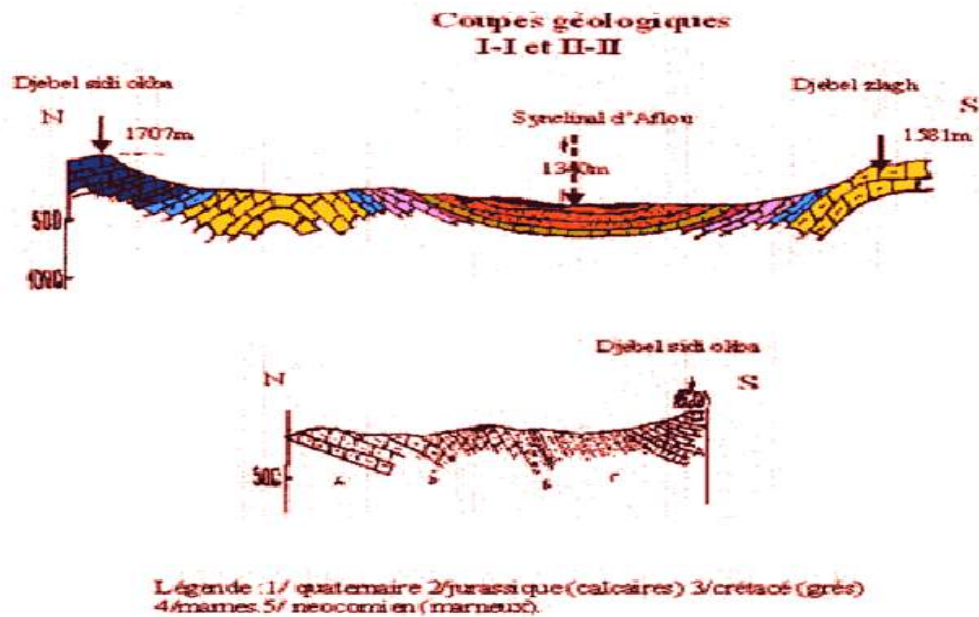


Figure III-8 : Coupes Géologique (Nouar, 1992).

III.6. CONCLUSION :

Les monts du djebel Amour représentent la partie centrale de l'Atlas Saharien, limitée au Nord par l'accident Nord Atlasique et au Sud par la flexure Sud Atlasique.

La structure tectonique de la région étudiée est marquée par un vaste synclinal à fond sub-horizontale de direction NE- SW, étroit au Nord Est de devenant de plus en plus large vers le Sud West.

Dans la série stratigraphique qui a été décrite, des horizons par leur nature lithologique sont susceptibles de constituer des aquifères. [5]

Au niveau d'Aflou, on peut citer :

Le complexe détritique du Barrémien, aptien, Albien, qui constitue le synclinal d'Aflou, forme un aquifère multicouche à porosité d'interstices, de fractures et de chenaux.

Les calcaires dolomitiques du turonien au niveau de Djebel Sidi Okba et Djebel Gourou constituent un Aquifère à porosité de fractures.

Enfin les formations du Mio -Plio- Quaternaire, lorsque leur épaisseur le permet, peuvent constituer des réservoirs d'importance moyenne. [5]

CHAPITRE

IV

CADRE HYDROGEOLOGIQUE
DU SYNCLINAL D'AFLOU

IV.1. GÉNÉRALITÉS :

Ce travail a pour but la détermination des différents horizons aquifères, et particulièrement l'étude de la nappe du Barrémien Valangénien.

- ✓ Reconnaissance et inventaire des points d'eau
- ✓ les différentes zones d'alimentation et les directions d'écoulements
- ✓ interprétation de la géophysique
- ✓ intercommunication possible entre différentes nappes
- ✓ estimation des valeurs d'eau prélevée
- ✓ conditions d'émergence des sources [6]

IV.2. HORIZONS AQUIFÈRES :

L'étude géologique a mis en évidence l'existence de plusieurs horizons aquifères susceptibles de fournir des débits d'exploitation appréciable.

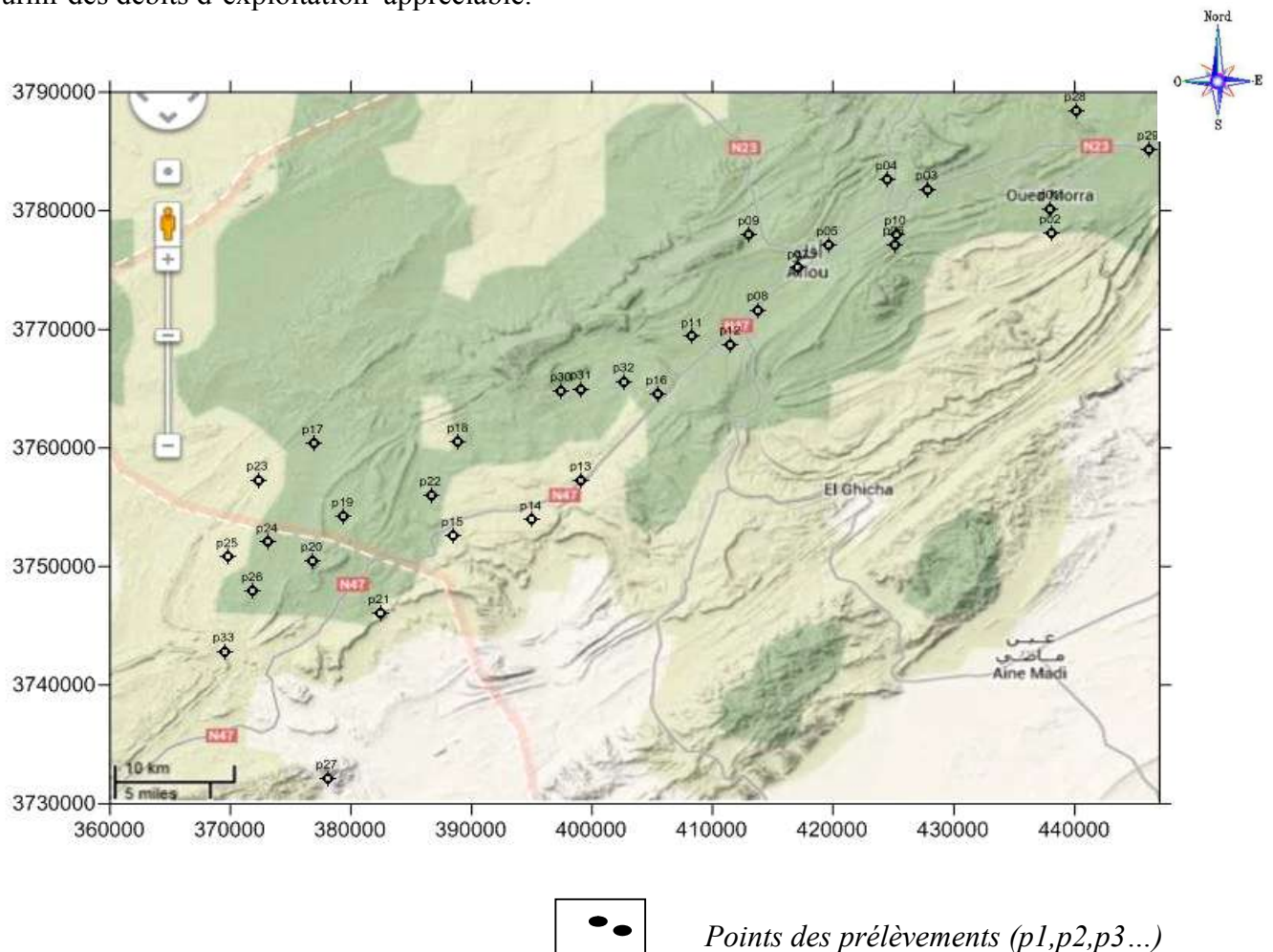


Figure IV-1 : localisation des points de prélèvement de la nappe

IV.2.1- Le Quaternaire :

Il repose sur la formation gréseuse du barrémien- Valangénien, il est constitué exclusivement d'alluvions limono-sableuses et d'argile, des galets emballés dans du sable; vu son épaisseur il constitue un aquifère peu important. [6]

IV.2.2 Aquifère Du Turonien :

L'étude géologique a mis en évidence, l'existence de calcaires dolomitiques fissurés au niveau du Djebel Sidi Okba et Djebel Gourou, ces fissures ont une direction préférentielle N 130° E postérieure au plissement atlasiques.

L'émergence des sources situées à la base des calcaires dolomitiques, met en évidence l'existence d'une nappe d'eau dans les calcaires du turonien. [6]

IV.2.3 Aquifère Du Complexe Gréseux :

Le complexe grés-marnes du barrémien-Valangénien constitue l'aquifère le plus important de la région, ainsi que la zone principale d'alimentation en eau potable de la ville d'Aflou et l'irrigation des différents périmètres agricoles aux alentours de la ville.

Il est à noter que cette formation gréseuse est à porosité d'interstices, de fractures et de chenaux. Les fractures qui affectent ces grés ont généralement une direction N60°E, N130°E se sont ces dernières qui ont mis à jour l'émergence des principales sources au niveau du synclinal. [6]

IV.2.4 Aquifère Du Portlandien M

Comparativement aux deux aquifères précédents, celui du portlandien est peu important vu qu'il est constitué de calcaire et de niveaux marneux on note l'émergence de quelques sources à faible débit par exemple : la source de Sidi Aoun Allah 0.5 L /S [6]

IV.2.5 Aquifère Du Kimméridgien :

Aquifère profond au niveau de la cuvette synclinale d'Aflou, il est représenté par un ensemble gréseux avec des passées argileuses. [6]

IV.3. INVENTAIRE DES POINTS D'EAU :

150 points d'eau ont été inventoriés au niveau de la cuvette synclinale d'Aflou.

65 points d'eau dans la région d'Aflou

IV.4. PIEZOMETRIE :

L'étude piézométrique au niveau de la nappe du Valangénien–Barrémien sera basée essentiellement sur les relevés des campagnes lancées en 1986 et 2002.

Les points d'eau sont parfois dispersés et parfois éloignés et ne permettent pas une bonne triangulation :

Par ailleurs le niveau piézométrique semble évoluer régulièrement le long de la cuvette synclinale et montre l'existence d'une ligne de partage des eaux souterraines, au Sud-Ouest de la ville d'Aflou, en passant par Djebel de Sidi Okba. [6]

L'existence de la faille qui recoupe le synclinal et traversant la ville d'Aflou tout en affectant les formations du portlandien jusqu'au pointements triasique au niveau de l'anticlinal du djebel Zlag.

On note l'existence d'une seconde ligne de partage des eaux au niveau de Djebel Gourou de même orientation que la première. [6]

La campagne piézométrique de 1986 a mis en évidence :

Une zone Amont (El Haoudh –Aflou) ou le sens d'écoulement est SW–NE. Une zone aval (Djebel Gourou), les écoulements se font du NW vers le SE.

Une zone située au Nord du Djebel Hairech dont l'écoulement se fait de l'Ouest vers l'Est.

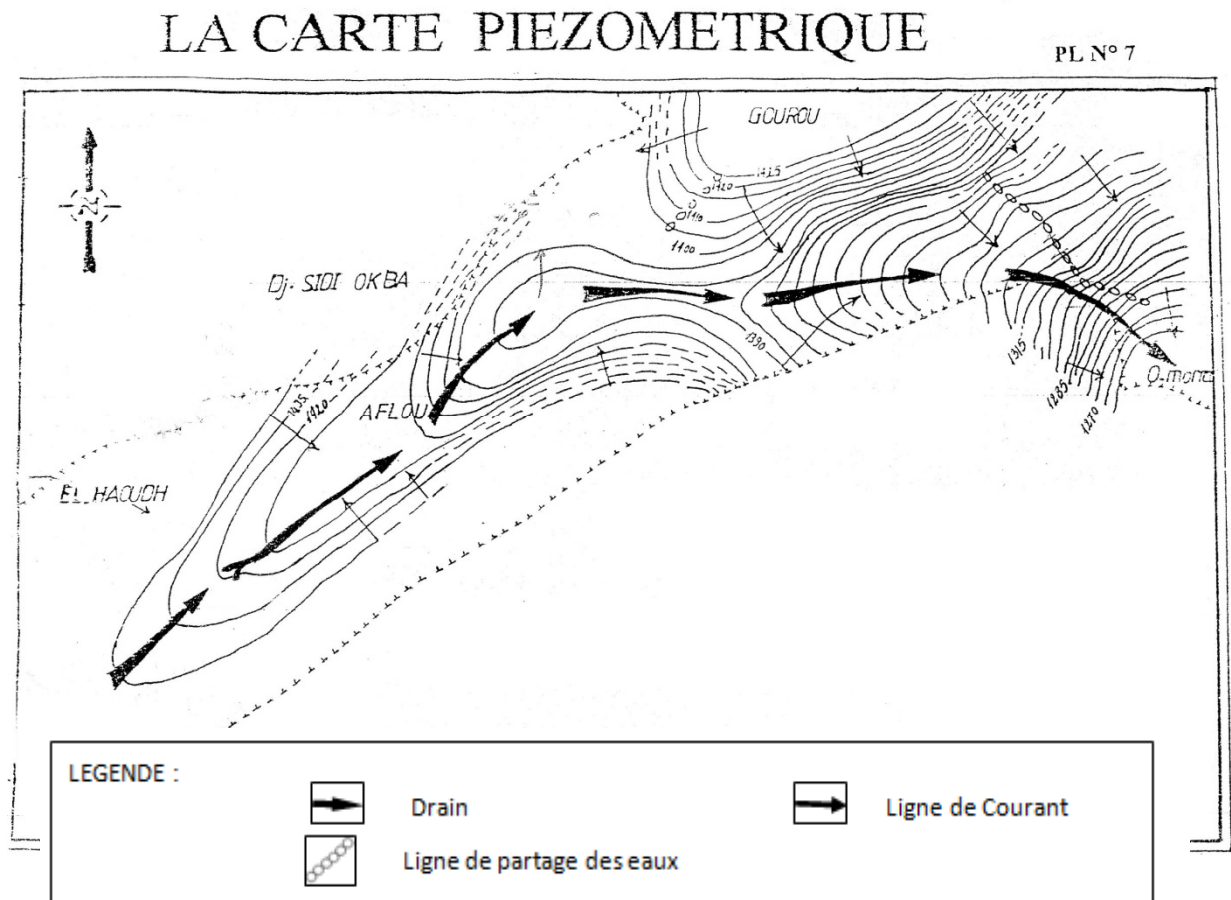


Figure IV.2. Carte piézométrique de la région d'Aflou
Piézométric map of the Aflou région

IV.5. ÉTUDE DE LA NAPPE VALANGENIEN –BARREMIEN :

IV.5.1. Structure Hydrogéologique :

La nappe occupe la cuvette synclinale d'Aflou de direction NE-SW sur plus de 70 km de long et 10 à 12 km de large. Formé exclusivement de grès fins à moyens, parfois grossiers et à dragée de quartz dans lequel on rencontre des morceaux de bois silicifiés qui s'entourent sous la Quaternaire au centre de la cuvette, avec des intercalations de marnes, cet aquifère multicouches est limité au Nord par le Djebel sidi Okba et Djebel Chebka, au sud par djebel Mzara et djebel Zlag. La puissance des grès qui forment cet aquifère dépasse les 1200 mètres. L'étude géologique a mis en évidence deux directions moyennes de cassures au niveau des grès N60° E et N130°E. [6]

IV.5.2 Condition D'émergence Des Sources :

Ce sont ces cassures qui sont responsables de mise en place d'un certain nombre de sources.

Les sources dont l'émergence est liée aux fractures N60°E dépassent les 3 L/ S, on note

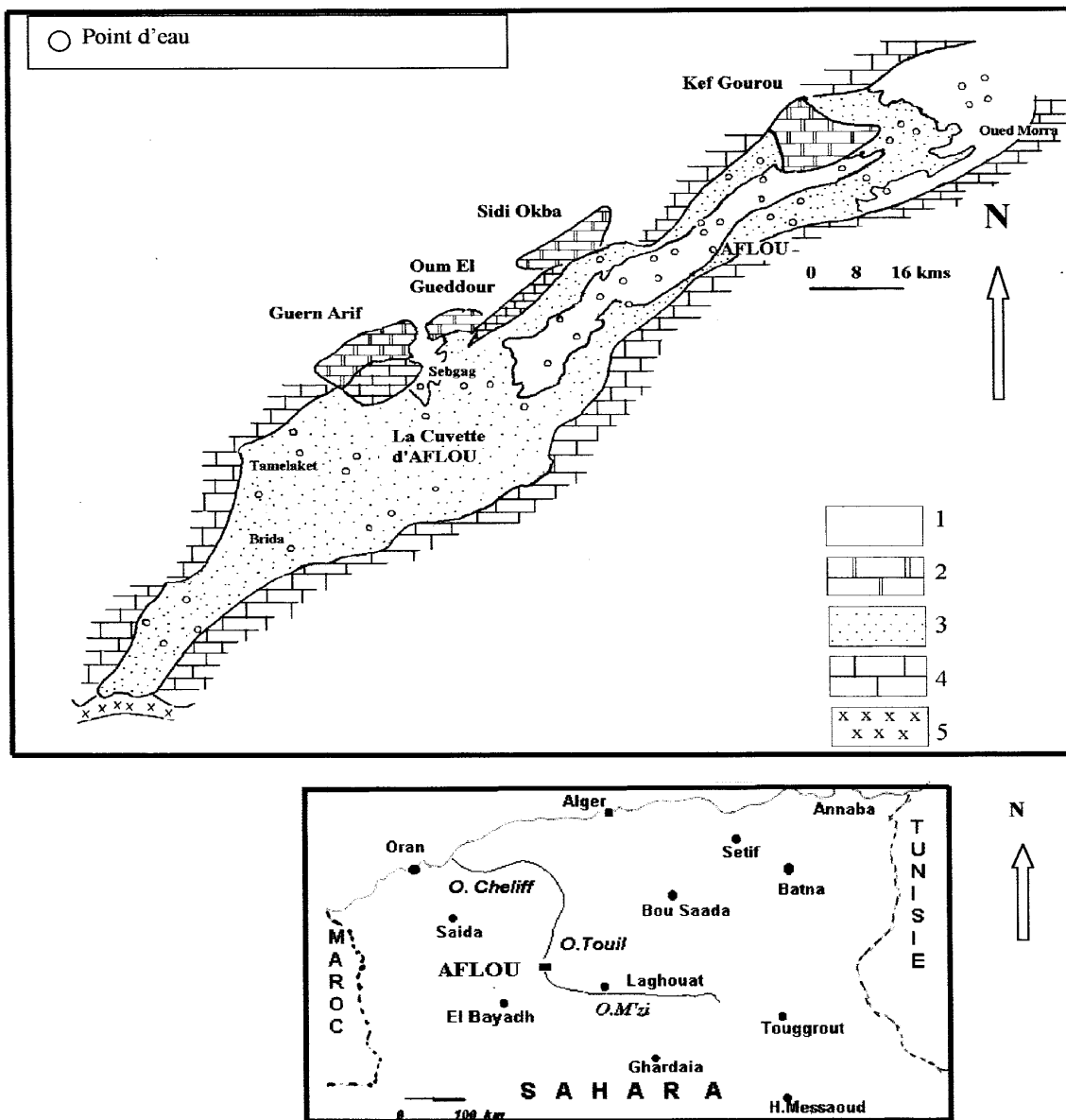
Ain Arar 4L /S

Ain Mançour 4L/ S

Ain Ouamri 5L/S actuellement (sèche)

Les sources dont l'émergence est lié aux cassures de direction N130°E, le débit ne dépasse guère les 2L /s. [6]

Figure 2 : Carte géologique simplifiée de la région d'Aflou et localisation des points de prélèvement.
Simplified geologic map of the Aflou region and the sampling sites



- 1 - Mio – Plio – Quaternaire : Sables et argiles.
- 2 - Cénomano-Turonien : Marnes vertes gypseuses et calcaires dolomités
- 3 - Barrémien-Aptien- Albien : Grés et marnes
- 4 - Portlandien : Calcaires et marnes.
- 5 – Trias : roche verte, gypse et halite.

Figure IV-3: Carte géologique simplifié de la région d'Aflou

Source Stamboul 2001

LOG - HYDROGÉOLOGIQUE

PROFONDEUR (m)	AGE	LITHOLOGIE LOG	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	PERMÉABILITÉ	HYDROGÉOLOGIE
0 à 50	QUATERNAIRE		- Sable argilo-limoneux	Perméable à peu perméable	Circulation d'interstices
100 à 400	TERTIAIRE continental	A - A - A	- Argiles rouges à gypses, marne, sables conglomérats	Peu perméable	Circulation d'interstices
< 300	Sénouian	Grès	- Lacune alluvionnaires, dans la région d'Aflou.		
30 à 70	Turonien		- calcaire micritique avec quelques plaques de marne.	peu perméable	Circulation par fissures
60 à 140	Cénozoïque		- marne gypseuse et calcaire.	Imperméable	Substratum
70 à 110	Albien sup.		- calcaire, argile, et grès (rare)	peu perméable	Circulation par fissures
120 à 180	Albien inf.		- Alternance grès - argileux.	Perméable	Circulation d'interstices par fissures et par chenaux
100 à 230	Aptien	Inférieur	- Alternance grès - argileux, avec une barre calcaire.	peu perméable	Circulation d'interstices et par fissures
80 à plus de 300	Valanginien Romandien		- Alternance de grès à dragées de quartz, argile gypseuse, et argile.	Perméable	Circulation par interstices, par chenaux et
30 à 280	Portlandien Romandien		- calcaires, marne-calcaire, et marnes.	Perméable à peu perméable	Circulation par fissure.
> 160	Niméridien Romandien et Portlandien	Supérieur	- Alternance de gypse, et d'argile gypseuse.	Imperméable	Substratum.
≈ 180 ou sup	Niméridien Supérieur		- grès, marne-calcaire, calcaire et argile.	Perméable	Circulation par interstices, chenaux et par fissures
≈ 400	Niméridien inférieur		- calcaire dolomitique, argiles gypseuses, et calcaires à ostracodes.	Imperméable	Substratum.
500 à 300			- Alternance - grès - argileux.	peu perméable	Circulation par fissures
				Perméable	Circulation par interstices, chenaux et par fissures.

Figure IV-4(1) : Log hydrogéologique nappe du synclinal d'Aflou

Source ANRH

LOG HYDROGEOLOGIQUE

LOG	EPAISSEUR	ETAGE	LITHOLOGIE	PERMEABILITE	HYDROGEOLOGIE
	0 - 1	Quaternaire	Albien, sable	Peu perméable	Interstices
	80	Turonien	Calcaire	Perméabilité fissure	Fissure Karstique
	150	Cénomanién	Marnes gypseuses	impermeable	Substratum
	100	Albien supérieur	Calcaire gréseux	Perméabilité de fissure	Interstices et fissure
	100	Albien inférieur	gréseux	Perméable	Aquifère multicouches Circulation d'interstices et de formes et de chenaux
	50 à 60	APTIEN			
	1100 à 1200	Valanginién Barremien			
	120	Portlandien	Calcaire	fissure	Circulation de fissure
	170	Kimméridgien	Marne gypseux	impermeable	Substratum
	150	Kimméridgien	Gréseux	impermeable	Circulation d'interstices
	350	Kimméridgien supérieure	Marno-calcaire Marne gypseux Marno-calcaire		Substratum
	500	Kimméridgien supérieure	Gréseux	perméable	Aquifère profond Circulation d'interstices et de fissure

Figure IV -4(2) : Log hydrogéologique nappe du synclinal d'Aflou

Source ANRH

IV.6.CONCLUSION :

Selon une étude faite par Mr Stamboul madani on peut conclure qu'au niveau d'Aflou, l'écoulement converge de l'Ouest et de l'Est vers le centre pour prendre ensuite une direction N - S. Les isopièzes décroissent de 1435 m à moins de 1410 m au Nord. Le gradient hydraulique qui est de 0,008 au niveau des lignes de partage des eaux à l'Est et à l'Ouest prend une valeur de 0,003 Au Nord.

Au niveau d'El Haoudh, l'écoulement général présente une direction du Sud vers le Nord avec des variations du niveau piézométrique de 1430 m - 1435 m à 1400 m au Nord et un gradient hydraulique de 0,02 à l'Est et 0,0044 vers le milieu et le Nord ceci traduit l'amélioration de la perméabilité (dépôts alluviaux), cette unité coïncide avec l'axe du synclinal gréseux (Barrémien - Aptien - Albien).

Au niveau d'Ain Mansour, l'écoulement se fait S - N avec des convergences en provenance de l'Est et de l'Ouest; les isopièzes décroissent de 1440 m à l'Est et l'Ouest et de 1480 m au Sud à 1360 m vers le Nord. Le gradient hydraulique décroît dans le même sens, sa plus haute valeur se localise au Sud: 0,08, à l'Est et l'Ouest varie entre 0,02 et 0,04; vers le Nord il prend une valeur de 0,002. Ces variations sont liées à la présence de dépôts alluviaux et au pendage faible des couches gréseuses au Nord. Cette unité coïncide avec l'axe du synclinal gréseux du Barrémien, Aptien, Albien.

Au niveau de Sebgagla carte piézométrique montre un écoulement souterrain suivant une direction S - N avec des variations du niveau piézométrique de 1440 m au Sud et 1320 m vers le Nord où émergent les sources les plus importantes de la région, le gradient hydraulique décroît dans le même sens de 0,013 à 0,0066, ceci est dû d'une part au dépôt des alluvions au niveau de la dépression de Sebgag d'autre part au pendage des couches gréseuses qui est très faibles à cet endroit et ne dépasse pas les 10%. Cette unité coïncide avec le synclinal du Barrémien, Aptien, Albien (voir carte n° du mur de l'aquifère du Barrémien, Aptien, Albien).

Au niveau de Kef Gourou, la crête piézométrique (due à la remonté du Trias); les eaux souterraines ont un écoulement convergeant vers le NE avec des variations de niveau de 1460 m au Sud à 1320 m au Nord Est; le gradient hydraulique est de 0,0066 à l'Est - 0,02 au Sud - 0,015 à l'Ouest et 0,005 au Sud. (8)

C'est au Sud et au niveau de la Dhaiet El Malha que les dépôts alluvionnaires sont les plus importants.

Au niveau d'Oued Morra, l'écoulement se fait vers le Sud Est avec des variations piézométriques de 1420 m à 1250 m. Le gradient hydraulique décroît dans le même sens de 0,04 à 0,01.

Au niveau de Tamelaket, la crête de Temelaket partage les eaux souterraines en trois sous bassin. On constate un écoulement du sud vers le nord avec variation de niveau piézométrique de 1430 à 1380 m, le gradient hydraulique est de l'ordre de 0.008 à 0.004.

Au niveau de A Sidi Taifour, l'écoulement et de se fait de l'ouest on ouest, Le gradient hydraulique est de l'ordre de 0.0014 à 0.0026. [6]

CHAPITRE

V

ETUDE HYDROLOGIQUE DU SYNCLINAL D'AFLOU

V-1-INTRODUCTION :

Le chevelu hydrographique, de la région étudiée est peu dense, puisqu'il est influencé par les pentes du relief, et la nature lithologique des roches encaissantes. Il est drainé par un certain nombre d'Oueds dont la plupart sont à secs. Les Oueds, les plus importants sont, par bassin-versants : [7]

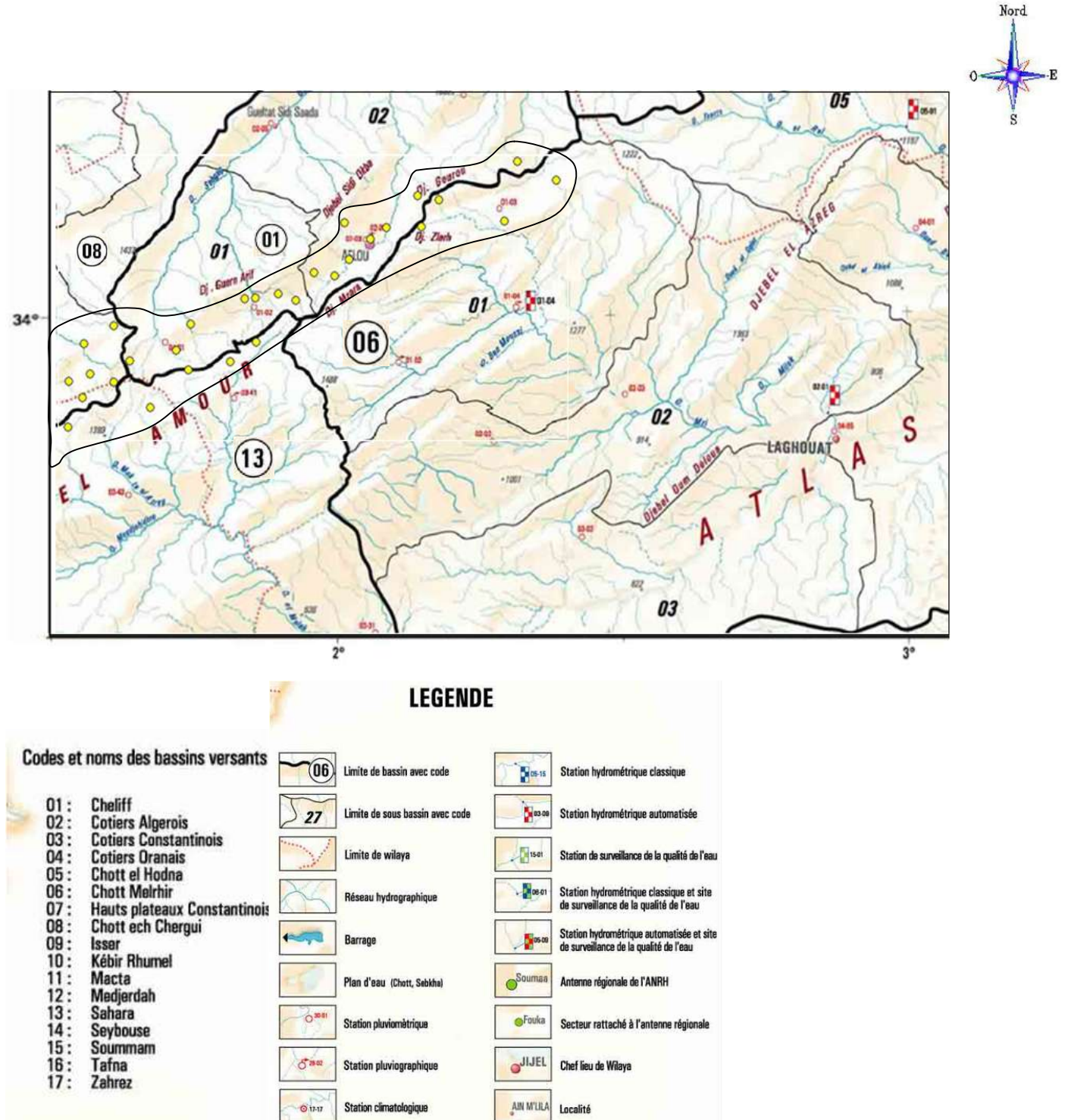


Figure V-1 : Localisation de la nappe du synclinal d'Aflou -source ANRH-

Les Oued le plus important, dans la région, appartenant à ce bassin, est Oued Sebgag, qui est le premier affluent d'Oued Chlef.

Le plus grand, débit, jauger, dans la station de Gueltat Sidi Saâd, qui est l'exutoire de cet Oued, est de 254 l/s (Février 1991). [7]

V.1.1 Sous-Bassin De Qued Namous-Chellal :

Au niveau de ce sous-bassin, les Oueds ne sent pas importants sauf lors des crues, autrement, ils s'estorquent en s'infiltrant dans les grès et sables. [7]

V.1.2 Bassin-Versant du chott Melghir :

- **sous-bassin. oued m'zi amont :**

Dans ce bassin-versant, les Oueds les plus importants sont :

- L'Oued El-Ghicha, qui est pérenne dans les premiers kilomètres avant de s'infiltrer dans les grès.
- l'Oued Melah, qui est pérenne, au niveau de la station de l'ANRH « SEKLAFKA » son débit maximum en cet endroit est de 425 m³/s (Novembre 1986), alors que le débit minimum, jauger est de 50 l/s (Mai 1976). [7]

V.1.3 Bassin Versant Des Hauts Plateaux Oranais :

- **sous-bassin de Oued Sidi-Naceur :**

Oued SIDI-NACEUR est alimenté par les sources, du synclinal de HADJ EL Mecheri, tel que AIN RAS EL MA (40 l/s, campagne Février 1986) Cet Oued, est rarement a sec (Juin 1974). Le débit maximum jauger, au niveau de la station de SIDI NASSEUR, est de 466 m³/s (MAI 1976). [7]

V.1.4 Bassin-Versant du SAHARA :

- **Sous-Bassin de l'ERG occidental :**

Oued Moudjahidine est le plus important cours d'eau de ce sous-bassin. Il a des affluents, généralement pérenne, tel que :

- Oued BOUALEM, Oued SIDI SLIMANE et Oued TAOUIALA.

Le débit, maximum, jauger, à la station de SIDI BRAHIM (exutoire de l'Oued Moudjahiddine) est de 314l/s (21/06/89).II est rarement à sec (Juillet, et Août 1990). [7]

V.2- RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

Les Oueds, de la région d'Aflou, en raison des pentes du relief, et de la nature de l'encaissement sont caractérisés par de fortes et rapides crues, après les pluies violentes. Ils ont un temps de passages assez courts, de 10 à 30 minutes, sauf pour les Oueds importants est pérenne, comme l'Oued Moudjahiddine qui a une pente très faible. [7]

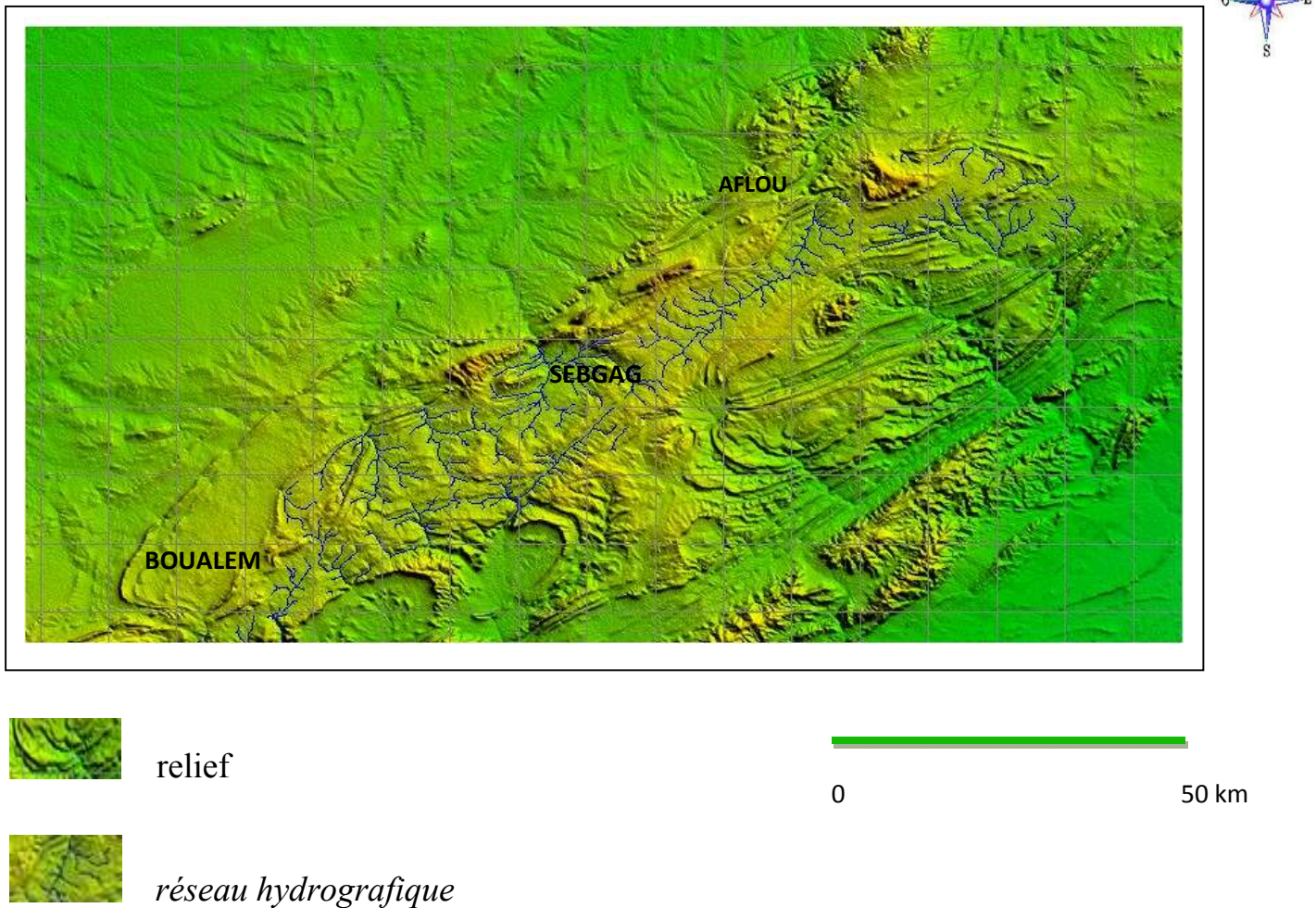


Figure V.2 : Réseau hydrographique au niveau de la nappe d'Aflou

V.3- BILAN HYDROLOGIQUE :

L'équation du bilan, peut s'écrire de différentes façons, mais la plus simple étant [7]

$$P = E + R + I + Vr$$

P : Précipitation annuelle, ou lame précipitée (mm)

E : Évapotranspiration réelle (ETR) (mm)

R : Ruissellement ou lame ruisselée (mm)

I : Infiltration ou lame infiltrée (mm)

Vr : Variation des réserves (mm)

V.3.1-Précipitation :

- **Bassin (01-01) :**

Au niveau de ce sous-bassin, nous notons l'existence de deux stations pluviométrique, Brida (01.01.01), et Sebgag (01.01*02) leur précipitation moyenne annuelle, est respectivement de 217,68 mm, et de 569 mm, donc la moyenne est de 293,34 mm [7]

$$P = 293,34 \text{ mm}$$

- **Bassin (01-02) :**

Nous notons, l'existence, dans ce bassin, de quatre postes pluviométriques, mais trois seulement sont en fonction depuis une longue période.

Secteur d'Aflou (01.02.02) P = 354 mm.

Sidi Bouzid (01.02.04) P = 280 mm.

Gueltat Sidi Saad (01.02.05) P = 254 mm.

Pour déterminer la lame d'eau précipitée (P), sur le sous-bassin, nous avons utilisé la méthode des polygones de thiessen : [7]

$$P_{\text{moy}} = 285,83 \text{ mm.}$$

- **Bassin (06-01) :**

Avec la même méthode, de thiessen, pour trois stations pluviométrique

EL-GHICHA 06.01.02 P = 139,2 mm

OUED MORRA 06.01.03 P = 439, mm

SEKLAFI 06.01.04 P = 238 mm

Nous obtenons donc P = 287,52 mm

- **Bassin (08-10) :**

En raison, de l'inexistence dans ce bassin de données, sur de longue période, et étant donné, que le sous-bassin (01.01 est dans son voisinage immédiat, nous avons supposé P, comme étant la même P= 293,34 mm.

- **Bassin (13-01) :**

La seule station, ayant, une longue période d'observation étant celle de TAOUIALA, donc nous avons pris la précipitation moyenne annuelle de celle-ci $P = 263$ mm. [7]

V.3.2. Evaporation :

Étant donné, que la température, n'a été observé, qu'a Aflou, l'ETP, calculé, concernera tous les sous-bassins, de la région étudiée :

- ETP calculé, par la méthode de **Thornwhaite** :
- $ETP = 562,67$ mm
- $ETR. = 262,54$ mm. [7]

V.3.3. Ruissellement :

TIXRON et BERKALOFF ont donné en 1961, une relation permettant de calculer, une valeur approchée du ruissellement •[7]

Cette formule s'écrit :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

P : étant la précipitation moyenne annuelle (mm)

ETP : étant l'évapotranspiration potentielle (mm) .

- Bassin (01-01) :
 $R = 26,57$ mm soit 9,06 % des précipitations
- Bassin (01-02) : précipitations
 $R = 24,58$ mm soit 8,60 % des précipitations
- Bassin (06-01)
 $R = 25,02$ mm soit 8,70 % des précipitations
- Bassin (08-10) :
 $R = 26,57$ mm soit 9,06 % des précipitations
- Bassin (13-01) :
 $R = 19,15$ mm soit 7,28 % des précipitations

V.3.4-Infiltration

$$I = P - R - ETR$$

- Bassin 01-01 :
ETR = 89,5 % des précipitations I= 1,44 % soit I =4,22 mm
- Bassin 01-02 :
ETR = 91,85 % des précipitations ==>que le calcul de I est Impossible
- Bassin 06-01 :
ETR =91.% des précipitations => Le calcul est impossible
- Bassin 08-10 :
ETR= 89,5 % des précipitations => I =1,44 %
- Bassin 13-01
ETR m 99,82 % des précipitations m que le calcul de I est impossible.[7]

V.4. INTERPRETATION DES RÉSULTATS :

- L'ETR calculée par la méthode de Torn Whaite. est sous estimée par conséquent le ruissellement calculé par la méthode de TIXERON - BERKALOFF, sera sur estimée d'où les résultats obtenus.
- L'ETP à cause de la donnée de température, n'a pu être calculé sur les autres sous-bassins.[7]

V.5 INFILTRATIONS CALCULÉES PAR JAUGEAGES DIFFÉRENTIELS :

- * SEKLAFA (Bassin 06-01)
Volume infiltré = 0,0148 m⁵ soit 21,70 % du volume ruisselle
- * OUED SEBGAG (Bassin 01-01)
Volume infiltré = 0,0148 m³ soit 23,50 % du volume ruisselle.
- * OUED MOUDJAHIDDINE (Bassin 13-01)
Volume infiltré = 0,0253 m soit 21,01 % du volume ruisselle

V.6.CONCLUSION :

Les méthodes utilisées, ne donnent, que des valeurs approchées de ruissellement et d'infiltration.

Pour faire un bilan, il faut à notre avis, effectuer des mesures in situ de l'évaporation (bacs d'évaporation) de l'insolation, de la nébulosité, multiplier les mesures de température, pour avoir une température homogène de l'ensemble des bassins. [7]

CHAPITRE

VI

HYDRODYNAMIQUE DE LA NAPPE
DU SYNCLINAL D'AFLOU

VI.1. CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE LA NAPPE :

VI.1.1. MÉTHODOLOGIE ET RAPPEL DES ÉQUATIONS :

Les équations utilisées pour le traitement analytique des essais de pompage sont des équations donnant le rabattement en fonction du débit et des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère. Lors de la mise en route d'un pompage un certain volume d'eau disponible dans le forage est prélevé créant ainsi un rabattement du niveau d'eau il en résulte un déséquilibre hydrostatique entre l'eau du forage et celui de la nappe. Cette différence de pression entraîne un écoulement de l'eau contenu dans la nappe vers le puits à travers les parois l'évolution du cône de dépression engendré par le pompage est fonction du débit puisé, de la durée du pompage et des caractéristiques hydrauliques des terrains dans lesquels s'effectue le pompage d'essai. Pour la détermination des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère. on applique l'équation d'approximation logarithmique de C.V THEISS dans le cas d'un régime d'écoulement transitoire et l'équation de C.V JACOB pour le régime permanent [8]

VI.1.2. LA MÉTHODE SEMI-LOGARITHMIQUE DE C.E.JACOB.

Dès qu'en un point donné, t devient suffisamment grand, l'équation de THEIS admet une approximation admet une approximation logarithmique :

$$s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2S} = \frac{0.183Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{r^2S}$$

t : temps écoulé depuis de début de pompage (s)

Q : débit de pompage constant (m³/s)

T : transmissivité de l'horizon aquifère (m²/s)

s : rabattement observé au temps t à une distance r du puits (m)

S : coefficient d'emménagement (m/s)

Cette équation représentant-le le rabattement à une distance r du puits de pompage est valable à :

0,25 % près dès que $1/u \geq 100$

2 % près dès que $1/u \geq 20$

5% près dès que $1/u \geq 10$

10% près que $1/u \geq 6.7$

u : argument des fonctions de puits

On estime que l'approximation à 5 % près est suffisante. ceci revient à supposer $t \geq 10r^2s/4T$

le calcul de T et S consiste à porter les valeurs du rabattement observé en fonction du logarithme du temps de pompage, à tracer la droite qui passe au mieux par ces points et à relever sur graphique $i =$ pente de droite $s = f(\log t)$ numériquement égale à l'augmentation de s par cycle logarithmique $t_0 =$ temps correspondant à l'intersection de la droite avec l'axe $s=0$

alors :
$$T = 0,183 Q/i$$

$$s = 2,25Tt/r^2$$

On appelle courbe caractéristique, la courbe qui joint tous les points représentant le débit en fonction du rabattement dans le puits en cours de pompage. Si l'on se trouve en dessous du débit critique et si l'on fait abstraction des pertes de charges, on doit obtenir une droite.[8]

A. Forage ain arar :

La profondeur du forage est de 150 m, il traverse les grés du Barrémien,

- Le niveau dynamique :

Equipements :

- De 0,00 m à 70,00 m tubages A.P.I 13'' 3 /8 : chambre de pompage.
- De 70,00 m à 150 m crépine : colonne de captage (exploitation).[8]

B. Forage Afii/Sa/WI :

Ce forage présente une profondeur totale de 300 m, avec 200 m de tubage API 13"3/8 comme colonne d'exploitation et 100 m de crépine colonne de captage. Un essai de débit à 3 paliers a été effectué sur le forage à l'aide d'une pompe à axe vertical. Le niveau statique : N.S=22,18m [8]

- Interprétation des essais de pompages :

Un essai de débit a palier enchainés a été exécuté sur le forage à l'aide d'une pompe à axe vertical.

Caractéristiques	1 ^{er} palier	2 ^{ème} palier	3 ^{ème} palier
Durée du pompage t (s)	9h	9h	1h
Débit Q (l/s)	10	20	25
Rabattement s (m)	12,32	24,10	30,98
Niveau dynamique (m)	34,50	46,28	53,16

- **Sens de l'écoulement :**

Dans la région d'EL Haoudh le sens de l'écoulement est généralement EW-NS, il est à noter la possibilité d'une alimentation à partir des flancs du synclinal.

Dans la région d'Oued Morra les écoulements se font du NW-SE c'est à dire de gourou vers le village de Oued Morra.[8]

Dans la région du Djebel Hairach, l'écoulement suit la direction Ouest-Est.

- **Gradient hydraulique :**

Au niveau d'EL Haoudh le gradient hydraulique est de l'ordre de 0,3%, sa valeur augmente et atteint 2,7% dans la vallée d'Oued Morra

L'étude hydrogéologique des aquifères de la région du djebel Amour a permis de préciser les caractéristiques de ces nappes, d'apporter de nouveaux éléments sur les réserves en eaux souterraines et sur les possibilités d'exploitation dans le cadre de l'alimentation en eau de la région du djebel Amour.[8]

Du point de vue climatique cette région est soumise à un climat semi-aride, la pluviométrie moyenne annuelle est de 305.5 mm et pourrait atteindre 357 mm sur les sommets, la température moyenne annuelle est de 12,97 °C.

L'étude géologique a mis en évidence des aquifères très importantes du point de vue exploitation. [8]

- **Aquifère du mio-pliocène :**

Il s'agit des formations sablo-argileuses

- **Aquifère du turonien :**

Généralement la nappe est installée dans un réseau de failles qui longent les calcaires dolomitiques suivant une direction préférentielle N.130°. Les émergences des sources se trouvent au contact des marnes et des calcaires dolomitiques.[8]

- **Aquifère du barrémien Aflou- Sebgag – Brida :**

c'est le système le plus important de la région limité au sud par les formations jurassiques du djebel Zlag et au nord par les mêmes formations au niveau de Sidi Boulefaa c'est un aquifère multicouches comprenant un système superficielle à un réseau d'émergences et un autre captif profond, les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère sont très peu connues, les essais de pompes réalisés sur les ouvrages implantés sur le synclinal d'Aflou ont donné les résultats suivants de la transmissivité T et de la perméabilité K [8]

VI.1.3. INTERPRÉTATION DE LA GÉOPHYSIQUE :

Dans ce cas on s'intéressera particulièrement à l'étude de la géométrie et de la nature des différentes formations du synclinal d'Aflou et ce par a l'interprétation des résultats de l'étude géophysique réalisée par l'Entreprise Nationale de Géophysique (ENAGEO) en 1986 et ce à la lumière des données (géologiques et hydrogéologique) acquises à partir de la réalisation de nouveaux forages et de la campagne piézométriques de 1990 qui vont nous servir de base pour un étalonnage plus précis des sondages électriques.

L'étude géophysique réalisée par l'ENAGEO comporte au total 206 sondages électriques répartis sur des profils d'orientation NW-SE distants entre eux de 1500 m, réalisés perpendiculairement aux structures plissées Atlasiques. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un dispositif Schlumberger avec une ligne d'émission AB de 4000 m (94 S. E) et de 3000 m (112 S. E). En ce qui concerne le secteur étudié (synclinal d'Aflou) nous n'avons pris en considération que des profils représentant quelques sondages électriques.[8]

VI.1.4. ÉCHELLE DES RÉSISTIVITÉS ADOPTÉE:

L'échelle des résistivités adoptée par l'ENAGEO en ce qui concerne les différentes formations géologiques est la suivante.

Tableau VI.1: échelle des résistivités des différentes formations

<i>ECHELLE DES RESISTIVITES EN OHM.M</i>	<i>CARACTERISTIQUES LITHOLOGIQUES</i>	<i>AGE DES FORMATIONS</i>
<i>15-80</i>	<i>ARGILES ET ARGILES GRESEUSES</i>	<i>VALAGINIEN-BARREMIEN</i>
<i>100-600</i>	<i>GRES</i>	<i>VALAGINIEN-BARREMIEN</i>
<i>95-300</i>	<i>CALCAIRES ET GRES</i>	<i>ALBO-APTIEN</i>
<i>20-50</i>	<i>ARGILE</i>	<i>CENOMANIEN</i>
<i>100-135</i>	<i>CALCAIRES</i>	<i>TURONIEN</i>

Les travaux de terrain et l'interprétation des résultats des sondages électriques ont permis l'établissement

Des cartes de résistivité apparentes en ligne d'émission AB (400m, 1000m, 3000 m) et ce pour suivre l'évolution latérale des différents faciès ainsi que leur variation avec la profondeur.[8]

Dans la région d'Aflou, il est à noter l'existence d'une structure plissée lors de l'orogénèse alpine dont la partie centrale correspond à un synclinal dissymétrique présentant un flanc plus redressé au SE et où affleurent essentiellement des formations du Crétacé inférieur, dont la géométrie et la nature lithologique sont assez variables d'un endroit à un autre. Il a été mis en évidence l'existence d'une structure plissée constituée par les formations du Valanginien-Barrémien représentée de deux niveaux résistants séparés par un horizon conducteur d'une résistivité comprise entre 24 et 85 ohms.m et montrent :

Une diminution de l'épaisseur du niveau conducteur représenté par des argiles et des argiles gréseuses du SW vers le NE.[8]

Une diminution de la résistivité du second niveau résistant constitué par des grès du centre du synclinal vers les bordures NW et SE [8]

Les sondages montrent un rétrécissement du synclinal et ce au niveau de sa bordure NW affectée d'un accident tectonique mettant en contact les formations du Valangénien-Barrémien et celles du Portlandien-Berriasien, Il est à noter le toit du second niveau résistant est moins profond.[8]

Le niveau argileux intercalaire est moins épais, L'accroissement de la résistivité et de l'épaisseur du niveau argileux supérieur ainsi qu'un approfondissement du toit du second horizon résistant. Il est à noter un rétrécissement du synclinal avec une diminution de l'épaisseur de l'ensemble des niveaux lithologiques et un accroissement de la résistivité du premier horizon conducteur.[8]

VI.1.5. CARTES DES RÉSISTIVITÉS APPARENTES:

La carte des résistivités en ligne AB = 400 m permet principalement de suivre la structure du premier horizon résistant et montre que la résistivité la plus élevée (1 00 à 300 ohms. m) est localisée au niveau [8]

Des profils selon un axe d'orientation SW-NE correspondant à cet endroit à l'axe du synclinal dissymétrique dont le flanc SE est assez redressé, contrairement au flanc NW représenté par des niveaux argileux conducteurs (résistivité < 1 00 ohm. m). [8]

Du profil 28, où l'on note l'individualisation de deux axes synclinaux, l'un correspondant aux formations résistantes du Valanginien-Barrémien au SE et l'autre à l'Albo-Aptien au NW séparé par l'accident tectonique passant par le Djebel du Sidi Okba et celui du Chebka. (voir carte de l'épaisseur du 1er niveau résistant)

Des profils 31 et 32 où l'on remarque que l'axe du synclinal correspondant au niveau résistant gréseux du Valanginien-Barrémien devient plus étroit du fait de l'accroissement de l'épaisseur des niveaux argileux conducteurs. [8]

Des profils 33 et 34 où on observe deux plages résistantes correspondantes au Turonien et à

l'Albo-Aptien séparées par un niveau conducteur Cénomaniens.

La carte des résistivités en ligne AB=1 000 m montre au niveau [8]

VI.1.6. CARTE DE RÉSISTIVITÉ TRANSVERSALE :

La carte des résistivités transversales permet de mettre en évidence deux zones résistantes où R_t est supérieure à 40000 ohms.m² il s'agit respectivement des secteurs situés au SW et au NE de la localité d'Aflou et correspondant à l'axe synclinal constitué par des formations résistantes du Valangénien-Barrémien mis en évidence par les cartes d'iso résistivités en ligne AB=400, 1000, et 3000 m). Il est à noter que les zones à faibles résistances transversales sont localisées sur les flancs du synclinal, là où les épaisseurs des niveaux résistants sont plus faibles. [8]

La carte en isopaches du premier niveau résistant gréseux du Valangénien-Barrémien montre trois zones où celui-ci a une épaisseur supérieure à 150 m situées le long d'un axe synclinal d'orientation SW-NE).

Tableau VI-02 : perméabilité et transmissivité (source Stamboul Madani)

Lieu	Points d'eau	Lithologie	Descente Theis	Descente Jacob	Remontée Theis-Jacob	Walton	Hantush	S	Auteurs	
L A G O U A T	P 27 / 478	Mio-Pliocène Alluvions	$5,04 \cdot 10^{-3}$	$8,69 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$			0,033	HANNACHI	
	40 / 479	Alluvions	$1,39 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$					
	166 / 479	Alluvions	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$					
Djebel Milok	HAMDA	Alluvions: M. Pliocène et grès Albien		$5 \cdot 10^{-3}$					Stamboul Kamel Isri	
A F	AF II	Palier I Q=10l/s		$6,5 \cdot 10^{-4}$					Stamboul	
		Palier II Q=20l/s		$2,6 \cdot 10^{-4}$	$9,1 \cdot 10^{-4}$					
L	AFLOU III		Grès Albien		$4 \cdot 10^{-4}$ $2,2 \cdot 10^{-4}$				Stamboul	
	Hadj Mechri		Grès Albien	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$2,76 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	Stamboul
O U	T A R K A L L E L	Palier I 23 l/s Palier II 26 l/s Palier III 29 l/s	Grès Kimmeridgien		$0,7 \cdot 10^{-3}$	$1,31 \cdot 10^{-2}$ $5,26 \cdot 10^{-3}$ $1,13 \cdot 10^{-2}$ $1,83 \cdot 10^{-3}$			Stamboul	
	El-Bayadh El Hayette Draa Lahmar			Grès Kimmeridgien	$1,7 \cdot 10^{-4}$ $5,9 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$ $5,6 \cdot 10^{-2}$ $8,2 \cdot 10^{-3}$		$2 \cdot 10^{-4}$		$1,1 \cdot 10^{-3}$

VI. CONCLUSION :

A cet effet, nous tenons à signaler, que l'industrialisation dans cette région, doit impérativement être soumise, à certaines règles, pour protéger la nappe, du point de vue qualité.

Les ressources en eau les plus importants et les plus facilement mobilisables dans les complexes gréseux du barémo-albo-aptien où les débits extraits sont relativement importants.

CHAPITRE

VII

HYDROCHIMIE DES EAUX DE LA NAPPE
DU SYNCLINAL D'AFLOU

VII.1. INTRODUCTION :

Le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-). Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface, Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physicochimique des eaux souterraines. On observe principalement deux types d'influence: [4]

- En agriculture : apports de K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ et PO_4^{3-} .
- Rejets des eaux usées : apports de Na^+ , K^+ , NO_3^- , Cl^- et quelques métaux lourds.

Le présent chapitre traite du chimisme des eaux souterraines, et nous permettra d'essayer tentons d'expliquer le comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques décrits pour expliquer le fonctionnement hydraulique du système aquifère. [4]

Tableau VII-1 : Paramètres Physico-chimiques et Métaux lourds

Paramètres	Unité	Méthodes d'analyses
pH (laboratoire)	pH	PH-mètre robotisé SP10
Conductivité à 25°C (laboratoire)	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Conductivimètre
Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours	$\text{mg}/\text{l O}_2$	Dilution ou Oxy Top (Respirométrie)
Demande chimique en oxygène	$\text{mg}/\text{l O}_2$	Dichromate
Ammonium	mg/l	Colorimétrie
Nitrites	mg/l	Colorimétrie
Calcium et Magnésium	mg/l	Spectrométrie à flux continu auto-analyseur
Sodium et Potassium	mg/l	Photométrie de flamme
Bicarbonates	mg/l	Volumétrie
Sulfates	mg/l	Turbidimétrie
Chlorures et Nitrates	mg/l	Colorimétrie auto-analyseur à flux continu
Métaux lourds (Cu, Mn, Fe, Zn, Pb, Hg, Cd)	$\mu\text{g}/\text{l}$	ICP-AES Spectrométrie par torche à plasma (ICP atomic emission spectrometry)

VII.2 -MESURES PHYSICO-CHIMIQUES :

Trois cents soixante quatre (364) échantillons, et qui ont été analysés au laboratoire d'analyse des eaux de l'ANRH.

Ces résultats d'analyses, nous permettront d'une part de préciser, la minéralisation des eaux de la région, leur concentration, et la variation de la composition chimique de ces eaux dans le temps et dans l'espace. [4]

Tableau VII-2 : échantillons analysés pour chaque nappe (source ANRH)

Ions	Quaternaire(Q)	Albien (N5)	Valangénien Barrémien (N2+4)	Portlandien berriasien (J6-N1)	Kimméridgien Terminal à Portlandien (J5-6)	Kimméridgien calcaréo Gréseux (J5d)
Ca ⁺⁺ (%)	150	40	13.96	31.03	80.95	56.66
Mg ⁺⁺ (%)	22.22	20	3.15	-	11.90	6.66
Cl ⁻ (%)	16.66	-	2.25	-	2.38	-
SO ₄ ⁻ (%)	77.77	100	38.28	72.41	95.24	86.66
NO ₃ ⁻ (%)	27.77	-	11.71	17.21	23.81	6.66

VII.2.1 Potentiel D'hydrogène PH :

Les eaux de la région d'Aflou ont un PH acceptable, légèrement basique, puisqu'ils varient de 7,1 à 8,2.

Seul le puits n° 66/448, appartenant à la commune de SIDI TIFOUR, ne répond pas aux normes établies par l'OMS, qui exige un pH compris entre 6,5 et 9,2, pour une eau destinée à l'AEP, puisqu'il atteint 10,9.[4]

VII.2.2 Résidu Sec :

Le résidu-sec des eaux, de l'aquifère principal (grès du valanginien barrémien) varie entre 220 mg/l et 1590 mg/l, donc nous pouvons les traiter, d'être de bonne potabilité chimique. Il existe quelques exceptions, 07 points d'eaux sur 230. [5]

Dans les anticlinaux, nous rencontrons des eaux à résidus-sec, assez élevé, puisque éteignant parfois 7822 mg/l (17/475), cela est dû à la nature des formations du Kimméridgien terminal à portlandien gypseux, dès fois nous rencontrons des sels purs (HALITE) et alternance avec des marnes.

VII.2.3 Conductivité :

Dans la région d'Aflou, la conductivité varie de 4 à 113 en (1/18 de mmhos à 25°C). Les eaux du quaternaire, qui est très localisé, ont des conductivités varier entre 7 (très rare) à 45 1/10 de mmhos.

* Les eaux du valanginien - barrémien, étant les moins chargé ont une conductivité qui varie de 6 à 23 1/10 de mmhos.

* Les eaux du jurassique, à part le Kimméridgien gréseux qui est peu chargé avec de conductivités variant de 16 à 37 l/10 mmhos, ont des résidus secs très élevés, d'où les conductivités sont aussi grandes puisque variait entre 22 et 113 l/10 mmhos.

Donc les eaux du valanginien restent les plus potables chimiquement, et nous déconseillons le captage des eaux du Kimméridgien évaporitique, qui sont très salées, et peuvent atteindre 14 gr/l. (Forage réalisé par une équipe Ms.sc aux alentours de Sidi Taifor).[5]

VII.2.4 Degrés Hydrométrique Total : DHT

Le DHT varie, dans la région d'Aflou, de 14 à 340°F. Seules les eaux du valanginien ont des DHT, non élevés, et qui répondent aux normes de l'OMS (inférieur à 35°F).[6]

Les eaux des autres formations, même le quaternaire et le Kimméridgien gréseux, ont des valeurs élevés, puisque atteignant parfois 340°F (Puits 17/475 captant les eaux du Kimméridgien vaporitique).

- Baux quaternaire (27 à 154, 35°F)
- Eaux valanginien-barrémien (22 à 75°F)
- Eaux portlandien – berriasien (82,15 à 164, 35°F)
- Eaux Kimméridgien évaporitique (atteignent 340°F)
- Eaux Kimméridgien - gréseux (61,90 à 197,50°F)

VII.2.5 Potabilité Chimique Des Eaux :

Dans ce paragraphe, nous étudierons les teneurs des éléments chimique par rapport aux normes établies par l'OMS.[6]

VII.2.5.1-Ion Calcium (Ca^{++}) :

Les eaux de bonne potabilité chimique, selon les normes de l'OMS, devant renfermer entre 150 et 200 mg/l.

14,74% des points recensés, captant le valanginien-barrémien ne répondent pas à ces.

Ailleurs, c'est 50,44% des points recensés captant les autres nappes qui ne répondent pas à ces normes.[6]

VII.2.5.2-Ion Magnésium (Mg^{++}) :

La concentration maximale admissible de magnésium (Mg^{++}) est de 150 mg/l de 5,21 % des points d'eaux recensés, captant le valanginien-barrémien, dépasse le seuil admissible.

Ces 5.21% de Mg^{++} et 14,74 % de Ca^{++} , ne peut être expliqué que par le quaternaire, qui est riche en Ca^{++} et Mg^{++} . Les eaux de pluies en s'infiltrant et en traversant le quaternaire se charge en Ca^{++} et Mg^{++} , avant d'arriver au grès du valanginien barrémien. [6]

Ailleurs, c'est 8,85 % des points d'eaux recensés, captant les autres nappes qui dépassent la norme. [9]

VII.2.5.3-Ion Chlore (Cl⁻) :

La concentration maximale admissible de chlore est de 600 mg/l de 1,74 % des points d'eaux recensés, captant les grès du valanginien-barrémien, ne répond pas aux normes. Ailleurs, c'est 4,42 % des points d'eaux recensés, captant les autres: nappes qui ne répondent pas à ces normes. [6]

VII.2.5.4-Ion Sulfate (SO₄⁻⁻) :

La concentration maximale admissible est de 250 mg/l. 46,95% des points d'eaux recensés, captant les grès du valanginien-barrémien, ne répondent pas aux normes établies par l'OMS.

Ailleurs, c'est 66,57 % des points d'eaux inventoriés, captant les autres nappes, qui ne répondent pas à ces normes.

Nous notons, d'après ces pourcentages, que les eaux de la région d'Aflou sont sulfatées, mais toujours est-il que les eaux des grès du valanginien-barrémien le sont moins. [7]

VII.2.5.5-Ion Nitrate (NO₃⁺) :

La concentration maximale admissible de nitrate est de 45 mg/l. 55,65 % des points d'eaux recensés, captant les grès du valanginien-barrémien, ne répondent pas aux normes établis par l'OMS.

Nous rencontrons des taux élevés de nitrates là où on pratique, de la culture maraîchère, d'eu c'est les engrais qui sent la cause de ces teneurs, facilité par une infiltration rapide.

Ailleurs, ce n'est que 15,04% des points d'eaux recensés, captant les autres nappes, qui ne répondent pas à ces normes, car les terres agricoles y sont rares. [7]

VII.2.6. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques :

Dans le but de bien identifier les faciès hydro-chimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique de s résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Piper et à celui de Schoeller-Berkaloff. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes [7]

VII.2.6.1. Diagramme de PIPER :

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global. [7]

Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants. [7]

VII.2.6.2. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF:

Le diagramme de Schoëller- Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence. [7]

Diagramme de Piper Afloou 2007

Chlorure et Sulfate
Calcique et Magnésie

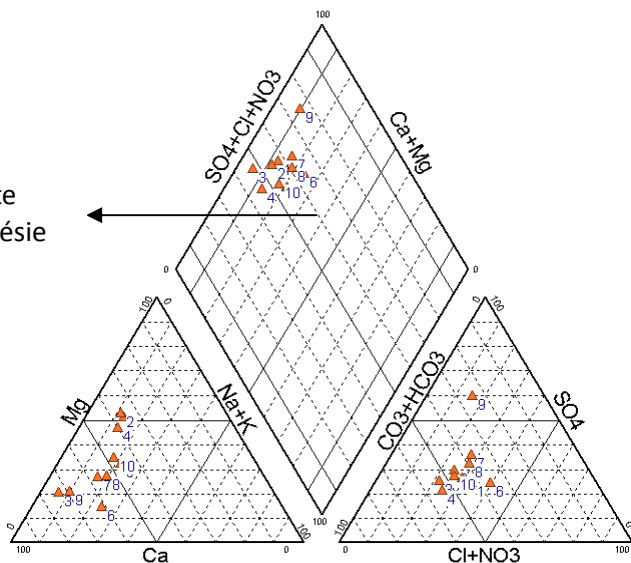


Figure VII-01 : Représente des analyse chimique sur le diagramme de piper

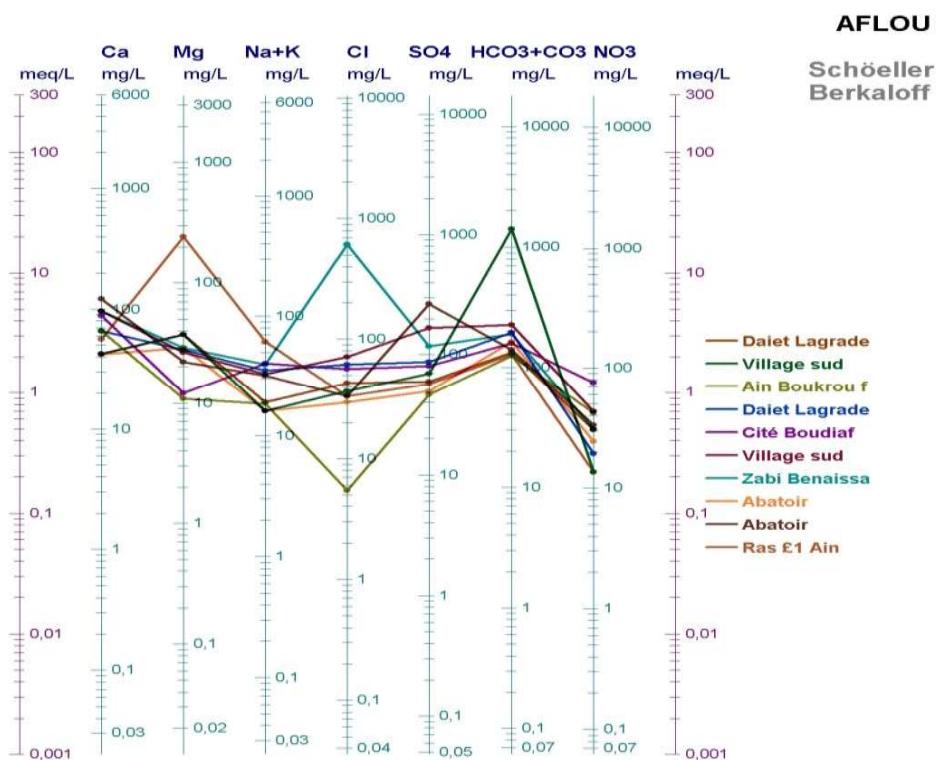


Figure VII-02 : Représente des analyse chimique sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF

Source ADE 2007

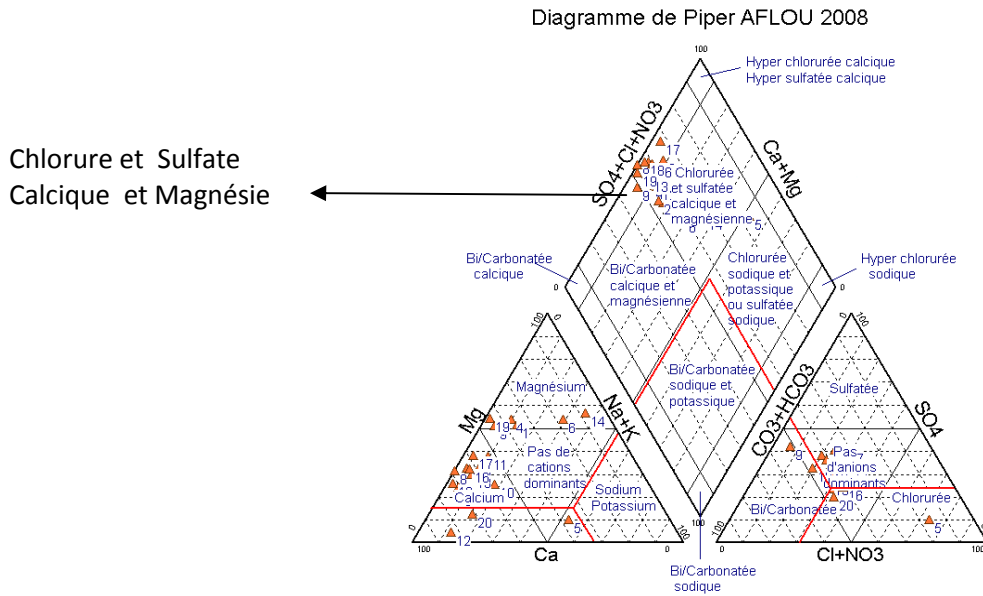


Figure VII-03 : Représente des analyse chimique sur le diagramme de piper 2008

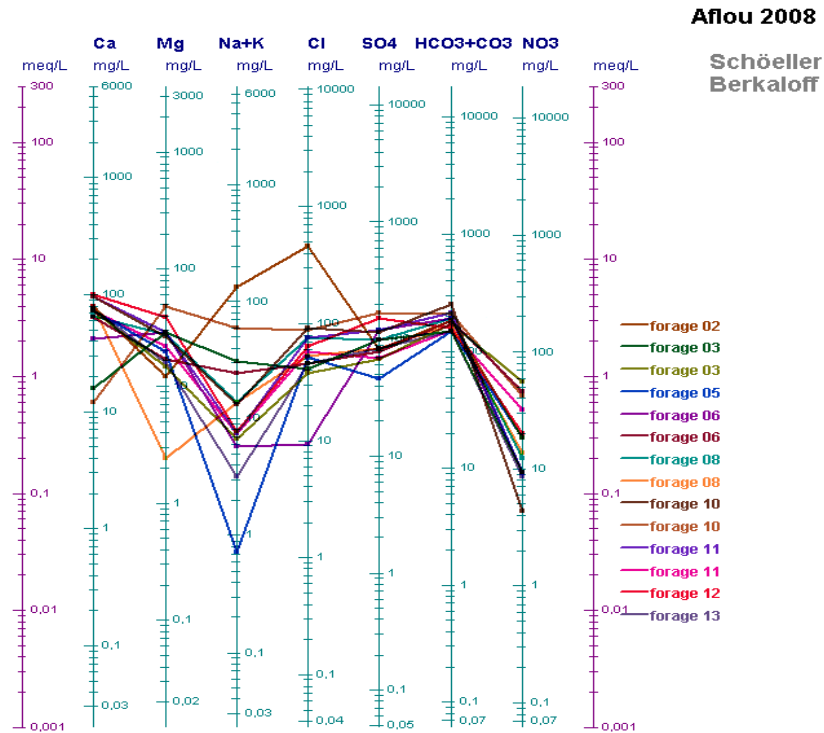


Figure VII-04: Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF ville d'Aflou - Source ADE (2008)

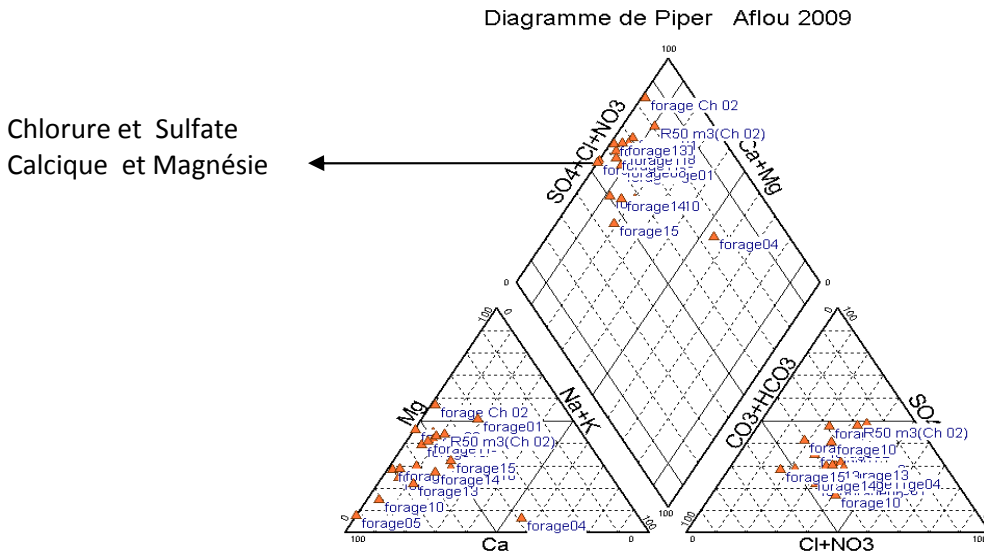


Figure VII-05 : Représente des analyses chimiques sur le diagramme de piper 2009

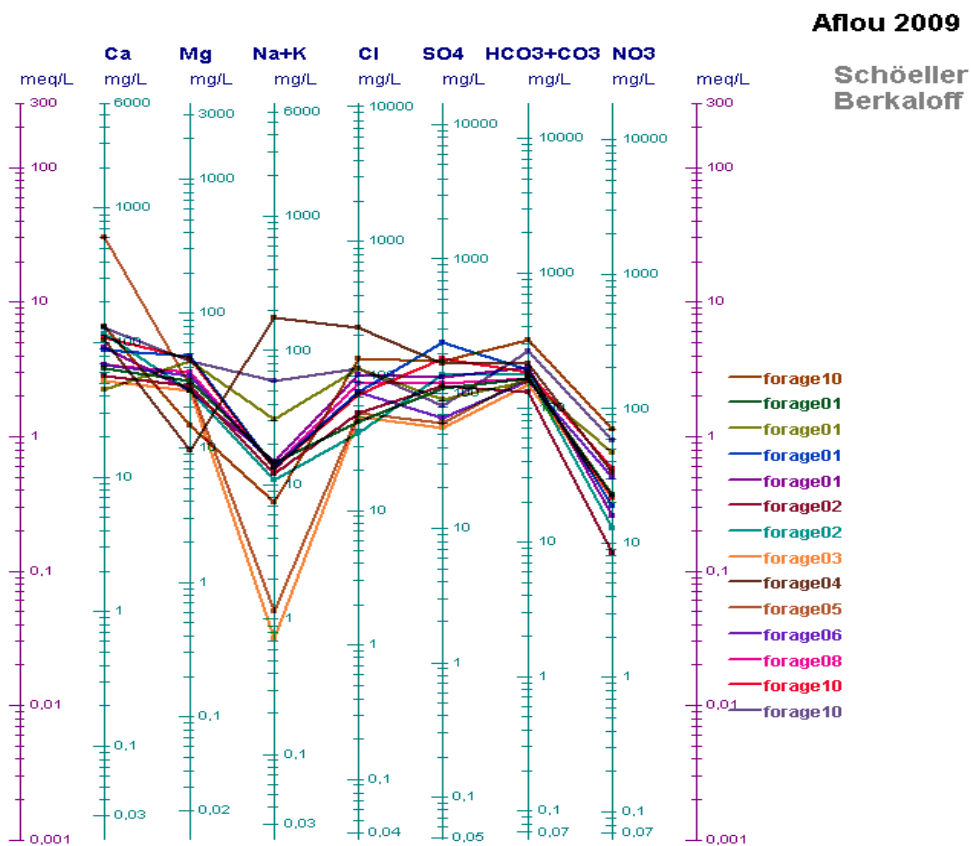


Figure VII-06: Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF ville d'Aflou - Source ADE (2009)

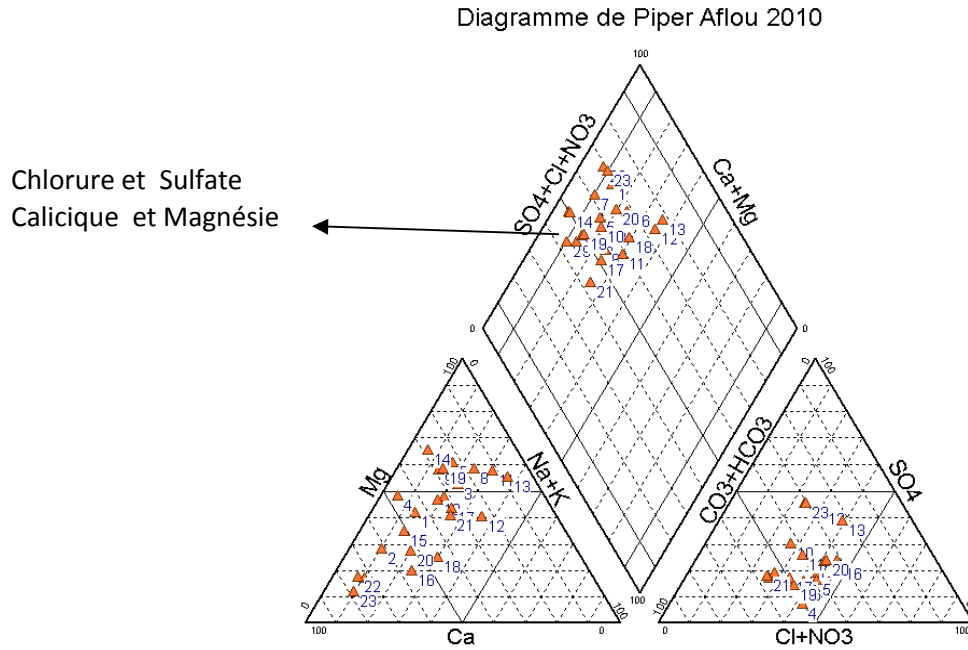


Figure VII-07: Représente des analyses chimiques sur le diagramme de piper 2010

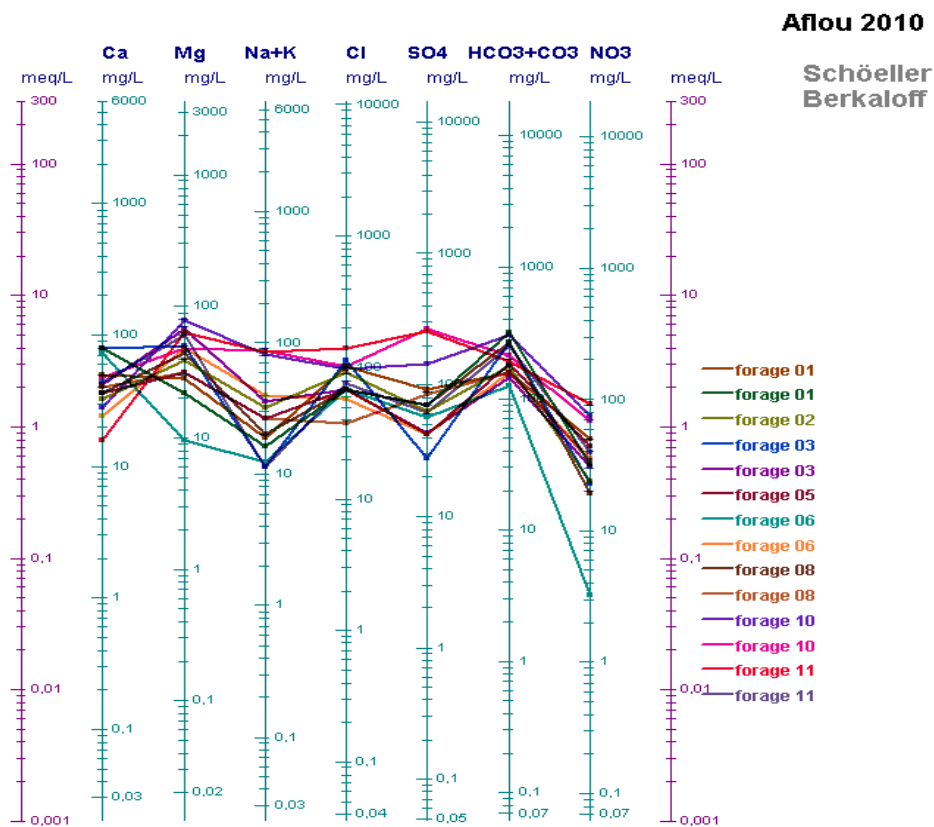


Figure VII-08: Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF ville d'Aflou - Source ADE (2010)

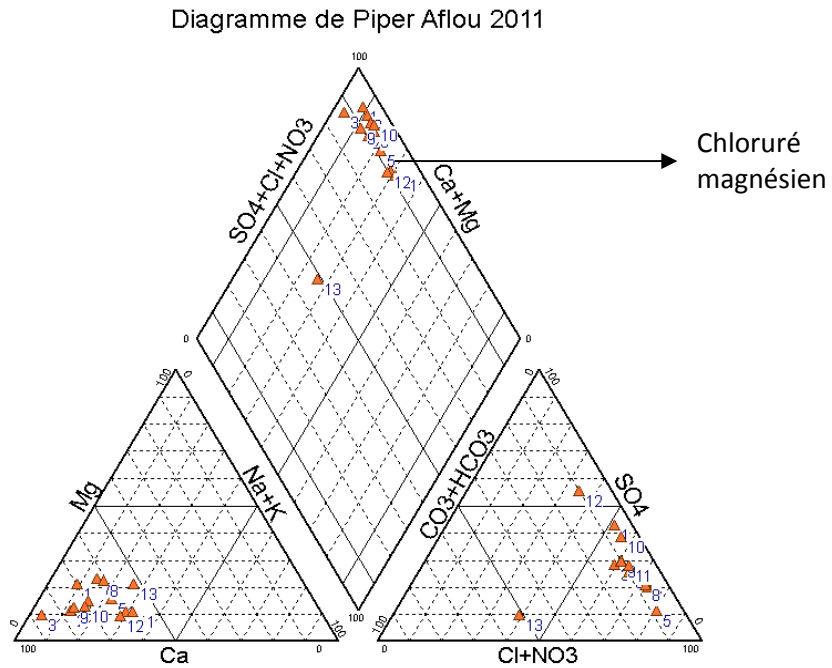


Figure VII-09 : Représente des analyses chimiques sur le diagramme de piper 2011

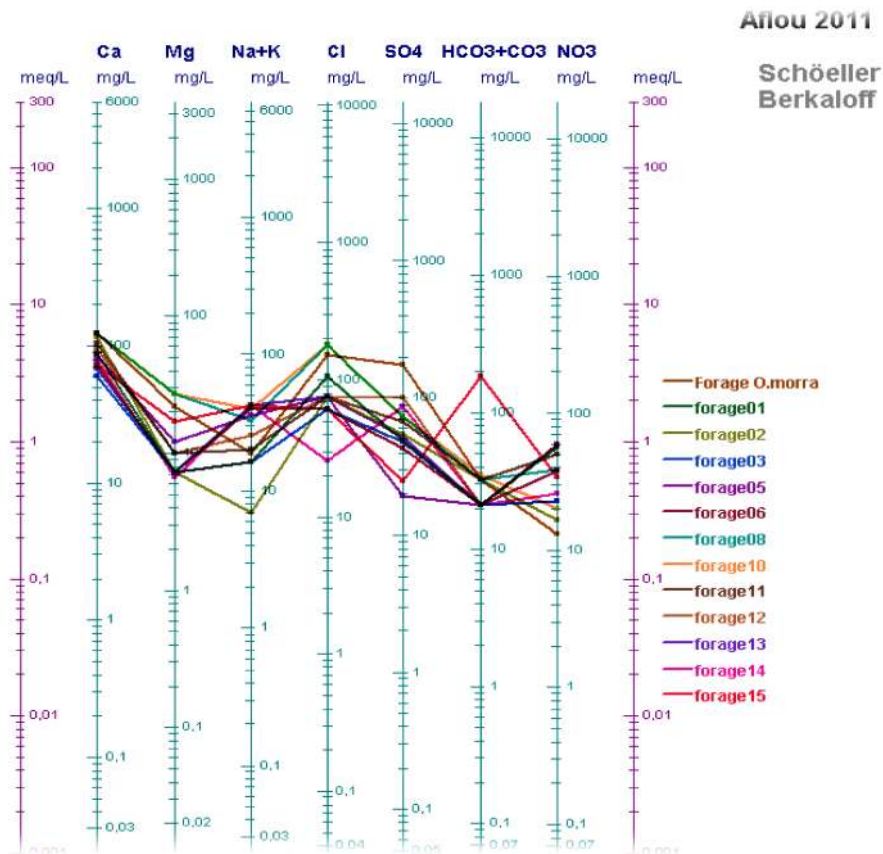


Figure VII- 10: Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF ville d'Aflou - Source ADE (2010)

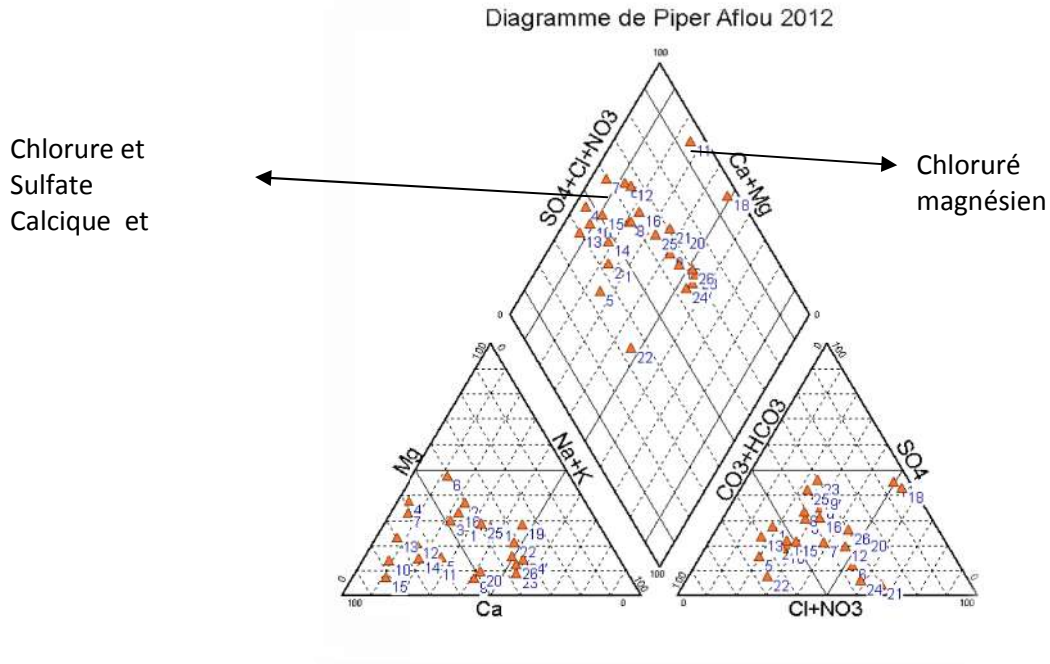


Figure VII-11 : Réprésente des analyse chimique sur le diagramme de piper 2012

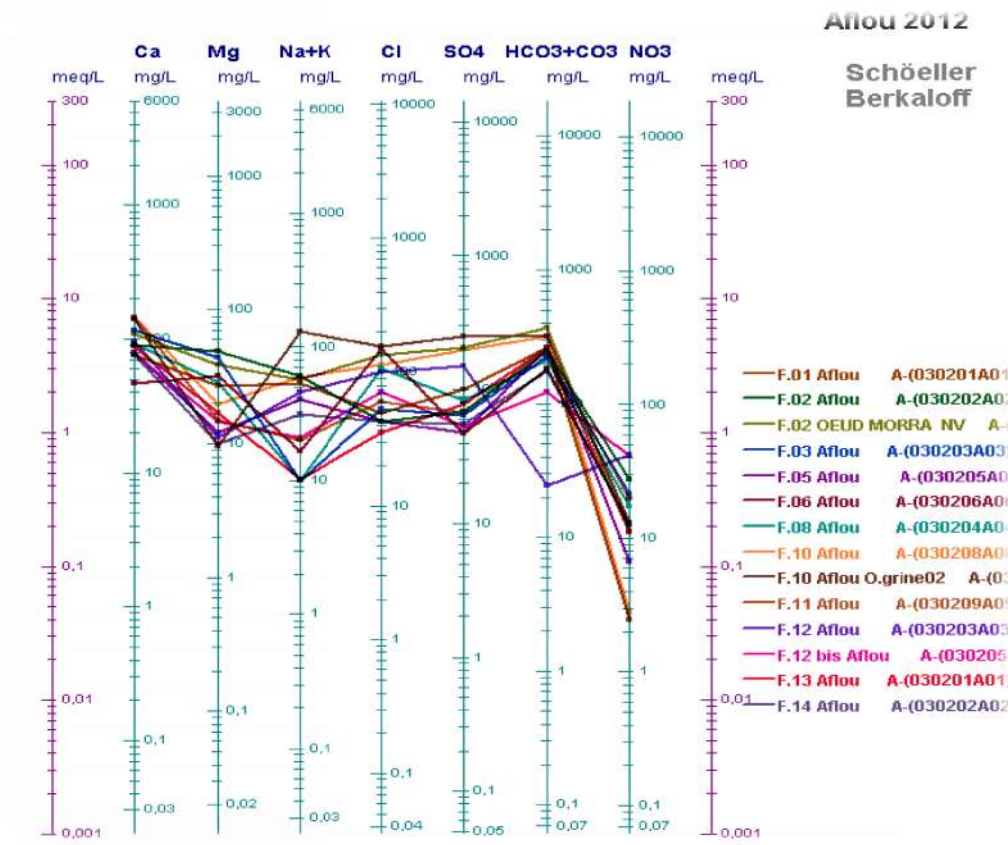


Figure VII-12: Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOF ville d'Aflou - Source ADE (2012)

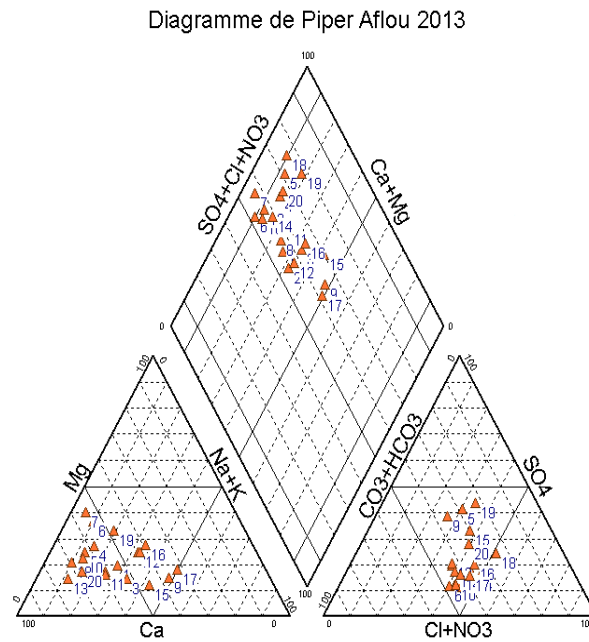


Figure VII-13 : Représente des analyses chimiques sur le diagramme de piper 2013

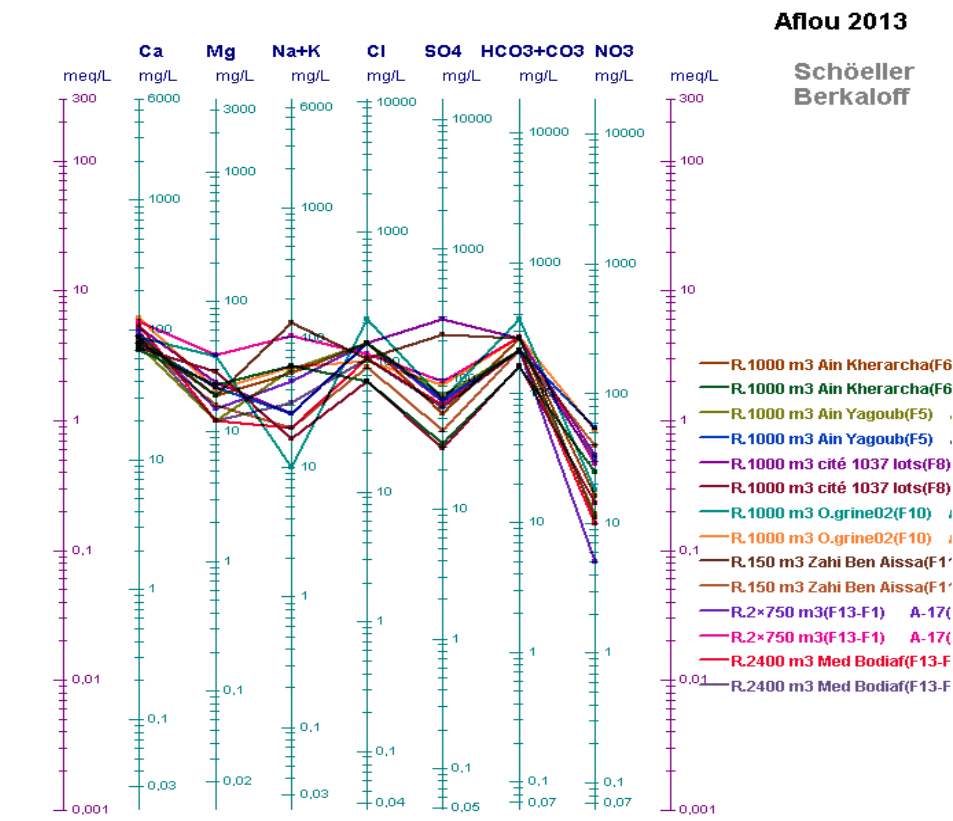


Figure VII-14: Représente des analyses chimiques sur le diagramme de SCOELLER BERKALLOFF ville d'Afrou - source ADE (2013)

Commentaire sur les résultats obtenus :

Dans notre diagramme de PIPER-Aflou 2007 et celui de SCOELLER BERKALLOF nous avons constaté que les faciès chimique se déterminent essentiellement le chlorure, le sulfate calcique et le magnésium avec des taux différents

Les eaux de la région d'Aflou, sent d'après le diagramme PIPER généralement, sulfaté a calcique. Pour plus de détails (8)

72,52 % sulfaté- calcique,

12,46 % bicarbonaté calcique

7,08% sulfaté magnésium

5,10 % chlorures calciques

1,41% chloruré sodiques,

0,85% bicarbonaté magnésium

0,56% chloruré magnésium

VII.3 CARACTÈRES CHIMIQUES ET POTABILITÉ DES EAUX :

Dans la région d'Aflou et ses environs, nous notons que 49,00 des points d'eaux recensés sont incrustantes, d'où elles peuvent provoquer des dépôts sur les parois internes des conduites, jusqu'à peut être les bouchés.

35,41% des eaux sont agressives, et pourront s'attaquer aux conduites, et aux canalisations; alors que 15,58 % des eaux sont neutres, ce caractère étant le plus souhaité pour une eau destinée à l'AEP.[9]

VII.4 POTABILITÉ DES EAUX D'APRÈS LE DIAGRAMME LOGARITHMIQUE :

D'après les diagrammes hydrochimiques, la qualité potabilité des eaux de la région d'Aflou dépendent de la formation géologique.

Les eaux du valanginien-barrémien, sont soit de bonne potabilité chimique, soit à potabilité passable, avec. Parfois des teneurs en sulfate, et des duretés élevées.

Les eaux du Kimméridgien terminal évaporitique, sont à potabilité chimique très mauvaises

Donc impropre à la consommation. [9]

VII.5 .CARTOGRAPHIE HYDROCHIMIQUE :

Les eaux souterraines contiennent toujours des sels dissous qui leur confèrent les caractéristiques du milieu dont elles sont issues. Ces sels peuvent également provenir de phénomènes exogènes qui ont contribué à des modifications de la chimie du milieu parmi lesquels on note l'évaporation et le lessivage. [10]

Afin de montrer la répartition spatiale des éléments chimiques, on a procédé à l'établissement de la cartographie hydrochimique. La répartition des concentrations dépend de plusieurs facteurs tels que la lithologie, l'état hydrodynamique de la nappe (les profondeurs de la surface piézométrique, la vitesse d'écoulement) et les conditions climatiques (une température élevée provoque l'évaporation et les précipitations engendrent le lessivage et la dissolution des roches). [10]

Dans notre présente étude, on va cartographier les éléments chimiques dominants caractérisant les faciès chimiques qui présentent une influence sur la qualité des eaux et qui montrent une évolution significative durant toute la période d'observation. . [10]

VII.5.1 Rapport Caractéristique Mg /Ca :

Dans la région d'Aflou, dans son ensemble le rapport Mg/Ca varie de 0,045 à 1,870.

Les régions, qui présentent un rapport supérieur à l'unité (01), sont au pied du Djebel Gourou, dans la plaine d'Aflou, le plateau que surplomb le Djebel M'HASSEUR, la source n° 1 de l'Oued Sebgag, (région très fracturée), le puits 23/447 sur la plaine du Djebel Tghisset, tous les points d'eaux situés dans le quaternaire (des régions de SIDI SLIMANE, TAOUIALA et BOUÀLEM), et tous les points captant le Kimméridgien calcaréo-gréseux .[10]

Cette teneur élevée de magnésium par rapport au calcium, est due à plusieurs facteurs, dont :

-Nous avons vu que les eaux du quaternaire, avaient des DHT très élevés, et surtout le magnésium , Le Kimméridgien calcaréo-gréseux est aussi riche en magnésium.

Les eaux de cette dernière formation, dans certains cas, ont tendance à monter en surface par l'intermédiaire de failles, et nous donnent des eaux riches en mg. [10]

VII.5.2 Rapport Caractéristique SO_4^- /Cl^- :

Ce rapport, dans la région d'Aflou, varie de 0 à 35,890. L'étude de ce rapport, nous permettra, de voir s'il existe un sens préférentiel d'alimentation en sulfate.

En examinant la carte des iso rapports SO_4^- /Cl^- , nous notons que les points d'eaux à teneur en sulfate élevé, avec un rapport supérieur à 5 sont cantonnés soit dans le portlandien berriasien (calcaire, grès, et marnes), soit dans le quaternaire avec en dessous le portlandien-berriasien, soit près de ces formations, ou en contrebas de celles-ci, ou aux abords du Kimméridgien évaporitique, ou finalement dans des endroits très failles, où il y'a alimentation par ascendance des nappes superficielles .[11]

VII.5.3 Rapport Caractéristique Cl^- / HCO_3^-

Il varie dans la région d'Aflou de 0,102 à 39,980. En examinant la carte du rapport caractéristique Cl^- / HCO_3^- nous constatons que les zones où ce rapport est grand, sont situées, là, où affleure le Kimméridgien terminal à portlandien marno-gypseux (formations salifère riche en NaCl) telle que Puits 43/449 (14,035), dans l'anticlinal, puits 16 et 17/475, avec des rapports respectif de 11,011 et de 39,980, situé dans l'anticlinal, au niveau de ces formations salifères.[11]

VII.6. APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION :

VII.6.1 Introduction :

Dans les zones arides et semi-arides, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue l'un des facteurs déterminants dans la production agricole, aussi bien dans l'intensification des cultures, que dans l'extension des surfaces irriguées. Pour les régions tempérées, les eaux superficielles constituent la principale source d'eau d'irrigation ; alors que dans les zones semi-arides, où cette ressource est rare ou inexistante, on fait appel aux eaux souterraines. Le développement de l'agriculture dans ces zones rencontre actuellement, en dehors de la rareté des ressources hydriques, de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation des sols qui peut être apprécié par la conductivité électrique et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière est due aux échanges ioniques (du sodium, du calcium et du magnésium) entre l'eau et le sol irrigué. [11]

L'accumulation des sels hydrosolubles dans le sol d'enracinement influe négativement sur la croissance des plantes, on a recensé deux séries d'effets de la salinité : les uns portent sur les végétaux, les autres sur le sol. En effet, ces sels causent des changements de la perméabilité et de l'aération du sol d'une part, et d'autre part ils provoquent des perturbations du métabolisme des plantes et du processus osmotiques de ces dernières. [11]

Comme la région d'Aflou est à vocation agricole, une étude d'aptitude des eaux à l'irrigation s'avère nécessaire car cette région se caractérise par une faible pluviométrie, une forte évaporation et une eau souterraine trop chargée en chlorures et en sulfates. Les risques qu'encourt cette plaine imposent une bonne connaissance des régimes hydriques et salins afin de pouvoir assurer une durabilité d'utilisation des ressources en eau et des sols. [11]

Dans la présente approche, on a fait l'estimation de quelques paramètres de salinité en rapport avec l'usage agricole pour les six campagnes saisonnières.

VII.6.2 Caractérisation Des Eaux Pour L'irrigation :

La salinisation peut entraîner, comme on l'a signalé précédemment, des effets nocifs sur la qualité des eaux pour l'irrigation, et ce en raison de la fixation du sodium et des chlorures par les colloïdes du sol. [11]

La présence du sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation et le sol :

- Un accroissement de la pression osmotique qui rend l'eau plus difficilement mobilisable par les plantes ;
- Une toxicité de certains ions pour les végétaux (Cl^- , Na^+ , etc.) ;
- Une dégradation du sol (modifications de l'état structural, diminution de la perméabilité, etc).

Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{+2} (échange de base) dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cette action. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est défini par la relation suivante : [11]

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

Les ions sont exprimés en méq/l.

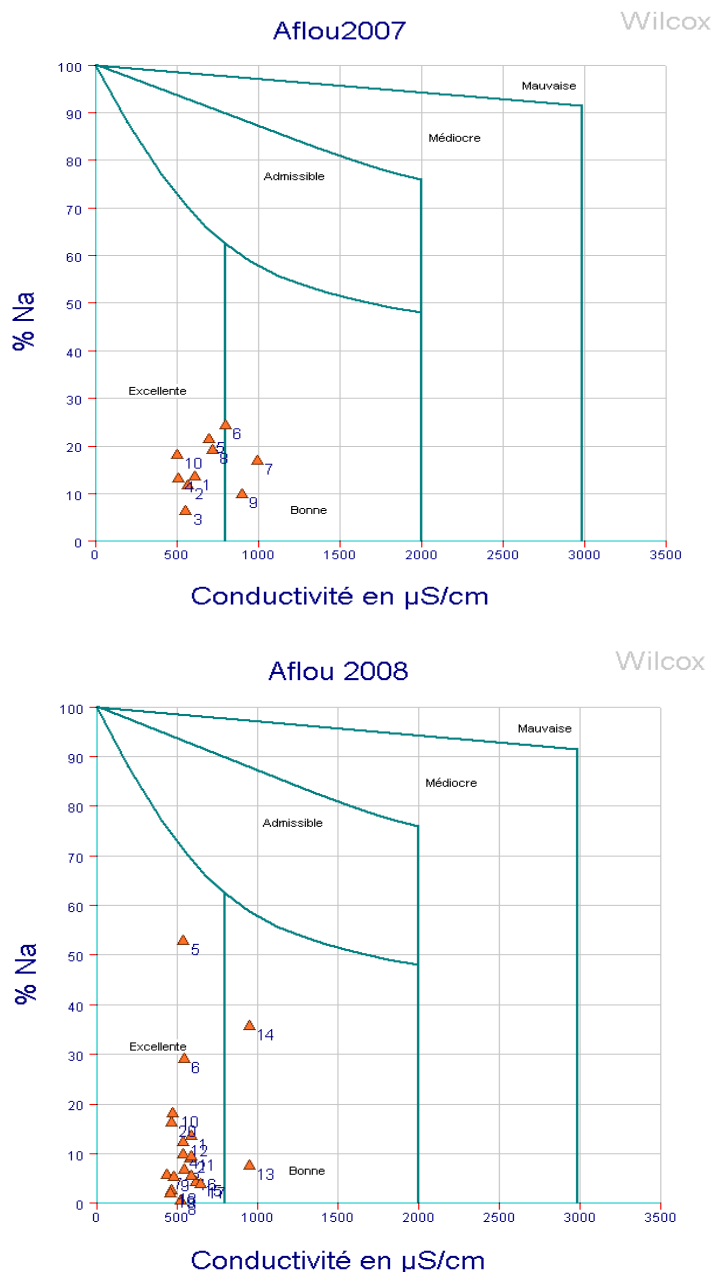
A. Classification des eaux par la méthode de Wilcox :

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage. [15]

La représentation des différents échantillons sur ce diagramme permet la caractérisation des eaux pour leur aptitude à l'irrigation. Le $\% \text{Na}^+$ est définie par la relation :

$$\% \text{Na}^+ = \frac{(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)} \times 100$$

Les ions sont exprimés en méq/l.

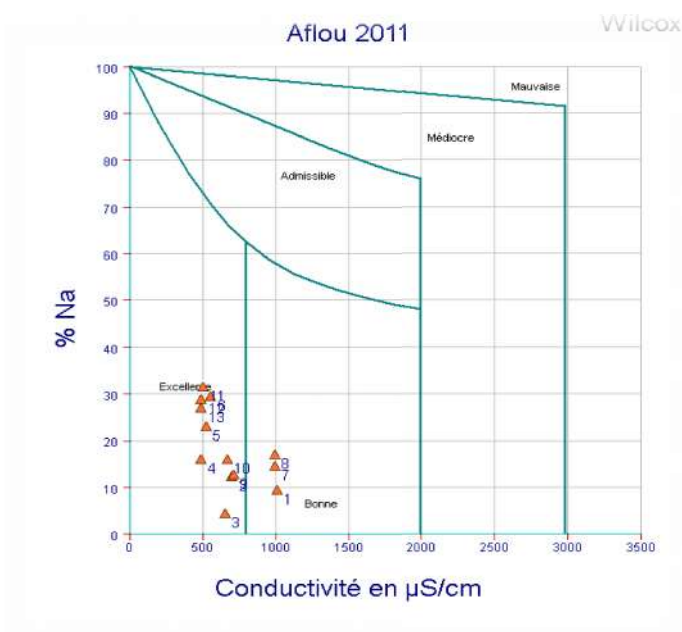
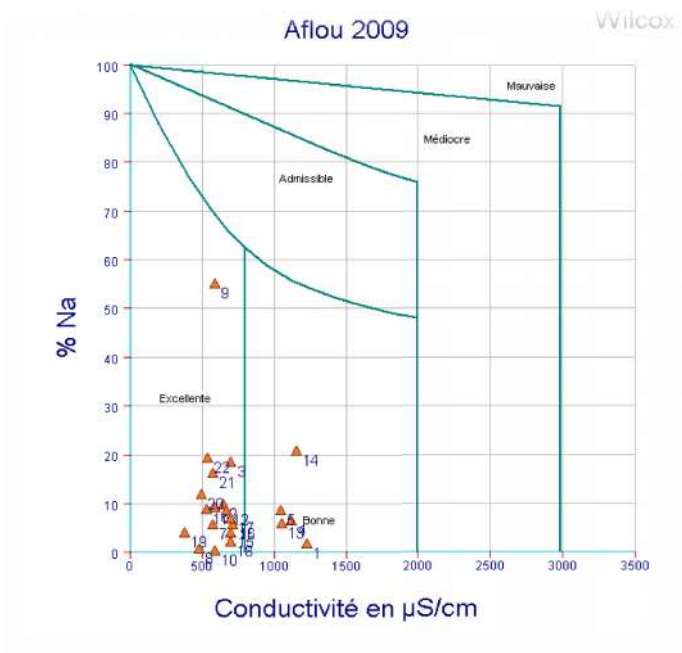


Figures VII-15 : Évolution de la qualité des eaux selon le diagramme de Wilcox (2007-2008)

Commentaire :

Dans le 1^{er} diagramme (Aflou-2007), nous avons remarqué que les eaux des forages (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10) sont excellent. Quant aux eaux des forages (7, 9) sont bonnes.

Dans le 1^{er} diagramme (Aflou-2008), nous avons remarqué que les eaux des forages (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20) sont excellent. Quant aux eaux des forages (13, 14) sont bonnes.



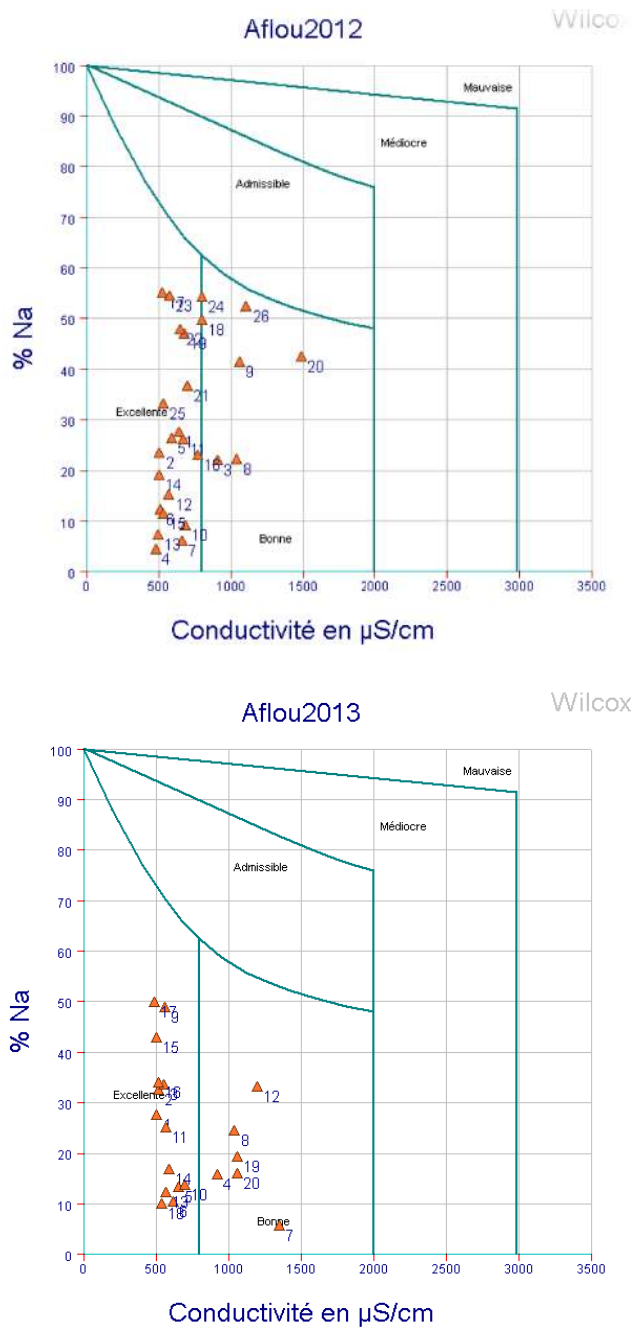
Figures VII-16 : Évolution de la qualité des eaux selon le diagramme de Wilcox

(2009-2011)

Commentaire :

Dans le 1^{er} diagramme (Aflou-2009), nous avons remarqué que les eaux des forages (2, 3, 4, 5,6, 8, 10, 11, 12,15, 16, 17, 18, 19, 20 ,21 ,22) sont excellent. Quant aux eaux des forages (1, 9, 5, 14) sont bonnes.

Dans le 1^{er} diagramme (Aflou-2011), nous avons remarqué que les eaux des forages (2, 3, 4, 5, 6 ,7,8 , 9, 10, 11,12, 15, 16) sont excellent. Quant aux eaux des forages (1,7, 8) sont bonnes.



Figures VII-17 : Évolution de la qualité des eaux selon le diagramme de Wilcox (2012-2013)

Commentaire :

Dans le 1^{er} diagramme (Aflou-2012), nous avons remarqué que les eaux des forages (1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 16, 17, 22, 23, 25) sont excellent. Quant aux eaux des forages (3, 8, 9, 10, 18, 20, 21, 24, 26) sont bonnes.

Dans le 1^{er} diagramme (Aflou-2013), nous avons remarqué que les eaux des forages (1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20) sont excellent. Quant aux eaux des forages (4, 8, 12, 19, 20) sont bonnes.

Les diagrammes montrent que les eaux souterraines de la nappe du synclinal d'Aflou, selon la classification de Wilcox, appartiennent aux classes : **Excellente et Bonne**

VII.7.CONCLUSION :

Pour conclure, les eaux de la région d'Aflou sont très sulfatées et parfois très dure.

Les eaux des grès du valanginien-barrémien, sont bonnes bien que parfois, nous notons, des taux de sulfate assez excessif, d'eau néfaste pour la dentition et quelques fois riches en nitrates, notamment dans les endroits cultivables, et cela peut causer des dégâts chez les nourissants.

Les eaux du portlandien-berriasien et du Kimméridgien terminal sont impropre à la consommation ;

Les eaux des grès du valanginien barrémien sont généralement, bonnes chimiquement à part quelques points d'eaux qui ont des teneurs excessifs en sulfates, qui sont dues soit à une ascendance des eaux, du portlandien berriasien, par l'intermédiaire de faille, soit dans certains cas, à un lessivage des pluies, de ces couches qui sont généralement en amont, et qui viennent alimenter les grès du néocomien en aval, ou soit à une infiltration des eaux du quaternaire qui est riche en Mg et en Ca, dans ces formations qui sont juste au dessous. [15]

Les teneurs parfois fortes en nitrates, sont dues, surtout à l'engrais, car, nous avons noté, que ces concentrations, sont cantonnées au niveau des terres cultivables seulement.

Par exemple, si nous prenons les deux forages de reconnaissance de Hadj El Mecheri et d'Aflou (850m), qui sont au cœur du synclinal, ne captent que les grès néocomien, sont loin des formations du Kimméridgien, et ne sont pas sur une ligne de faille, et loin des terres agricoles, leur eaux sont de très bonnes potabilité.

Quant aux eaux des autres formations :

- Les eaux du Kimméridgien calcaréo-gréseux, sont bonnes chimiquement mais de qualité moindre que ceux du néocomien, [15]

- Les eaux des autres formations jurassiques sont de mauvaises qualités chimiques, surtout du Kimméridgien terminal à portlandien gypseux qui sont salués.

l'origine des sulfates ne peut être attribuée qu'à la formation calcaireuse du portlandien-berriasien, et à un degré moindre au Kimméridgien terminal évaporitique. [15]

CHAPITRE

VIII

ETAT DE LA POLLUTION DE LA NAPPE
DU SYNCLINAL D'AFLOU

VIII.1. INTRODUCTION :

Les activités humaines passées ou présentes, et en particulier les activités industrielles, mais aussi agricoles et domestiques, libèrent dans l'environnement des produits et des substances potentiellement dangereux, appelés contaminants ou polluants. Ces derniers sont rejetés vers les milieux naturels (eau et sol). Leur présence, notamment dans les eaux souterraines, pose un problème transdisciplinaire à l'interface des écosystèmes et des ressources hydriques. [5]

La région d'Aflou a connu durant ces dernières années une certaine expansion économique et particulièrement agricole, après l'application du Programme National de Développement de l'Agriculture et celui du Fonds National pour la Régulation du Développement Agricole. Ceci a, d'une part, augmenté la demande en eau et a d'autre part exposé les ressources en eau à différentes pollutions résultant de l'activité agricole. [5]

Dans ce chapitre on essayer de délimiter les zones contaminées et à déterminer l'origine de ces contaminants dans l'aquifère, car le contrôle de cette contamination passe par une bonne connaissance des sources de contaminants et des conditions hydrodynamiques et lithologiques de la nappe, qui influent sur leur mobilité. [5]

VIII.2. LES PRINCIPALES SOURCES DE POLLUTION:

Durant nos sorties sur terrain, on a pu faire un inventaire des différentes sources de pollution, qui se résument comme suit:

1. L'élevage des animaux (ovins, bovins et volailles), qui produit une quantité importante d'azote
2. Les cultures maraîchère et céréalière, qui utilisent d'importantes quantités de fertilisants sous forme de fumier, ou d'engrais azotés (100 à 300 Kg/ha);
3. Les rejets urbains, qui déversent des eaux usées domestiques dans Oued El Medsous, sans traitement préalable
4. Les décharges ménagères sauvages de Chaabet Fras et Boukhrouf. [6]

VIII.3. POLLUTION AGRICOLE :

D'une surface de 600 HA, ces terres dépendent de plusieurs forages et puits (plus 150), avec un débit d'exploitation estimé à 700 l/s surtout pendant la période estivale. Ces points d'eau se localisent essentiellement le long de l'axe de la cuvette d'Aflou.

Les terres agricoles se localisent au cœur de la dépression d'Aflou, elles se situe de part et d'autre de l'oued Medssous en particulier au niveau d'El Haoudh situé à l'Ouest de la ville, Oued Rhamna au Sud Est, et Ain Mançour à l'Est.[7]

Dans se contexte on remarque l'existence de plusieurs types de cultures, surtout à partir de 1998 :

- Cultures fourragères : 100 HA
- Cultures céréalières : 300 HA
- Cultures maraîchères : 200 HA

Les véritables sources de pollution d'origines agricoles sont liées :

- Au traitement des sols et des végétaux par les produits phytosanitaires.
- A l'utilisation des engrais chimiques pour les différentes cultures.
- A l'élevage.

Les quantités d'engrais injectées sont les suivantes : [7]

Tableau VIII.01 : les quantités d'engrais utilisés -sources DSA Aflou-

Type d'engrais	q/HA	Quantité (q)
Engrais composés	10	2000
Engrais azotés	2	3700
Engrais organiques	40	4000

VIII.3.1. Les Produits Phytosanitaires :

A)- Les Herbicides : rarement utilisés

Utilisés pour le désherbage des céréales : pour les Dicotylédones : 0.5 à 0.7 L/HA.

Suffixe : pour les cotylédones : 7 à 10 L/HA.

B)- Les Pesticides : utilisés pour la destruction des microorganismes nuisibles du sol.[10]

- Contre Dacus :
 - Demitron : 1 L/HA
 - Fuitheon : 0.6 L/HA
 - Deltaméthrine : 0.5 L/HA
 - Hydraulisat de proteine : 2.4 L/HA
- Contre cochenille :
 - Malathion : 2 L/HA
 - Chlopyripos : 1 L/HA
 - Méthidathion : 1L/HA

C)- Les Fongicides : utilisés pour les cultures maraîchères, nous n'avons aucune indications sur les quantités utilisées. [7]

-Traitement des sols : Fonofos 8 kg/HA

-Maladies : Phosalone 0.6 L/HA, le soufre 20 kg /HA

-Parasites : Malathion et Chlorpyriphos 0.5 L/HA

VIII. 4. IMPACT DE L'ACTIVITÉ AGRICOLE :

VIII.4.1 Production Des Nutriments:

L'azote est l'élément nutritif le plus déficient dans les systèmes de production agricole. La croissance de la plupart des cultures exige l'apport d'azote, particulièrement les variétés modernes à haut rendement.

Sources d'azote pour ces cultures peuvent être :

- La matière organique du sol par la minéralisation ;
- Les amendements organiques comme le fumier et les autres déchets ;
- Les engrais azotés. Ces derniers donnent naissance aux nitrates par les processus de nitrification qui correspondent à l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en azote nitrique NO_3^-

Les étapes successives de la nitrification se font par l'intermédiaire de deux familles de bactéries principalement présentes dans les sols :

Nitrosomonas pour la nitratation (transformation de NH_4^+ en NO_2^-)

Nitrobacter pour la nitratation (transformation de NO_2^- en NO_3^-).

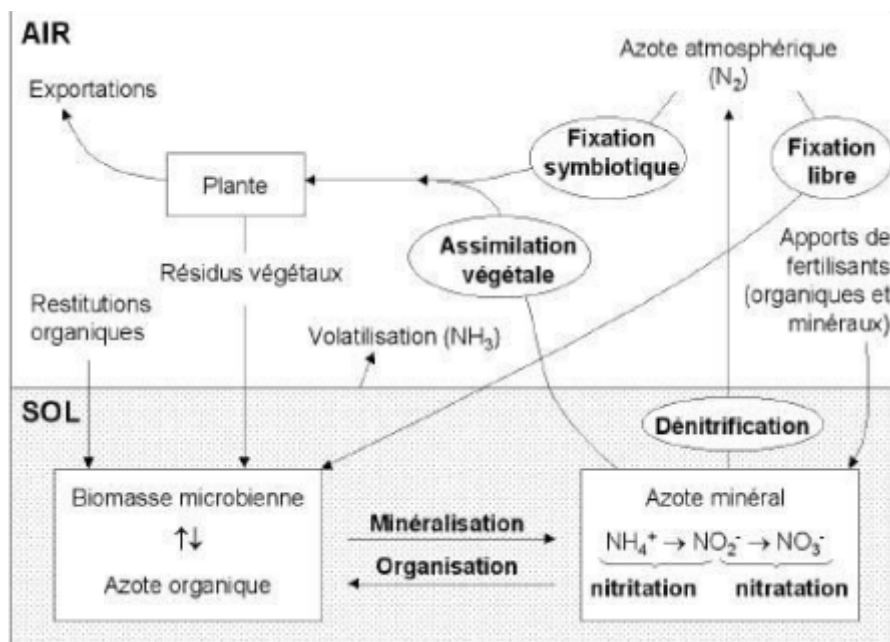


Figure VIII-1 : Les étapes successives de la nitrification

-L'élevage :

L'élevage des animaux (ovins, bovins et volailles). La majorité de cette quantité est utilisée par les agriculteurs comme fertilisants. [10]

Tableau VIII 02 : type d'élevage dans la commune d'Aflou

	Nombre
Bovins	200 -300
Ovins	2000-2500
Poulets de chair	18000-22000

Pour les poulets de chair dont les déchets sont riches en azote, phosphate et potassium. On estime que les déchets produits par une poule sont de 180g/jour soit 65 kg/ans donc 1300 tonnes/ans.

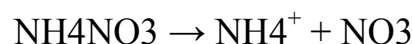
A noter que bovins se concentrent essentiellement à l'ouest (El Haoudh); les poulaillers au sud est, tandis que les ovins on peut les retrouver dans toute la région d'étude. [10]

-Les engrais azotes :

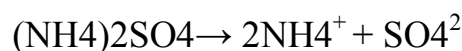
Les engrais azotés sont des produits minéraux apportés au sol pour fournir les quantités suffisantes d'azote et d'autres éléments nutritifs aux plantes et ce pour rentabiliser la récolte. [10]

Les doses d'engrais recommandées dépendent de la pluviosité, du type de culture et de la nature de sol. Les doses varient de 80 à 250 Kg/ha. Apportés au sol, et en présence des eaux d'irrigation, les principaux engrais azotés subissent les réactions suivantes pour donner des nutriments :

-Ammonitrate (teneur en azote est 33.5 %):



-Sulfate d'ammoniaque (teneur en azote est 21 %) :

**-Le fumier :**

Compte tenu du manque de bases de données se rapportant à la fertilisation par l'utilisation des engrais organiques, on s'est adressé aux agriculteurs pratiquant les différentes cultures (maraîchères et céréalières) pour estimer la quantité de fumier utilisée. Cette dernière est de l'ordre de 250 Kg/ha. [10]

VIII.4.2 Etude De L'évolutions De Teneurs Des Nitrates :

- Répartition Spatiale Générale :

La répartition des teneurs en nitrates dans la plaine du synclinal d'Aflou est liée aux facteurs polluants et en particulier à l'activité agricole et à la nature lithologique de la couche superficielle. [10]

La cartographie des concentrations montre que la zone de grande perméabilité ($0,77.10^{-4}.m/s$), qui se trouve à proximité de la ville du synclinal d'Aflou, est beaucoup plus exposée à la pollution, car les ions nitrates s'infiltrent rapidement et on y enregistre des teneurs dépassant 70 mg/l. Au contraire, celle de faible perméabilité où les teneurs enregistrées sont faibles et ne dépassent pas 20 mg/l, car le toit argileux fixe les ions nitrates et ainsi protège la nappe. Les faibles teneurs en nitrates dans cette zone peuvent s'expliquer par le mélange des eaux récentes issues des formations carbonatées avec celles de la nappe d'âge Mio-Plio-Quaternaire. [10]



Figure VIII-02 : Carte isoteneur en NO_3^- : 2007 au niveau de la ville d'Aflou

- Évolution des nitrates dans le temps :

On a remarqué que la même répartition des concentrations se répète, avec de faibles variations d'une campagne à autre, ce qui s'explique par le fait que les agriculteurs ont les mêmes pratiques et parce que les conditions naturelles (la lithologie et les caractéristiques du climat) sont relativement constantes.

Les fortes teneurs enregistrées dans la zone de drainage de la nappe, pendant la période des hautes eaux (au Nord de la ville du synclinal d'Aflou), sont probablement dues à l'effet de chasse de cette nappe. [10]

- Origine des nitrates:

Afin de révéler l'effet des activités agricoles sur la présence des nitrates, nous avons effectué des analyses sur des échantillons prélevés à partir des sols cultivés (prélèvement à proximité des puits).

La comparaison des concentrations de l'azote du sol avec celles des nitrates contenus dans l'eau de la nappe montre une bonne corrélation, néanmoins on signale la présence de quelques points où la concentration en nitrates est très élevée par rapport à celle de l'azote,

ceci étant probablement dû à une autre origine autre que les fertilisants. Les rejets des eaux domestiques sont certainement à l'origine de cette augmentation. [10]

VIII.5. L'INFLUENCE DES REJETS URBAINS :**- Apport Des Nitrates :**

L'Oued Medsous constitue le principal cours d'eau drainant les eaux de pluie et les eaux usées domestiques, et tous les rejets urbains y déversent une charge polluante considérable. Ce collecteur naturel possède des échanges hydrauliques permanents avec la nappe, ce qui permet la migration des contaminants vers cette dernière. Il est à noter qu'une station d'épuration des eaux usées et en cours de réalisation par la société hydro-aménagement. [10]

Suite aux analyses effectuées sur les eaux usées des différents rejets d'agglomérations, et après la détermination des débits journaliers de ces rejets, on a pu estimer l'apport annuel de nitrates qui se déverse dans la plaine

En effet, après l'élaboration de l'évolution des éléments majeurs, on a remarqué une certaine corrélation entre les nitrates et les chlorures, les chlorures peuvent avoir plusieurs origines naturelles et anthropiques, On pense qu'une partie des chlorures tire son origine des eaux usées domestiques qui constituent, en même temps une source de nitrates d'origine organique. [10]

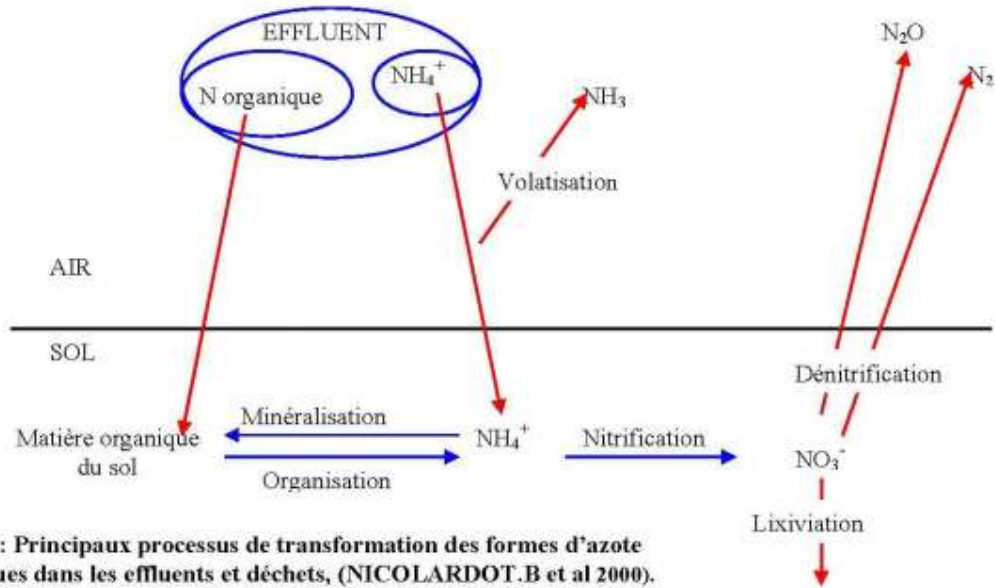


Figure 87: Principaux processus de transformation des formes d'azote contenues dans les effluents et déchets, (NICOLARDOT.B et al 2000).

Figure VIII-3: Évolution des nitrates en fonction des chlorures, pour la période.

VIII.6. CONCLUSION :

Dans la zone d'étude et d'après les résultats obtenus du mémoire nos remarquons que la pollution sur l'environnement ne constitue pas un impact important.

Pa ailleurs, Aflou est connu par son altitude, son climat froid et sa vocation beaucoup plus pastorale qu'agricole.

CHAPITRE

IX

ÉTUDE DE LA VULNÉRABILITÉ DE LA NAPPE
DU SYNCLINAL D'AFLOU

IX-1-INTRODUCTION :

La vulnérabilité à la pollution d'une nappe d'eau souterraine matérialise la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution. Cette pollution peut être engendrée par une source ponctuelle (ex. décharge, cimetière, rejet d'eau usée brute domestique ou industrielle, etc., ou diffuse (engrais chimiques, pesticides, herbicides).[2]

La vulnérabilité d'une nappe à la pollution est une notion relative, non mesurable et sans dimension. La précision de son évaluation dépend essentiellement de la nature, de la quantité et de la fiabilité des données utilisées. Sa caractérisation est basée généralement sur l'estimation d'un certain nombre de paramètres plus ou moins important, relatifs notamment à la couverture de la nappe (sol et zone non saturée) et à la zone saturée proprement dite.[2]

La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libre sont les plus vulnérables: les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique; d'autre part, la fluctuation verticale saisonnière du niveau piézométrique aboutit à 'rincer' les particules de la zones non saturée et entraîner les substances qui y sont adsorbées. Les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Leur alimentation en eau superficielle est plus circonscrite, donc plus aisée à protéger.[2]

Leur pollution apparaît lorsque le niveau protecteur imperméable est percé par un ouvrage (ancien forage, fouille profonde...) Enfin, la percolation de l'eau dans un milieu poreux peut produire une fixation des substances sur les particules et donc une épuration de l'eau. Ce phénomène n'existe pas dans les milieux fissurés où la circulation est bien plus rapide.[2]

Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles:

L'objectif visé par l'établissement de la cartographie de la vulnérabilité est de faire apparaître les possibilités de pénétration et de circulation des polluants dans la nappe. [2]

IX.2.ASPECT THEORIQUE ET PRATIQUE DE LA METHODE DRASTIC :

Dans le cadre de notre étude, on n'abordera que l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque qui est définie plus précisément par « Verba et Zaporozec (1994) » comme étant une propriété intrinsèque des systèmes aquifères qui dépend de la sensibilité qu'ont ces systèmes aux impacts humains et /ou naturels.

La vulnérabilité est différente de risque de pollution, qui dépend non seulement de la vulnérabilité mais aussi de l'existence significative de la charge polluante (Osborn et al. 1998). [12]

La méthode utilisée dans le cadre de cette étude pour réaliser la carte de vulnérabilité est une méthode numérique empirique. Cette dernière repose sur trois hypothèses de base:

Les sources de contamination potentielles se trouvent à la surface du sol ; [12]

De la surface du sol, les contaminants potentiels atteignent l'aquifère par le mécanisme d'infiltration efficace ;

La nature des contaminants potentiels n'est pas prise en compte dans le calcul de l'indice. [12]

La méthode DRASTIC, qui fait partie du groupe des classes pondérées, est un système qui a été développé par "The U.S. Environmental Protection Agency (US EPA)' et le 'National Water Well Association (NWWA)", en 1987 comme moyen pour évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. [12]

Bien qu'il ne soit pas initialement conçu pour les Systèmes d'Information Géographiques, ce modèle repose sur une analyse spatiale classique largement répandus dans les SIG.

L'objectif du modèle DRASTIC est de donner une méthodologie standard qui donne des résultats fiables pour les efforts de protection des eaux souterraines.

DRASTIC génère un indice ou ' score' pour le potentiel de pollution des ressources en eaux souterraines. Cet indice s'étale sur intervalle d'entiers allant de 23 à 230. Il faut noter que la vulnérabilité à la pollution est plus importante pour des notes plus élevées. [12]

La méthode DRASTIC utilise sept paramètres hydrogéologiques: la profondeur du plan d'eau de la nappe souterraine [D], la recharge nette [R], la nature lithologique de l'aquifère [A], la texture du sol [S], la topographie - pente du terrain -[T], l'impact de la zone non saturée [S], et enfin la conductivité hydraulique ou perméabilité de la zone saturée [C].

Dans le SIG, chaque paramètre est noté sur une couche en lui affectant un coefficient correspondant au poids du paramètre, c'est-à-dire son influence sur la vulnérabilité de la nappe. Ensuite, ces couches

sont superposées sur une couche *résultat* ou sera calculé l'indice DRASTIC dit ' DRASTIC Pollution Index (DPI)'. Les couche superposées devront évidemment avoir les mêmes caractéristiques cartographiques à savoir : un même système de projection, les mêmes unités de longueur, la même étendue géographique et aussi la même résolution, car tous les calculs se feront sur le format matriciel. Le DPI est sans dimension. Le chiffre ou l'ordre de grandeur, une fois donné, n'a pas de sens en lui-même.

L'unité du DPI intervient lorsque l'on compare deux sites ou un site relativement à plusieurs autres sites. Le site ayant le DPI le plus grand sera considéré le plus susceptible à une éventuelle contamination ou pollution. [12]

LES PARAMETRES DU MODELE DRASTIC :

Le tableau 3 ci — dessous résume les propriétés de chaque paramètre et le poids qui lui est affecté et qui traduit son influence dans DPI.

Tableau IX- 3 : Poids et propriétés des paramètres DRASTIC.

Symbole	Paramètre	Propriétés	Poids
D	Profondeur de la nappe	Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met beaucoup de temps pour atteindre la surface piézométrique.	5
R	Recharge nette	Véhicule principal pour le transport du contaminant. Plus cette recharge est grande, plus le risque de contamination est élevé.	4
A	Lithologie de l'aquifère	Caractérisée par la granulométrie des terrains saturée. Elle intervient dans le piégeage du polluant qui peut s'échapper au pouvoir d'absorption du sol. Plus la granulométrie est fine et plus le piégeage du polluant est grand.	3
S	Sol	Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des métaux lourds est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande.	2
T	Topographie	Plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible,	1
I	Zone non saturée	Son impact est <i>déterminé</i> à partir de la texture des terrains qui la constituent .La percolation du polluant jusqu'à la surface piézométrique est d'autant plus grande que cette texture est favorable (graviers, sables grossiers...)	5
C	Perméabilité	Plus ce paramètre est grand et plus le transfert du polluant est rapide.	3

IX.3. LE SYSTEME DE NOTATION APPLIQUE :

Pour chacun des paramètres DRASTIC, une note est affectée sur une échelle entière allant de 1 à 10. Pour un paramètre donné, une note basse implique que la nappe concernée n'est pas vulnérable à la pollution et vice-versa.

L'échelle étant entière (discrète), il est donc naturel que les valeurs obtenues pour chacun des paramètres soient regroupées en classes ayant chacune un nombre unique. [12]

IX.4. CALCUL DE L'INDICE DRASTIC :

L'indice DRASTIC est estimé à partir des 7 paramètres suscités. Chaque paramètre est assigné d'un poids relatif dont la valeur est comprise entre 1 et 5, et chaque paramètre est assigné d'une cote pouvant varier de 1 à 10. [12]

Un indice DRASTIC partiel à chaque paramètre est alors calculé en multipliant sa cote par son poids relatif.

$$\text{Indice partiel} = \text{Poids} \times \text{Cote}$$

L'équation utilisée pour déterminer l'indice DRASTIC général est la suivante :

$$Id = Dc Dp + RcRp + AcAp + ScSp + TcTp + Iclp + CcCp$$

IX.5. INTERPRETATION DE L'INDICE DRASTIC :

L'appréciation de l'indice DRASTIC, n'est possible que par l'analyse comparative entre différents sites. [12]

A cet effet, le groupe d'associés J.R.B a développé en 1982, un système de représentation offrant à l'utilisateur une visualisation immédiate du degré de vulnérabilité, et en 1987 le canadien R Fréchette a réactualisé cette représentation.[12]

IX.6. CONCEPT D'UNITE HYDROGEOLOGIQUE :

L'application de la méthode DRASTIC permet aussi d'identifier plusieurs unités hydrogéologiques pour une région donnée. Ces unités sont obtenues après superposition des différentes zones caractérisées chacune par un indice partiel propre à chacun des paramètres DRASTIC, les unités hydrogéologiques se distinguent alors par la valeur du degré de vulnérabilité définie par l'échelle d'évaluation de la vulnérabilité. De plus, sur les cartes de vulnérabilité, une unité hydrogéologique correspondant à une zone géographique bien délimitée peut être subdivisée en plusieurs sous-unités qui diffèrent entre elles par un ou plusieurs indices DRASTIC partiels de un ou plusieurs paramètres.

Les unités hydrogéologiques sont identifiées par une transcription qui englobe un chiffre représentant le numéro de code du bassin versant, une lettre (1, 2, 3, ... etc.) qui identifie l'unité hydrogéologique proprement dite et un autre chiffre, porté en indice identifiant la sous-unité (exemple : unité 2A, 2B, ... etc.). [12]

IX.7.DESCRPTION DES PARAMETRES DRASTIC :

IX.7.1. Profondeur de l'eau :

C'est un paramètre déterminant dans le contrôle du transfert et de l'atténuation du polluant dans la zone non saturée. Il est assigné d'un poids maximum de 5.

Dans le cas d'une nappe captive, la profondeur de l'eau correspond à celle du toit de l'aquifère, tandis que pour une nappe libre, elle correspond à la distance entre la surface du sol et le niveau statique. Ce paramètre est difficile à évaluer car il nécessite souvent des relevés de terrain.[12]

IX.7.2. La recharge nette :

C'est un paramètre très difficile à évaluer car il dépend de plusieurs éléments ; climatiques, géologiques, pédologiques et topographiques. Mais, la recharge reste toujours un élément très nécessaire à l'élaboration de la carte de vulnérabilité, puisque, en premier lieu, elle reflète l'infiltration de la recharge des nappes et en deuxième lieu, engendre le transfert des polluants.

La vulnérabilité des nappes augmente avec l'accroissement de l'infiltration. Une recharge importante saturerait le sol et la zone vadose et provoque ainsi une dilution des polluants.

La recharge nette ne correspond pas seulement à l'infiltration des précipitations, mais aussi l'infiltration des eaux d'irrigation, des eaux de ruissellement (relation oued- nappe), de l'alimentation artificielle des nappes et des eaux provenant d'autres aquifères voisins. [12]

IX.7.3. Nature du matériel aquifère :

Le milieu aquifère où la zone saturée est le lieu où peuvent être stockés des quantités d'eaux importantes. Son rôle dans l'atténuation des polluants dépend de la nature lithologique et texturale des formations qui constituent le milieu aquifère. Le potentiel de pollution augmente ainsi selon que l'aquifère renferme des terrains poreux ou non (perméabilité d'interstices et de fissures). [12]

Les concepteurs de la méthodologie DRASTIC ont arrêté une liste de sept types de formations aquifères de nature lithologique différente :

1. Argiles massives (argiles schisteuses ou massifs : shales) : ce sont des roches sédimentaires à grain très fins contenant au moins 50% de matériaux argileux. Ces roches ne peuvent en aucun cas être

définies comme un aquifère. En effet, la structure très fine des grains réduit considérablement leur perméabilité. Le potentiel de pollution est généralement très faible. [12]

2. Roches métamorphiques et ignées : ce sont également des roches à faible porosité. Cependant, des aquifères peuvent se former dans les niveaux superficiels de ce type de roche qui sont généralement altérées, mais également dans les horizons fracturés. De ce fait, le degré de vulnérabilité de ces roches est sensiblement *lié* à leurs degrés d'altération ou de fracturation. [12]

3. Till : On désigne par ce terme les dépôts morainiques non consolidés : sables, graviers et argiles. Leur potentiel de pollution est lié à la présence ou absence d'argiles. [12]

4. Grès massifs : se sont des roches sédimentaires détritiques formées essentiellement de grains de quartz. Leurs degrés de vulnérabilité sont liés à la perméabilité qui est fonction de la densité, de fracturation et de la nature du ciment. [12]

5. Calcaires massifs : Ce sont des roches sédimentaires carbonatées formées essentiellement de la calcite. On rassemble ici également toutes les roches carbonatées (craies, dolomies) et les roches salifères. Leurs perméabilités qui déterminent leur sensibilité aux polluants, est strictement liées à leur densité de fissuration. [12]

6. Sables et graviers : ils forment généralement les remplissages de vallées ou piedmonts et constituent, généralement, d'excellents réservoirs d'eau souterrains. Leurs degrés de vulnérabilité dépendent de la *répartition* des pourcentages de *graviers et de sable* ainsi que de la présence ou non d'argiles qui sont souvent associés à ces dépôts. [12]

7. Calcaires Karstiques : ce sont des calcaires à fissures élargies par l'action corrosive des eaux. Ces fissures larges (ou karsts) sont le siège de circulation importantes d'eaux à très grande vitesse, ce qui augmente considérablement leur vulnérabilité à la pollution. [12]

IX.7.4. Type de sol :

On s'intéresse à la couche végétale du sol de 1 à 2.5m d'épaisseur, siège d'une activité biologique et chimique intense. Au sens pédologique, le sol résulte de l'altération des roches mères. Le « soif conservation service » a établi en 1984 une classification des sols selon un potentiel de pollution décroissant : [13]

- Peu épais ou absent ;
- Graviers ;
- Sables ;
- Tourbes, matières organiques non décomposées ;

- Couches très minces et/ou en association de couches d'argiles ;
- Terres grasses limon-sableuses ;
- Terres grasses équilibrées en argiles, limons et sables ;
- Terres vaseuses, limono- argileuses ;
- Matières organiques décomposées ;
- Argiles non épaisses et non en association.

L'attribution d'une cote standardisée pour le type de sol repose essentiellement sur la granulométrie. Une cote élevée, reflétant des conditions de haute vulnérabilité, est ainsi attribuée aux sols caractérisés par des particules grossières. [13]

La classification d'un sol dépend des capacités de l'utilisateur, car le sol est formé par différents niveaux ou « horizon » qui ne sont décrit que par l'analyse des profils pédologiques. Toutefois, on *pourra sur la base des cartes pédologiques définir les grandes classes de types de textures de sols qu'il faudra par la suite adapter à la classification du « soil conservation service, 1984 ».* [13]

IX.7.5. Topographie :

La variation de la pente des terrains contrôle la possibilité d'infiltration des polluants. On considère que les terrains dont les pentes sont supérieures à 18% sont caractérisés par une prédominance du ruissellement permettant une évacuation des substances polluantes vers l'aval. Tandis que, les secteurs de pente comprise entre 0 et 6% favorisent l'infiltration d'eau éventuellement polluée. [13]

IX.7.6. Impact de la zone non saturée :

Cette zone *constitue souvent le siège de processus de biodégradation, de filtration, de précipitation, de volatilisation, de dispersion et d'atténuation des polluants.* [13]

Ces processus sont d'autant plus importants que la perméabilité des terrains de la zone insaturée est faible. Cette perméabilité est étroitement liée à la nature lithologique, à la granulométrie et au degré de fissuration des terrains suivants :

Silt et argile ; Shale ; *Calcaire* ; Grès ; Sable et gravier avec passage silt et argile ; Sable et gravier ; Basalte ; Calcaire karstique.

IX.7.7. Conductivité hydraulique :

C'est l'aptitude d'un aquifère à permettre le mouvement de l'eau, sous l'effet d'un gradient hydraulique donné, dont la direction diffère généralement de celle de l'écoulement. Elle s'exprime par le flux qui traverse une unité de section orthogonale à la direction de l'écoulement de la nappe sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique.

Par ailleurs, la conductivité hydraulique d'un aquifère est contrôlée par la texture granulométrique et le degré de fracturation. Elle est également liée aux caractéristiques de l'écoulement dans les nappes (débit, vitesse et gradient hydraulique). La valeur de la conductivité hydraulique est déterminée à partir des essais de pompage, ou à défaut de l'existence de données, elle peut être estimée à partir des caractéristiques géologiques du milieu aquifère. [14]

IX.8. UTILISATION DE SIG :

Le système d'information géographique (S.I.G) est un système informatique Permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace.[12]

Les SIG sont désormais largement utilisés, et par ailleurs, quatre niveaux d'application peuvent être distingués: Cartographie. Gestion. Analyse.et Modélisation. L'intégration des SIG, tel que le MAPINFO (dans notre cas), permet la cartographie et la superposition des sept paramètres de la méthode DRASTIC et ainsi, réaliser une carte synthèse pouvant interpréter la répartition spatiale des nuances de vulnérabilité pour la région étudiée. De ce fait, les SIG sont des outils indispensables, s'incorporant parfaitement à la méthode DRASTIC, pouvant même faciliter remarquablement le travail au profit des utilisateurs de cette méthode. [12]

Pour la nappe du synclinal d'Aflou, ce paramètre a été déterminé pendant les relevés piézométriques. On a remarqué que dans certains puits la profondeur est parfois nulle, ce qui met en contact les eaux de surface avec les eaux souterraines et facilite la contamination de ces dernières. [12]

Le calcul des indices pour ce paramètre a été fait selon le tableau suivant :

Tableau IX 4 : Notation et pondération du paramètre de la profondeur.

Intervalle	Dn	Dp	Dn.Dp
0 – 1.5	10	5	50
1.5 – 4.5	9	5	45
4.5 – 9	7	5	35
9 – 15	4	5	25
15 – 22	3	5	15
22.5- 30	2	5	10

Ces indices ont permis d'établir la carte thématique du paramètre profondeur. L'observation de la dite carte montre que les plus faibles indices.

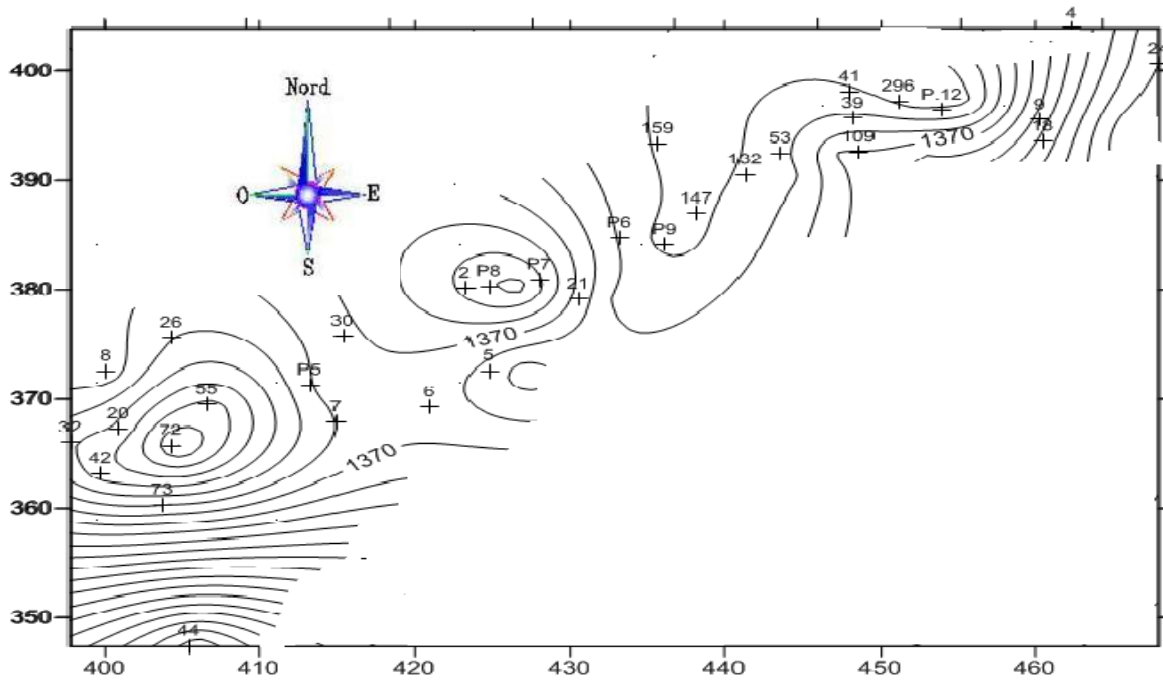


Figure IX-1 : Carte PIÉZOMÉTRIQUE

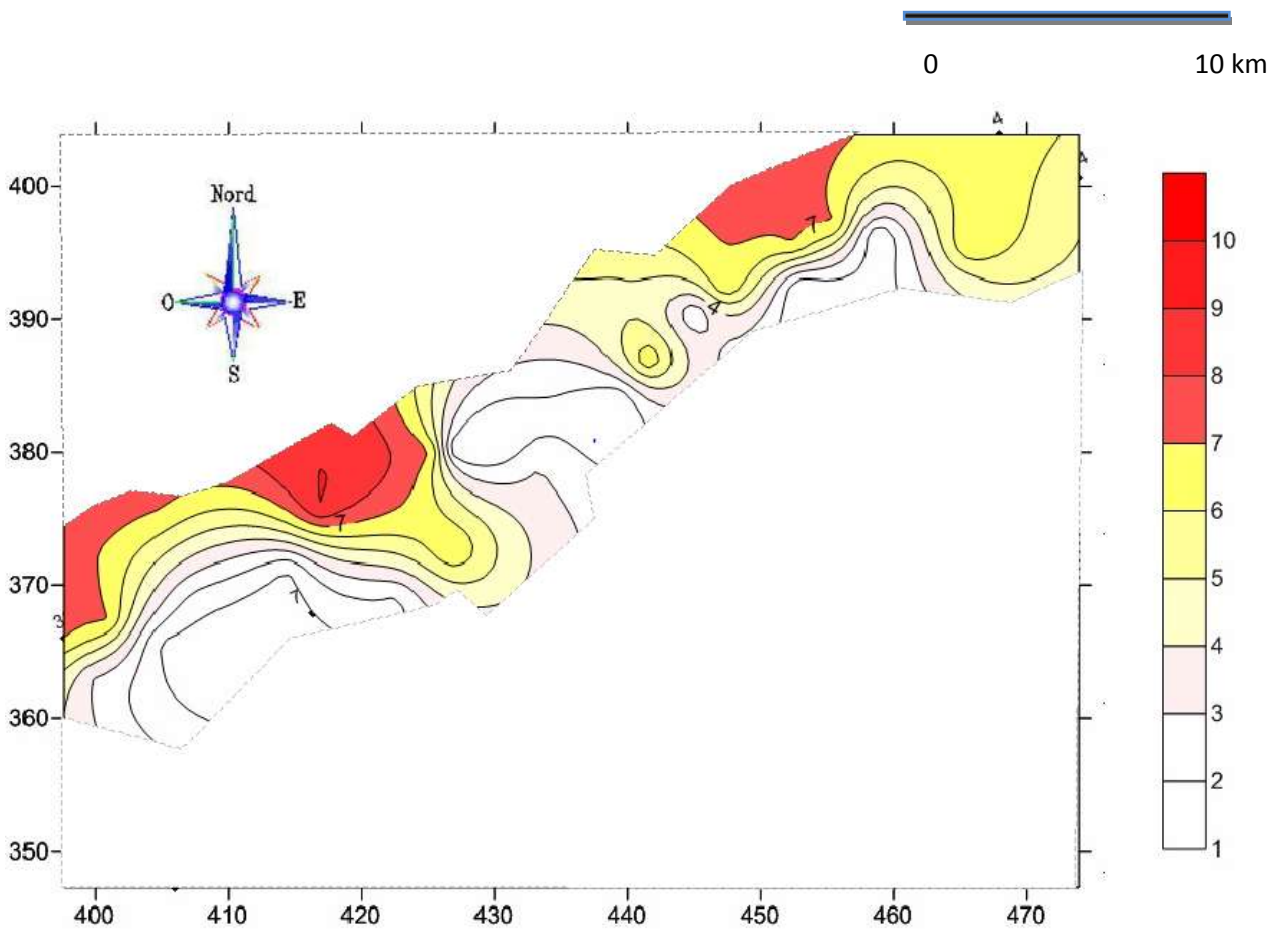


Figure IX-2 : Carte indice de profondeur



IX.9.1 La recharge efficace :

Elle concerne la quantité d'eau qui franchit la surface du sol pour renouveler les réserves d'eau souterraine et entretenir le débit de l'écoulement souterrain, après circulation dans l'aquifère. Les résultats du bilan hydrologique montrent que la valeur de ce paramètre est estimée à 5 mm sur l'ensemble du bassin.[16]

Tableau IX 5 : Notation et pondération du paramètre de la recharge.

Intervalle	Rn	Rp	Rn.Rp
0 à 5	1	4	4

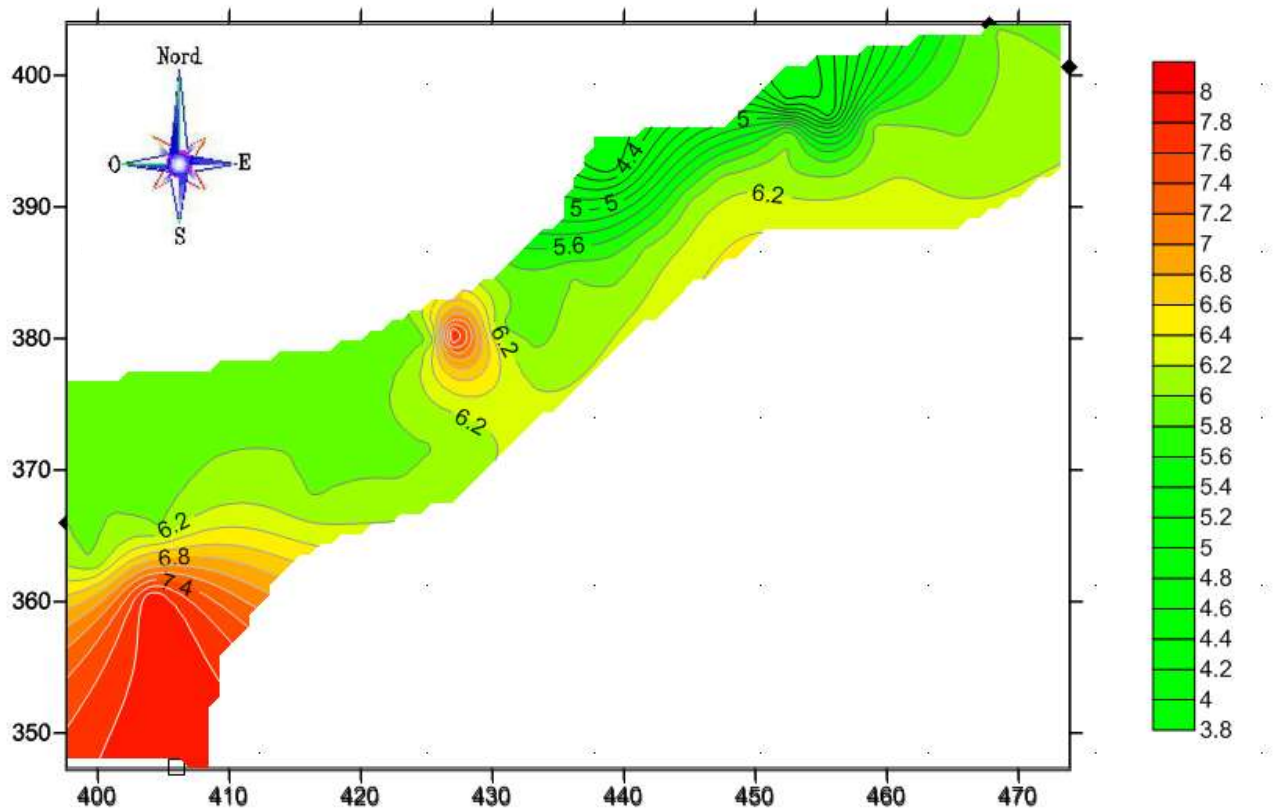


Figure IX-3 : Carte indice de recharge



IX.9.2 Nature de la zone saturée :

Ce paramètre désigne la lithologie de l'aquifère. Son identification a été basée sur les logs des forages et des puits creusés pour le captage de la nappe. Ces documents ont montré que le matériau aquifère de la nappe du synclinal d'Aflou est constitué essentiellement de sables et graviers et sables argileux. Les indices correspondant à ce paramètre ont été estimés selon la notation illustrée dans le tableau suivant : [16]

Tableau IX 6 : Notation et pondération du matériau aquifère.

Classes	An	Ap	An.Ap
Gravier et conglomérat	10	3	30
Sables et graviers	9	3	27
Sables argileux	4	3	12

L'observation de la carte des matériaux de la zone saturée montre que les indices les plus faibles se situent à proximité des bordures et les plus importants au centre de la plaine.

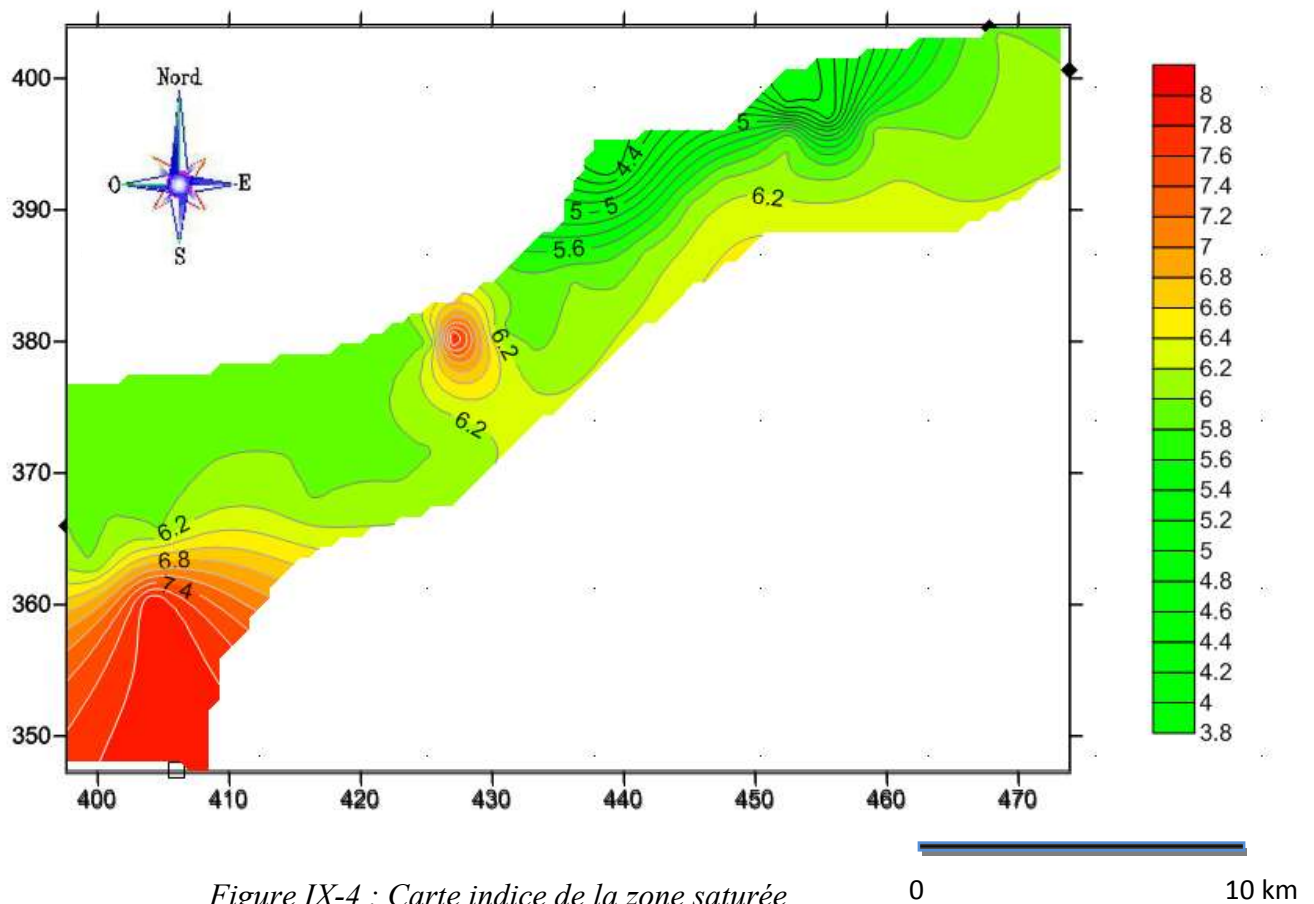


Figure IX-4 : Carte indice de la zone saturée

0 10 km

IX.9.3 La nature du sol :

La nature de la surface du sol influe sur la pénétration des polluants vers l'aquifère. Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des polluants est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande. Ce paramètre joue un rôle important dans la détermination des zones polluées.

Les informations recueillies à partir des cartes pédologiques et des logs de forages ont permis de dégager la nature du sol. [16]

Tableau IX 6: Notation et pondération de la nature du sol.

Classes	Sn	Sp	Sn.Sp
Conglomérats	10	2	20
Sables et gravier	8	2	16
Argiles et gravier	7	2	14
Argiles	1	2	2

L'examen de la carte des indices relatifs à la nature du sol montre que le sol argilo-graveleux se répand sur la majorité de la surface de la plaine. Le sol argileux se répartit au Nord de la plaine, alors que les sols sableux et conglomératique occupent des superficies limitées au centre et au Sud de la plaine. [16]

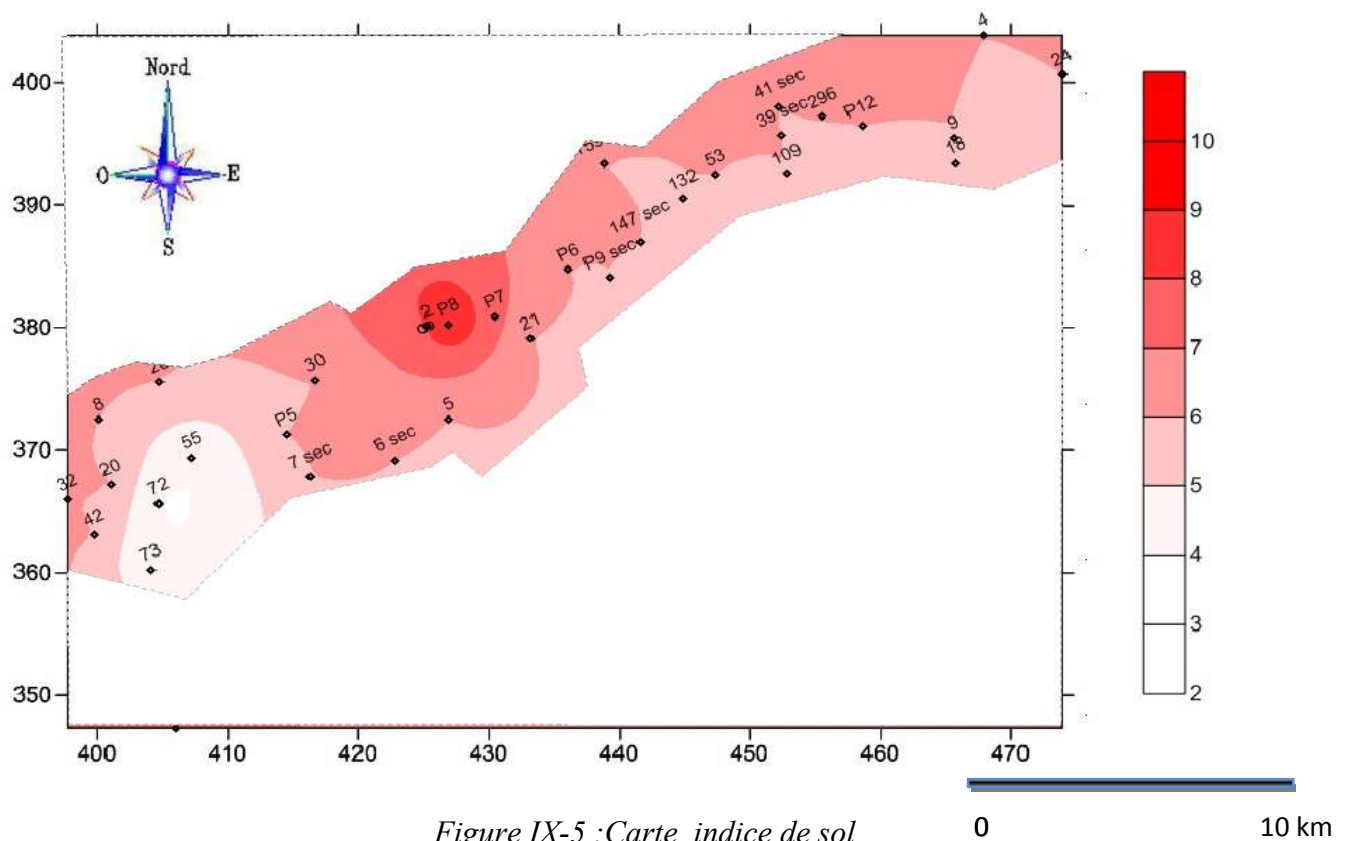


Figure IX-5 : Carte indice de sol

IX.9.4 La topographie (pente) :

Plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible. Les valeurs de pentes ont été estimées en se référant aux cartes topographiques au 1/50000 du synclinal d'Aflou. [16]

Tableau IX 7 : Notation et pondération du facteur de la pente.

Classes	Tn	Tp	Tn.Tp
0 à 2 %	10	3	30
2 à 6 %	9	3	27

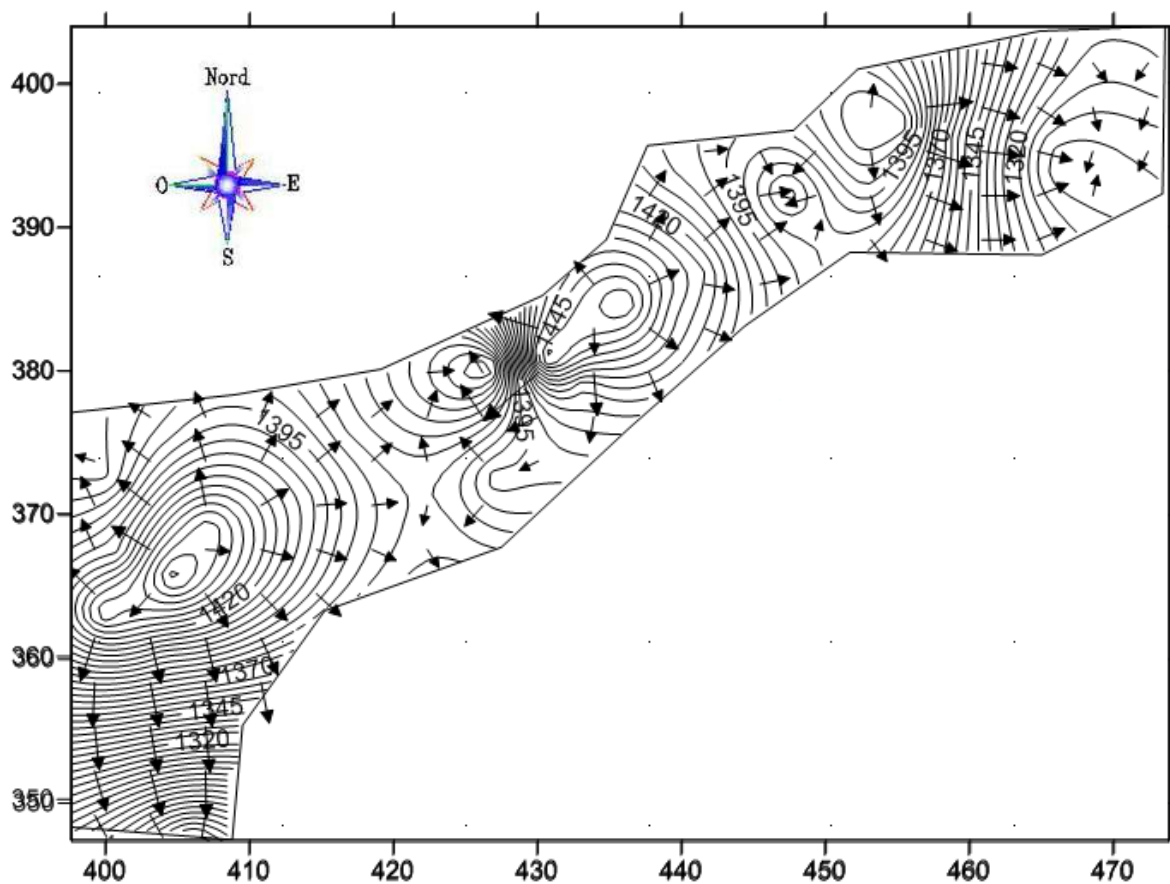

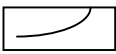


Figure IX-6 :carte de pente



-  Pente de terrain
-  Limites du synclinal d'aflou

IX.9.5 Nature de la zone non saturée (vadose) :

La nature de la zone non saturée constitue un paramètre important dans l'estimation de la vulnérabilité, car elle influe sur la vitesse de propagation des polluants. Son impact est déterminé à partir de la lithologie des terrains qui la constituent. La percolation des contaminants jusqu'à la surface piézométrique est d'autant plus grande que cette lithologie est favorable. [16]

Tableau IX 8 : Notation et pondération de la couche vadose.

Classes	In	Ip	In.Ip
Conglomérat	10	5	50
Sable et gravier	8	5	40
Argile et gravier	7	5	35
Argile	2	5	10

La carte des indices correspondant à la nature de la couche vadose montre que deux zones sont très vulnérables selon ce paramètre :

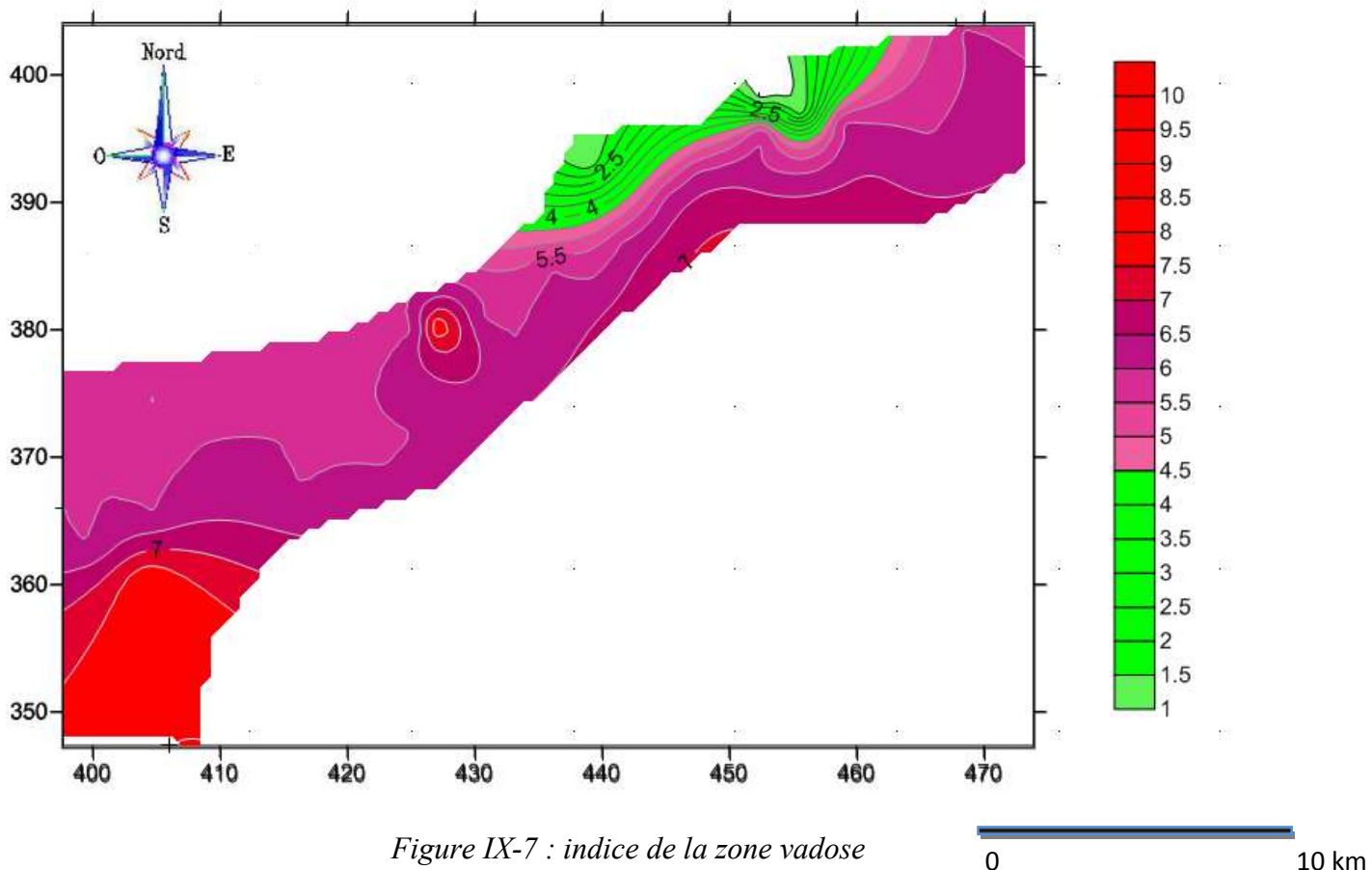


Figure IX-7 : indice de la zone vadose

0

10 km

IX.9.6 La perméabilité

La perméabilité de la couche aquifère nous renseigne sur la vitesse de propagation des polluants dans la nappe. Plus ce paramètre est important, plus le transfert des polluants est rapide. L'estimation des indices de ce paramètre a été faite selon les classes présentées dans le tableau suivant : [16]

Tableau IX-9 : Classes et notations retenues pour la perméabilité.

Perméabilité en (10^{-4} m/s)	Cn	Cp	Cn.Cp
0.65 à 0.75	8	3	24
0.35 à 0.65	5	3	15
0.05 à 0.35	3	3	9
> 0.05	1	3	3

La carte des perméabilités montre que les plus importantes valeurs (0.65 à $0.75 \cdot 10^{-4}$ m/s)

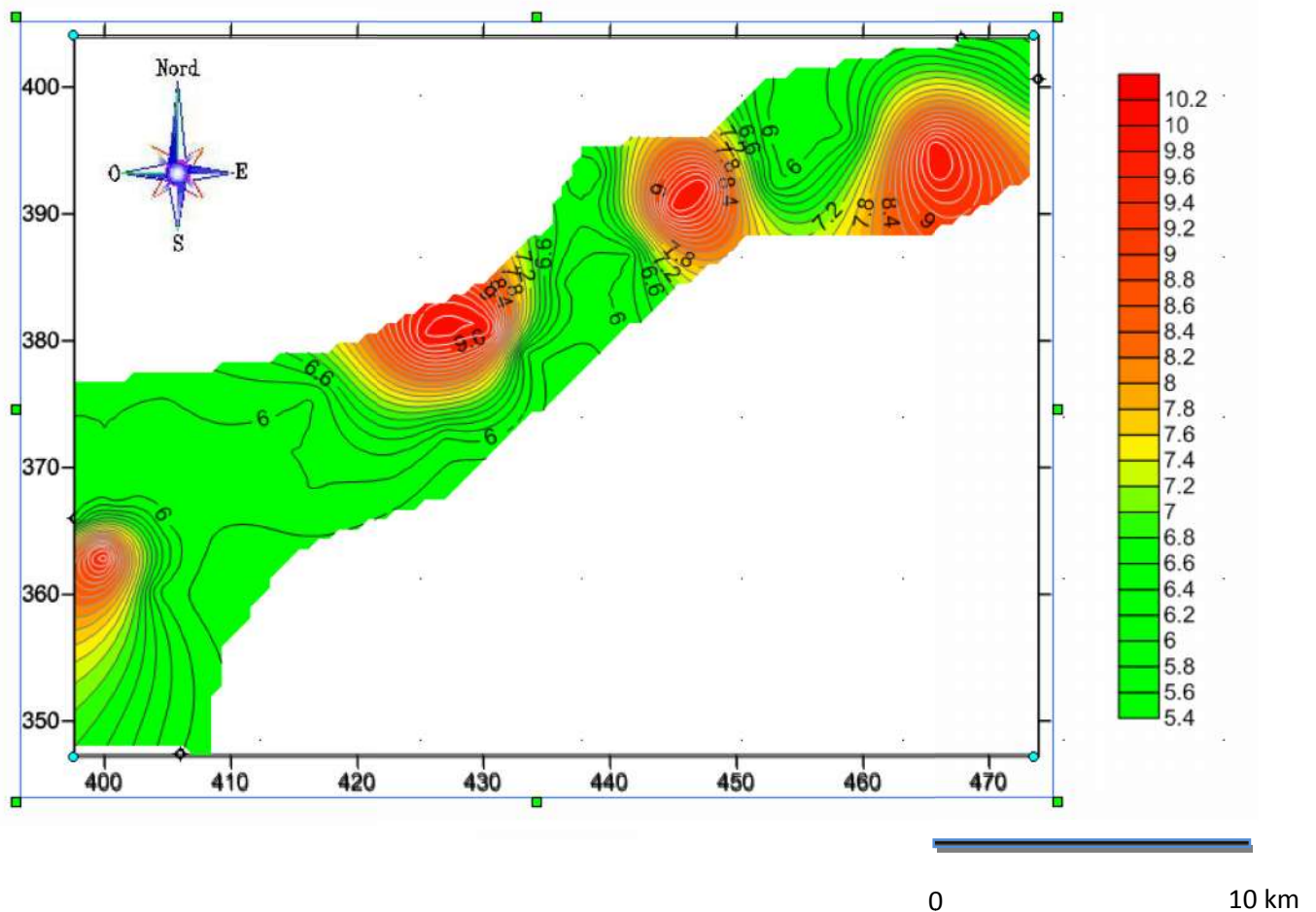


Figure IX-8 : Carte indices de perméabilités de la nappe du synclinal d'Aflou

IX.9.7 Carte de synthèse :

La carte de vulnérabilité de la plaine du synclinal d'Aflou permet de visualiser les principales zones à risque, qui sont liées à des indices élevés. Pour caractériser cette vulnérabilité, on s'est basé sur les plages indiciaires de vulnérabilité qui sont utilisées communément : [16]

- $150 < I$: vulnérabilité forte
- $100 < I < 150$: vulnérabilité moyenne ;
- $I < 100$: vulnérabilité faible.

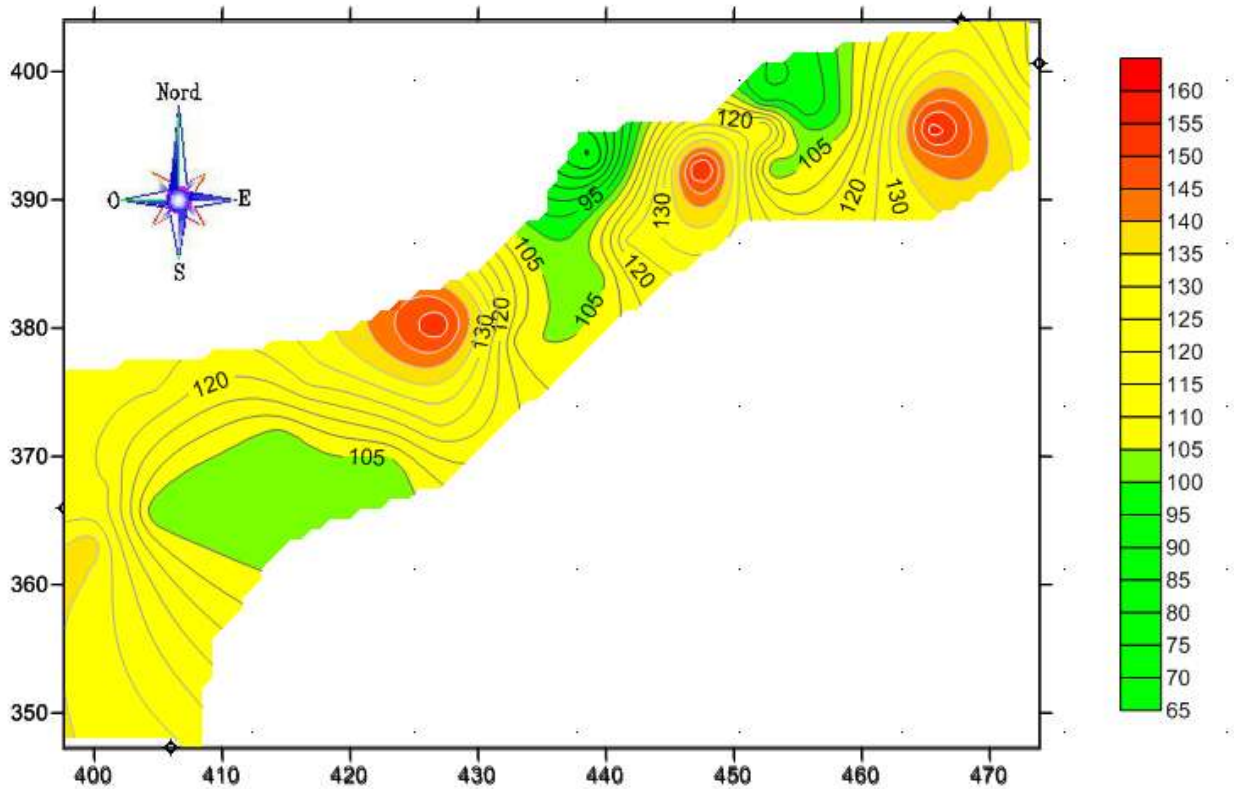


Figure IX-09 : indice de vulnérabilité de la nappe du synclinal d'Aflou

0 10 km

La carte de vulnérabilité montre les endroits le plus vulnérable qui sont mentionnée en couleur rouge. Cette classification a permis de constater la présence de 03 zones :

- Une zone de plus grande vulnérabilité, dont l'indice dépasse 160, elle coïncide avec l'axe de la nappe où la profondeur de la surface piézométrique est très faible et parfois même nulle. La nature de la couche non saturée influence également cette vulnérabilité. [21]
- Une zone de vulnérabilité moyenne, qui occupe la majorité de la nappe aquifère où l'indice de vulnérabilité varie de 100 à 150 et qui est due essentiellement la faible profondeur de la surface piézométrique et à la nature de la couche vadose.
- Une zone de faible vulnérabilité, qui se localise dans la périphérie de la plaine, mais s'étend sur une surface limitée. Son indice de vulnérabilité varie de 70 à 100. [16]

IX.10.CONCLUSION :

Après l'analyse de quelques méthodes, il s'avère qu'un grand effort reste à faire pour la normalisation des cartes de vulnérabilité des nappes. Cet effort doit porter en premier lieu sur une définition rigoureuse des paramètres à prendre en compte, et ayant réellement une relation avec la vulnérabilité. Mais ce que l'on peut constater, suite à l'examen des méthodes c'est que.

-Ces dernières présentent des similitudes importantes, cela est dû dans la majorité des cas à la convergence de leurs critères d'évaluation de base, cependant il existe une certaine différence au niveau des applications.

-La méthode DRASTIC est retenue comme l'outil le plus efficace pour l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères.

Ces cartes de vulnérabilité sont une base d'information, elles permettent de servir à l'élaboration d'une politique visant à prévenir la pollution des formations aquifères.

L'examen de littérature, montre l'existence de plusieurs méthodes d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des nappes aux risques de pollution.

CONCLUSION GENERALE

L'étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines du synclinal d'Aflou a montré le champ de vision à l'ensemble de la nappe. Elle permet ainsi la prise de mesures de décision pour la protection, notamment dans la partie couvrant le champ de captage et les eaux destinées à l'irrigation.

La maîtrise des paramètres de vulnérabilité à la pollution de la nappe du synclinal d'Aflou est facilitée par l'établissement de cartes de vulnérabilité qui permettent l'identification des zones bénéficiant d'une bonne protection et des zones sensibles (à surveiller / protéger). Celles-ci nécessitent un inventaire des différentes sources de pollutions, un réseau de mesure de surveillance et d'alerte, une délimitation des périmètres de protection de la ressource et enfin de généraliser les cartes de vulnérabilité aux différentes pollutions, (les pollutions accidentelles et les nitrates issus des activités agricoles et industrielles couplées aux rejets urbains et aux décharges sauvages).

En pratique, les cartes de vulnérabilité sont des outils d'aide à la prise de décision pour la mise en place de nouveaux captages, de périmètres de protection, de réseaux de surveillance de la qualité des eaux souterraines.

Notre approche a permis de préciser l'importance de ce problème collecté et de préciser son origine. Ainsi, la nappe du synclinal d'Aflou semble être fortement contaminée par des nutriments d'origine agricole, suite à l'utilisation de fertilisants plus que nécessaire pour les plantes.

D'autre part, les rejets urbains, déversés sans aucun traitement préalable dans le réseau hydrographique, sont une source importante de pollution.

Selon notre interprétation des données d'analyses physico-chimiques, fournies par l'ADE, des eaux potables, au niveau de la ville d'Aflou, nous n'avons constaté aucune contamination des eaux souterraines au niveau de la ville d'Aflou, malgré que les eaux usées non traitées rejettent dans la nature et que l'oued Medssous non aménagé traverse la ville d'Aflou et malgré que quelques forages sont implantés plus près de celui-ci.

Avant d'entamer le vif du sujet, il est bon d'avoir des idées et réflexions, susceptibles d'être utiles afin de développer mieux les différentes recommandations tirées de ce chef-d'œuvre traitant un sujet de valeur, auquel l'homme est directement et sans alternative équivoque lié.

Les recommandations les plus strictes, jugées prépondérantes s'accroissent sur ce qui suit :

- 1-Aperçu général sur les différentes caractéristiques concernant l'agglomération, zone d'étude.
- 2- Réseau d'assainissement et point ou nœud commun, lieu de rencontre de rejets des eaux usées.
- 3- Point de déversement des eaux usées.

A mon avis, les trois points susmentionnés constituent une base de données et d'hypothèses pour pouvoir évoquer les prépositions et solutions les plus adéquates afin d'éliminer conséquemment la vulnérabilité des eaux usées sur les eaux souterraines.

Une eau usée pourrait être composée de différents types de déchets liquides selon le lieu ou la zone d'étude.

Sachant qu'Aflou est une commune déshéritée en matières d'industrie, je peux dire que les eaux usées déversées dans Oued Rhamna sont de nature ménagère ou domestique, ce qui conduit d'en conclure que les eaux usées sont pratiquement les mêmes, issues d'une même source, dépourvues de déchet liquides industriels et ceux sanitaires, ces derniers qui sembleraient insignifiants par rapport aux autres quantités déversées quotidiennement et continuellement.

Afin d'éliminer la vulnérabilité des eaux usées sur les souterraines, certaines exigences techniques s'imposent à savoir:

- 1 -La canalisation des eaux usées par voie de réalisation de réseau.
 - Cela permet d'éviter (l'intrusion) de ces eaux sur la nappe souterraines.
- 2- réalisation d'une station d'épuration.

Pour mieux cerner les problèmes hydro-climatologiques, il est souhaitable d'installer des stations météorologiques, sur l'ensemble des sous-bassins, permettant ainsi de mieux préciser les paramètres climatiques (températures, précipitations, humidité, débit des crues, etc. ...).

Multiplier les campagnes de mesures et établissement d'un réseau de mesure de surveillance et d'alerte.

La délimitation des périmètres de protection de la ressource et enfin de généraliser les cartes de vulnérabilité aux différentes pollutions,

Établissement d'inventaire des sources de pollutions accidentelles et les nitrates issus des activités agricoles et industrielles couplées aux rejets urbains et aux décharges sauvages.

Il serait donc, nécessaire, de contrôler les rejets de ces eaux usées par construction d'un système de canalisation, et leur évacuation dans des bassins de lagunage, pour leur épuration.

Il est recommandé, pour la future industrialisation de la région de penser pour les usines pollueuses, de s'équiper de station d'épuration.

Il est souhaitable de faire des recherches au niveau des universités sur la géologie et l'hydrogéologie, modélisation de la nappe de la région, car les études actuelles sont rares, et inaccessible.

Pour mieux cerner les problèmes hydroclimatologiques, nous recommandons d'installer des stations météorologiques, sur l'ensemble des sous-bassins, permettant ainsi de mieux préciser les paramètres climatiques (températures, précipitation, humidité, débit des crues, etc...).

Pour réaliser, un bon bilan nous recommandons d'effectuer des mesures institué, de l'évaporation (donc l'installation de bacs d'évaporations ou d'un évaporomètre piche s'avère nécessaire) de l'insolation, de la nébulosité, et d'infiltration

Pour bien étudier l'écoulement des eaux, souterraines de la région nous recommandons, une étude de la fracturation détaillée, par photo aérienne, pour pouvoir expliquer, certaines anomalies, et certains sens d'écoulement

Il serait souhaitable, pour pouvoir réaliser, dans l'avenir, un modèle mathématique, de multiplier les campagnes de mesures

Il serait souhaitable, aussi de réaliser les essais de pompage des forages de reconnaissance, avec une grande pompe pour pouvoir confirmer ou infirmer, les résultats obtenus par l'essai du forage de TERKELLAL, pour un bon calcul des réserves.

Il serait souhaitable, qu'à l'avenir la DHW de LAGHOUAT, ne fore plus dans les anticlinaux, vu les résultats obtenus par ces forages.

L'étude hydro-chimique, des eaux de la nappe du valanginien-barrémien a montré une contamination des eaux par les eaux usées de la ville d'Aflou, qui sont rejetées dans l'oued MEDSOUS (le puits n° 76/422 qui est situé près de la rive de l'oued, a une conductivité de 1600 mho/cm, et la teneur en $C1=203\text{mg/l}$, lors de la campagne effectuée par les ex-étudiants actuellement même le puits n° 77 est contaminé).

Il serait donc, nécessaire de contrôler les rejets de ces eaux usées par construction d'un système de canalisation, et leur évacuation dans des bassins de lagunage, pour leur épuration.

Il est recommandé, pour la future industrialisation de la région de penser pour les usines pollueuses, de s'équiper de stations d'épuration.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1. STAMBOUL M. et ROUQUET L(1984) :résultat préliminaires sur l'étude géologique et Hydrogéologique de la région de Sebgag, Djebel Amour, Atlas Saharien central, Algérie.
2. Carte géologique au 1/50.000 (Guern Arif, Moitié de Taouila, Khadra, Boualem, Djebel Tghisset) réalisées par les équipes de la SONATRACH.
3. Climat d'Algérie (P. SELTZER)
4. Thèse Stamboul Madani
5. Contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal d'Aflou, D. El Ghrabi& Z. Makhloufi, 1986
6. Étude géophysique, du synclinal d'Aflou réalisée par l'ENAGEO.
7. STAMBOULI M. 2005 Contribution à l'étude hydrogéologique de l'Atlas Saharien, l'exemple du Djebel Amour, thèse de doctorat, Es, Sc, Univ,Oran.
8. *BENOUCIF A. et KHARDAOUI S, 2007.approche de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région de Bouteldja –Wilaya d'Annaba(application de la méthode DRASTIC).thèse d'ingénieur,USTHB.*
9. BEZLGUES S.et CARTES E, 2002.Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande terre et de Marie –Galante (Guadeloupe).phase 1 : méthodologie de détermination vulnérabilité .BRGM/RP-51783-FR Larousse, Dictionnaire encyclopédie, paris, France 1998.
10. *Hydrogéologie, BRGM (France), n°4, pp. 89-100, 9 fig., 1 tabl. Sinan M., Trouillard J.M., 1993. : Utilisation de la cartographie multicritère pour l'étude de la vulnérabilité des aquifères. Application au sud du bassin hydrogéologique de l'Essonne O.M.S, « Exigences de qualité: les eaux destinées à la consommation humaine », 1997.*
11. *IAH., 1994 . : Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. Volume n°16- Ed. de l'IAH, Lallemand A., Barres A., 1 994. : Normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions. BRGM-R37928,*
12. J. Rodier, Analyse, de l'eau, Dunod 7 édition 1984.
13. Aller L., Bennet T., Lehr J., Petty R., Hackett G., 1987. : DRASTIC : A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings.
14. *DGH., 1988. : Etude du Plan Directeur Intégré d'Aménagement des Eaux des Bassins de Sebou, Bou Regreg, Oum Er Rbia et Tensift (S.B.OT). Mission IIIB. Hydrogéologie-*
15. *Sinan M., sous-press. : Périmètres de protection des captages d'eau potable en milieu poreux. Guide de dimensionnement et de délimitation. FAO et DGH*

BIBLIOGRAPHIE

16. *Sinan M., Haddouchi B., Razack M., El Hebil A., 2000: Evaluation et gestion des ressources en eau souterraine des aquifères régionaux à l'aide des systèmes d'informations géographiques. Application à la nappe du Haouz de Marrakech- Maroc. Journal*
17. *Abdelbaki cherifa, 2005. Rapport relatif à l'évaluation de la formation initiation a l'utilisation d'un système d'information géographique. République algérienne démocratique et populaire ministère des ressources en eau algérienne des eaux unité de Tlemcen*

ANNEXES

ANNEXES

TABLEAU DES NORMES DE POTABILITE

PARAMETRE	LIMITE DE QUALITE	QUALITE CONSEILLEE	UNITE
pH		6,5 à 9	unité pH
Température		25	°C
PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES			
Coliformes		< 1	ufc/100 ml
Eschérichia Coli	< 1		ufc/100 ml
Entérocoques	< 1		ufc/100 ml
PARAMETRES PHYSICO CHIMIQUES			
Turbidité		2	NFU
Carbone Organique Total (COT)		2	mg de C/L
Cyanures totaux	50		•g/L
Fluorures	1,5		mg/L
Conductivité		200 à 1100	•S/cm
Chlorures		250	mg/L
Sulfates		250	mg/L
Ammonium (NH4)		0,1	mg NH4 /L
Nitrates	50		mg NO3 /L
Nitrites	0,1		mg NO2 /L
NO3/50 + NO2/3	1		
MICROPOLLUANTS MINERAUX			
Fer total		200	•g/L
Manganèse total		50	•g/L
Aluminium total		200	•g/L
Sodium total		200	mg/L
Arsenic total	10		•g/L
Baryum total	0,7		mg/L
Bore total	1		mg/L
Mercure total	1		•g/L
Sélénium total	10		•g/L
COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS ET SEMI VOLATILS			
1-2 Dichloroéthane	3		•g/L
Benzène	1		•g/L
Chlorure de vinyle	0,5		•g/L
Tri et tétrachloroéthylène	10		•g/L
Chloro benzène	0,1		•g/L
PESTICIDES			
Tous sauf organochlorés	0,1		•g/L
Aldrine	0,03		•g/L
Dieldrine	0,03		•g/L
Heptachlore	0,03		•g/L
HeptachloreHepoxide	0,03		•g/L
Pesticides totaux	0,5		•g/L
RADIOACTIVITE			
Activité Alpha Globale		0,1	
Activité Béta résiduelle		1	Bq/L
Tritium		100	Bq/L
Dose Totale Indicative		0,1	mSv/an

Normes de L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Parameters physico-chimiques		Norme
PH	/	6,5-8,5
Température	°C	25
Conductivité	µs	2000
Turbidité	NTU	5
Zéta-potentiel	mv	/
Taux de chlore	mg/l	0,2-0,7
TDS	mg/l	500-1500
SAL	°/00	2
T.A	mg/l	/
T.A.C	°f	60
T.H	°f	50
HCO ₃	mg/l	600
Ca	mg/l	200
Mg	mg/l	150
PO ₄	mg/l	0,5
NH ₄	mg/l	0,5
NO ₂	mg/l	0,1
NO ₃	mg/l	50
SO ₄	mg/l	400
Cl	mg/l	500
MO	mg/l	3
MES	mg/l	2000

ANNEXES

	N°	Nature	Forme Captée		X	Y	Z	Prof	D	R	A	S	T	I	C	V
P01	9	Puits	IV+J5d	kim cg	465,600	395,500	1300	8,20	7	6	6	6	10	6	10	159
P02	18	Puits	IV+N2-4	Val Barr	465,800	393,500	1298	9,94	4	6	6	6	10	6	10	144
P03	296	Puits			455,628	397,180	1413	8,16	7	1	4	4	10	1	6	92
P04	39	Puits	IV+N2-4	Val Barr	452,515	395,650	1411	6,54	7	1	6	6	9	6	6	126
P05	41	Puits	N6	Albien inf	452,300	398,000	1414	6,16	7	1	4	4	9	1	6	91
P06	53	Puits	IV+N2-4	Val Barr	447,400	392,450	1371	6,36	7	6	6	6	9	6	10	158
P07	109	Puits	N2-4	Val Barr	452,900	392,525	1399	50,07	2	1	6	6	9	6	6	101
P08	132	Puits	N2-4	Val Barr	444,950	390,500	1392	22,94	2	6	6	6	9	6	10	133
P09	147	Puits	N2-4	Val Barr	441,600	386,950	1425	7,87	7	1	6	6	9	6	6	126
P10	159	Puits	N2-4	Val Barr	438,850	393,300	1407	12,00	4	1	4	4	1	1	6	68
P11	P12	Piézo	N2-4	Val Barr	458,700	396,400	1360	50,00	2	1	6	6	10	6	6	102
P12	P6	Piézo	N2-4	Val Barr	436,150	384,700	1461	30,00	2	1	6	6	10	6	6	102
P13	P9	Piézo	N2-4	Val Barr	439,350	384,050	1432	60,00	2	1	6	6	10	6	6	102
P14	5	Puits	N2-4	Val Barr	426,950	372,550	1398	7,64	7	1	6	6	9	6	6	126
P15	6	Puits	N2-4	Val Barr	422,850	369,225	1377	24,95	2	1	6	6	9	6	6	101
P16	7	Puits	N2-4	Val Barr	416,325	367,850	1393	45,12	2	1	6	6	9	6	6	101
P17	21	Puits	N2-4	Val Barr	433,250	379,100	1416	21,05	3	1	6	6	9	6	6	106
P18	26	Puits	N2-4	Val Barr	404,750	375,600	1395	5,77	7	1	6	6	9	6	6	126
P19	30	Puits	N2-4	Val Barr	416,750	375,750	1380	3,10	7	1	6	6	9	6	6	126
P20	55	Puits	J5d	kim cg	407,250	369,450	1448	26,09	3	1	6	6	9	6	6	106
P21	72	Puits	J5d	kim cg	404,700	365,700	1458	50,00	2	1	6	6	9	6	6	101
P22	73	Puits	IV+J5d	kim cg	404,100	360,300	1395	45,00	2	1	8	8	9	8	6	121
P23	P5	Piézo	N2-4	Val Barr	414,500	371,250	1405	50,00	2	1	6	6	9	6	6	101
P24	8	Puits	N2-4	Val Barr	400,150	372,500	1379	6,00	7	1	6	6	9	6	6	126
P25	20	Puits	N2-4	Val Barr	401,000	367,250	1411	7,00	7	1	6	6	9	6	6	126
P26	32	Puits	N2-4	Val Barr	397,675	366,000	1409	6,52	7	1	6	6	9	6	6	126
P27	42	Puits	N2-4	Val Barr	399,750	363,150	1440	20,00	3	6	6	6	9	6	10	138
P34	44	Puits	IV	quat	406,000	347,350	1228	10,66	4	1	8	8	9	8	6	131
P36	4	Puits	IV+N2-4	Val Barr	467,850	403,850	1317	7,85	7	1	6	6	9	6	6	126
P37	24	Puits	N2-4	Val Barr	473,900	400,600	1315	10,00	4	1	6	6	9	6	6	111
P38	2	Puits	J6-N1	por bar	425,300	380,100	1343	5,28	7	6	6	6	1	6	10	150
P39	P8	Piézo	IV+N2-4	Val Barr	426,950	380,250	1341	60,00	2	6	8	8	10	8	10	154
P40	P7	Piézo			430,500	380,900	1460	60,00	2	6	6	6	10	6	10	134

ANNEXES

Tableau.. Méthode d'évaluation de la vulnérabilité à la pollution et informations de base relative (Civita et De Maio, 2004)/ Methods of assessing vulnerability to pollution and the relative basic information

METHODOLOGIE	TYPE	BASIC INFORMATION													
		Precipitation rate and chemical composition	Topography surface and slope variability	Surficial streamflow and network density	Thickness texture and mineralogy	Effective moisture	Permeability	Physical and chemical properties	Aquifer connection to surficial waters	Net recharge	Hydrogeologic features of insaturated zone	Depth to water	Piezometre level changes in aquifer	hydrogeologic conductance	Aquifer hydraulic conductivity
Albinet & Margat (1970) BRGM (1970)	HCS								X		X	X		X	X
Vrana (1968)	HCS										X			X	
Olmer & Rezac (1974)	RS										X	X	X	X	X
Fenge (1976)	RS					X					X	X	X	X	X
Josopait & Swerdtfefer (1976)	HCS									X	X	X		X	X
Vierhuff, Wagner & Aust (1980)	HCS										X	X		X	X
Zampetti (1983) Fried (1987)	AR										X	X			
Villumsen, Jacobsen & Sonderskov (1983)	RS					X					X	X	X	X	X
Haertle' (1983)	MS										X	X			
Vrana (1984)	HCS		X			X					X			X	
Subirana, Asturias & Casas Ponsati (1984)	HCS								X		X	X		X	X
Engelen (1985)	MS								X		X	X		X	
Zaporozec (edit., 1985)	RS							X	X	X	X	X		X	
Breeuwsma et al. (1986)	HCS					X	X	X	X	X	X	X			X

Sotornikova & Vrba (1987)

	RS						X					X	X		X
Ostry et al. (1987)	HCS					X		X				X		X	
Minstr. Flemish Comm (1986)	MS				X							X		X	
Goossens & Van Damme (1987)	MS				X		X	X						X	
Carter et al. (1987) Palmer (1988)	MS				X		X	X						X	
Marcolongo & Pretto (1987) method. 1	RS				X				X	X	X				
Marcolongo & Pretto (1987) method. 2	AR					X			X	X	X				
GOD Foster (1987, 1988)	RS									X	X			X	
Schmidt (1987)	RS					X			X		X	X			
Troyan & Perry (1988)	PCSM	X	X				X		X	X	X			X	
GNDCI BASIC (Civita, 1990)	HCS								X		X	X		X	X
DRASTIC	PCSM								X	X	X			X	X
Aller et al. (1985 - 1987)	PCSM								X	X	X	X		X	X
SINTACS (Civita, 1991; Civita & De Maio, 1997, 2000)	PCSM		X	X	X				X	X	X	X		X	X
ISIS (De Regibus,1994)	PCSM		X		X				X	X	X			X	

ANNEXES

Les forages d'alimentation en eau potable : Cette analyse concerne 10 forages opérationnels :

Tableau: analyses des eaux des différents forages existants

N° forage	Lieu	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	Cond*	Ph	RS	TH en °F	TAC en °F	Bal cation mg/l	Bal anion mg/l
01	Daiet Lagrade	42.8	37.2	17.7	1.3	42.5	59	134.2	30.4 0.49	6.09	6.6	375	5.2	11	6	5.12
		2.14	3.06	0.77	0.03	1.2	1.23	2.2								
02	Village sud	42.5	37.4	15	1.2	36.8	69.8	1403	13.5 0.21	5.63	6.6	330	5.2	11.5	5.88	51.3
		2.12	3.08	0.65	0.03	1.04	1.45	2.3								
05	Ain Boukrouf	66.1	10.9	5.7	13	5.5	46	124	42 0.67	5.56	6.28	362	4.2	10.2	4.47	3.82
		3.3	0.9	0.24	0.03	0.15	0.96	2.04								
08	Daiet Lagrade	66.1	27.9	34.3	1.3	61.3	87.36	195.2	19.2	463	6.95	463	5.6	16	7.12	7.06
		3.3	2.3	1.49	0.03	1.73	1.82	3.2	2 0.31							
09	Cité Boudiaf	88.1	12.1	39	1.5	56	80.6	158.6	75.2	8.01	6.7	478	27	13	7.14	7.09
		4.4	1	1.7	0.04	1.6	1.68	2.6	1.21							
10	Village sud	96.2	26.7	31.5	1.26	71	168	225.7	43	9.9	6.7	642	7	18.5	8.4	9.88
		4.8	2.2	137	0.03	2	3.49	3.7	0.69							
11	Zahi Ben aissa	96.2	29.1	37.1	2.7	613	118	189.1	30.8	7.13	6.5	585	7.2	15.5	8.88	7.88
		4.8	2.4	1.61	0.07	1.73	2.45	3.1	0.49							
12	Abattoir	42	29.1	14.8	1.4	29.7	49.7	164.7	24.6	0.51 2	6.47	312	22.5	13.5	5.17	4.98
		2.1	2.4	0.64	0.03	0.84	1.03	2.7	0.4							
12a	Abattoir	122.	21.8	18.9	13	33	262.7	140	33	8.99	6.5	630	39.5	11.5	8.75	9.23
		2 6.1	1.8	0.82	0.03	0.93	7.47	23	0.53							
13	Ras el Ain	56.1	243.2	21.7	40	33	56.4	128.1	13.5	5	6.6	342	4.8	10.5	5.77	4.41
		2.8	2.00	0.94	0.03	0.93	1.17	2.1	0.21							

ANNEXES

Résultats Physico-Chimiques 2013

Communes gérées par L'ADE Unité DE Laghouat

Commune	Lieu de prélèvement conformités	Date de	Date	Parametres Analyses															
				Con	Miné	TDS	Sal	PH	TAC	TH	Ca	Mg	Na ⁺	K ⁺	Cl	SO4	HCO3	NO3	RS
				2000	1500	1000		6,5-8,5		500	200	150			500	400	/	50	2000
				µS/cm	mg/l	mg/l	‰			mg/l	mg/l	mg/l			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Aflou	R.2x750 m3(F13-F1) A-17(03020)	20/10/2013	20/10/2013	564	403	282	0,2	/	/	300	96	15	/	/	141	67	211	5	272
	R.2x750 m3(F13-F1) A-17(03020)	27/03/2013	27/03/2013	1196	907	598	0,6	/	/	450	116,3	39	100	3,3	117	95,6	264	28,5	1009
	R.2400 m3 O.grine01(F14-F2) A-17	20/10/2013	20/10/2013	501	352	251	0,2	/	/	300	96	15	/	/	177	219	263	16	238
	R.2400 m3 O.grine01(F14-F2) A-17	27/03/2013	27/03/2013	513	367,3	256	0,2	/	/	250	60,12	24,3	57,1	2,5	106,4	69,2	158,3	24,6	324
	R.2400 m3 Med Bodial(F13-F12-F3)	20/10/2013	20/10/2013	566	405	283	0,2	/	/	320	108	12	/	/	106	63	211	10	273
	R.2400 m3 Med Bodial(F13-F12-F3)	27/03/2013	27/03/2013	585	419	293	0,3	/	/	270	88,2	12,16	15	16,6	106,7	60,52	211,03	31,5	367
	R.1000 m3 cité 1037 lots(F8) A-10	20/10/2013	20/10/2013	652	466	326	0,3	/	/	360	104	24	/	/	142	289	263	33	443
	R.1000 m3 cité 1037 lots(F8) A-10	27/03/2013	27/03/2013	613	465	306	0,3	/	/	300	72,14	29,2	14,3	2,5	71	29,3	162	14,4	374
	R.1000 m3 Ain Yagoub(F5) A-10	20/10/2013	20/10/2013	550	393	275	0,2	/	/	240	76	12	/	/	142	75	211	12	265
	R.1000 m3 Ain Yagoub(F5) A-10	27/03/2013	27/03/2013	918	696,4	459	0,4	/	/	290	80,2	22	22,2	4	141,8	70,61	211	54	535
	R.1000 m3 Ain Kherarcha(F6) A-10	20/10/2013	20/10/2013	504	360	252	0,2	/	/	300	88	19	/	/	141	54	263	16,2	243
	R.1000 m3 Ain Kherarcha(F6) A-10	27/03/2013	27/03/2013	516	369,4	258	0,2	/	/	270	70,14	23,1	57	4	71	32	158,3	24,8	318
	R.500 m3 Ras Elaine(F15) A-10	20/10/2013	20/10/2013	483	345	242	0,2	/	/	230	60	19	/	/	177	81	263	8,1	233
	R.500 m3 Ras Elaine(F15) A-10	27/03/2013	27/03/2013	534	382,3	267	0,2	/	/	270	84,2	14,6	12,1	2,5	107	78,3	105,5	33,7	316
	R.1000 m3 O.grine02(F10) A-10	20/10/2013	20/10/2013	1352	1005	663	0,6	/	/	375	88	38	/	/	212	70	369	18	666
	R.1000 m3 O.grine02(F10) A-10	27/03/2013	27/03/2013	1040	789	520	0,5	/	/	398	124,3	21	57,1	2,5	103	91	264	52	622
	R.150 m3 Zahi Ben Aissa(F11) A-10	20/10/2013	20/10/2013	562	402	281	0,2	/	/	290	84	19	/	/	106	220	263	11	271
	R.150 m3 Zahi Ben Aissa(F11) A-10	27/03/2013	27/03/2013	693	526	346	0,3	/	/	266	80,2	16	17,1	3,3	92	40,35	211,03	39,7	614
	R.Oued Morra A-10(030210A10)	27/03/2013	27/03/2013	1062	760,3	531	0,5	/	/	399	96,2	39	40	6	177	312,5	211,06	9,13	641
	R.Oued Morra A-10(030210A10)	20/10/2013	20/10/2013	1059	803	529	0,5	/	/	510	164	24	/	/	212	207	316	14,5	730

ANNEXES

Résultats Physico-Chimiques 2012

Communes gérées par L'ADE Unité DE Laghouat

Communes	Lieu de prélèvement conformités	Date de prélèvement	Date d'analyse	Paramètres Analyses													
				Con	Miné	TDS	Salinité	PH	TAC	TH	Mg	Ca	Cl	SO4	HCO3	NO3	RS
				2000 µS/cm	1500 mg/l	1000 mg/l	%	6,5-8,5		500 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	500 mg/l	400 mg/l	/ mg/l	50 mg/l	2000 mg/l
	R.2-750 m3(F13-F1) A-(11***)(030200A01)	07/03/2012	07/03/2012	646	462	338	0,3	/		280	26,75	68,1	99,26	44,18	527,6	41,6	368
	R.2400 m3 O. gricé(F14-F2) A-18***03	07/03/2012	07/03/2012	802	574	401	0,4	/		270	19,45	76,15	248,8	34,1	284,6	30,5	480
	R.2400 m3 Méd Bodis(F13-F12-F3) A-19	07/03/2012	07/03/2012	573	410	286	0,2	/		280	12,16	92,18	106,35	316,8	268,9	31,8	304
	R.1000 m3 cité 1037 Iou(F8) A-(030204	07/03/2012	07/03/2012	677	484	338	0,3	/		310	38,91	60,09	120,5	278,6	300,6	30,5	524
	R.1000 m3 Ain Yagoub(F3) A-(030202A0)	07/03/2012	07/03/2012	802	574	401	0,4	/		270	19,5	76,2	248	285	34	30,5	480
	R.1000 m3 Ain Kherarka(F6) A-(030206	07/03/2012	07/03/2012	525	375	263	0,2	/		240	24,3	92,123	141,8	297,7	321	29,1	328
	R.500 m3 Riz Elhine(F15) A-(030207A07)	07/03/2012	07/03/2012	529	375	263	0,2	/		410	41,34	96,19	85	253,3	279,3	32,1	308
	R.1000 m3 O. gricé(F10) A-(030200A0)	07/03/2012	07/03/2012	1485	1126	742	0,7	/		390	14,59	132,26	389,9	249,7	366	33,7	876
	R.150 m3 Zaki Ben Aissa(F11) A-(030203	07/03/2012	07/03/2012	695	497	348	0,3	/		300	48,6	112	367	30,76	305,6	37,1	448
	R.Oued Mirra A-(030210A10)	07/03/2012	07/03/2012	1105	838	553	0,5	/		398	24	120,24	311,9	251,39	379	9,8	848
Aï Bou	F.10 Affou O. gricé2 A-(030200A00)	03/07/2012	03/07/2012	1056	801	528	0,5	/		370	9,72	140,28	156	248	317	13,28	716
	F.02 OUDJ MORRA NY A-(030210A10)	03/07/2012	03/07/2012	907	649	454	0,4	/		350	39	108,2	135	207,5	369	11,28	556
	F.16 Affou NY A-(030203A03)	03/07/2012	03/07/2012	771	551	386	0,3	/		340	44	100,2	128	171	263,5	11,03	552
	F.12 Sic Affou A-(030205A05)	28/02/2012	28/02/2012	572	409	283	0,3	/		255	14,6	78	71	52,8	122	41,6	427,5
	F.01 Affou A-(030201A01)	28/02/2012	28/02/2012	639	457,5	319	0,3	/		300	27	76,15	50	101	262,3	2,48	336
	F.13 Affou A-(030201A01)	28/02/2012	28/02/2012	495	354	248	0,2	/		270	17	88,2	35,5	78,3	263,5	11,06	268
	F.03 Affou A-(030203A03)	28/02/2012	28/02/2012	478	342	239	0,2	/		470	44	116,23	53,2	65	226,31	21,4	276
	F.08 Affou A-(030204A04)	28/02/2012	28/02/2012	659	471	330	0,3	/		300	29,2	92,2	106,4	83	211	17,2	372
	F.06 Affou A-(030206A06)	28/02/2012	28/02/2012	510	365,1	255	0,2	/		320	32	46,2	149	47	183	12,6	332
	F.10 Affou A-(030208A08)	28/02/2012	28/02/2012	1039	788	520	0,5	/		450	19,5	148,3	113,4	197	317	2,8	432
	F.11 Affou A-(030209A09)	28/02/2012	28/02/2012	681	487	340	0,3	/		400	15	144,3	60,3	66,3	260,5	19,6	424
	F.15 Affou A-(030207A07)	28/02/2012	28/02/2012	530	379	265	0,2	/		270	5	100,2	50	56	168,4	14,4	328
	F.05 Affou A-(030205A05)	28/02/2012	28/02/2012	588	420	294	0,3	/		250	12,16	80,16	42,5	478	263,5	6,77	232
	F.14 Affou A-(030202A02)	28/02/2012	28/02/2012	502	359	251	0,2	/		230	10	76,15	42,5	55,2	174	12,7	308
	F.12 Affou A-(030203A03)	28/02/2012	28/02/2012	672	481	331	0,2	/		285	11	96,19	99,3	149	24,4	42	522
	F.02 Affou A-(030202A02)	28/02/2012	28/02/2012	504	360	252	0,2	/		450	49	90,2	42,5	68,2	248	27,3	376

ANNEXES

Résultats Physico-Chimiques 2011

Communes gérées par L'ADE Unité DE Laghouat

Commune	Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Date d'analyse	Parametres Analyses													
				Con	Miné	TDS	Salinit	PH	TAC	TH	Mg	Ca	Cl	SO4	HCO3	NO3	RS
				2000	1000	1000		6,5-8,5		500	150	200	500	400	/	50	2000
				µS/cm	mg/l	mg/l	‰			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Aflou	forage13	17/02/2001	17/02/2011	498	356,5	249	0,2	6,3	2	200	7,3	68	76	52	21	23	427
	forage14	17/02/2001	17/02/2011	488	349,4	244	0,2	6,7	1,7	230	6,67	80,16	26	86,5	21	26	419
	forage08	17/02/2001	17/02/2011	989	750	494	0,2	6,99	3	420	27	124	182	73	32	39	869,5
	forage10	17/02/2001	17/02/2011	989	750	494	0,5	6,99	3	420	27	124,3	182	73	35	20,1	869
	forage06	17/02/2001	17/02/2011	553	396	276	0,3	6,25	1,7	210	7,3	72	61	43	21	38	474,5
	forage03	17/02/2001	17/02/2011	490	351	245	0,2	6,51	1,7	180	7,3	60	61	48	21	23	420
	forage12	17/02/2001	17/02/2011	667	477,5	337	0,3	6,58	1,7	280	10	96	76	100	21	58	572
	forage 11	17/02/2001	17/02/2011	710	508,3	355	0,4	6,5	3	300	10	104	76	67	32	50	609
	forage 01	17/02/2001	17/02/2011	701	502	350	0,4	6,6	1,7	100,2	7,3	88	106	49	21	56	601,5
	forage 15	17/02/2001	17/02/2011	490	350	249	0,2	6,2	13	250	17	72,1	61	25	183	34	420
	forage 02	17/02/2001	17/02/2011	654	468,2	327	0,3	6,57	3	320	7,3	116,23	76	54	32	16,4	561,1
	forage 05	17/02/2001	17/02/2011	527	377,3	264	0,3	6,1	1,7	260	12,16	84,16	76	19,2	21	59	452,15
	Forage O.mor	17/02/2001	17/02/2011	1006	763	503	0,5	7,01	2,3	400	22	124,3	152	176	32	13	884

ANNEXES

Résultats Physico-Chimiques 2010

Communes gérées par L'ADE Unité DE Laghouat

Commune	Lieu de prélèvement	Taux de non conformités	Date de prélèvement	Paramètres Analyses													
				Con	Miné	TDS	Salinité	PH	TAC	TH	Mg	Ca	Cl	SO4	HCO3	NO3	RS
				2000	1000			6,5-8,5		500	150	200	500	400	/	50	2000
				µS/cm	mg/l	mg/l	‰			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Afliou	forage13	0,0166	03/05/2010	532	380	266	0,2	7,3	11,31	200	16,9	52,3	75,86	68,69	137,8	25,9	448
	forage14	0,0166	03/05/2010	560	400	280	0,2	7,2	10,98	210	17,02	56	75,86	69,94	133,7	28,8	476
	forage08	0,0166	03/05/2010	687	491,8	343	0,3	7,3	13	230	31,61	40	37,93	85,7	158,7	34,2	524
	forage10	0,0333	03/05/2010	1101	835	550	0,5	7,4	17,13	320	48,64	48	102,4	265	208,9	68,1	960
	forage06	0	03/05/2010	589	421	295	0,3	7,3	10,25	220	9,72	72	68,28	56,78	125,35	3,25	424
	forage03	0,0333	03/05/2010	518	370,8	259	0,2	7,5	12	380	67,12	41,7	68,28	43,04	146	30,5	192
	forage12	0,0133	03/05/2010	599	428	299	0,3	7,2	10	270	17	80,2	75,86	61,53	116,9	39,4	184
	forage 11	0,0333	03/05/2010	807	612	403,5	0,6	7,4	15,7	300	63,23	16	140,3	256,5	192	92,4	796
	forage 01	0,0133	03/05/2010	683	488	341	0,3	7,1	13	240	28	49,7	102,4	92,18	158,7	49,8	460
	forage 03	0,0333	03/05/2010	519	371	251	0,2	6,76	22	405	49,8	80,2	113,9	27,9	263,8	22,8	332
	forage 12	0,05	03/05/2010	725	519	353	0,3	6,91	21,6	450	43,7	108,2	85	60	263,8	33,5	548
	forage 11	0,0133	03/05/2010	746	534	364	0,3	6,84	21	360	60,8	44	75,97	62,4	253	39,5	500
	forage 01	0,0133	03/05/2010	692	495	333	0,3	6,44	26	290	21,8	80,2	68,37	71	316,59	32,4	488
	forage 08	0	03/05/2010	712	509	347	0,3	6,61	22	270	43,77	36	68,16	71	263,8	19,3	484
	forage 15	0,0133	03/05/2010	561	401	272	0,2	6,3	18,19	240	31,6	44	45,4	52,9	221,6	21,7	334
	forage 14	0,0133	03/05/2010	540	386	262	0,2	6,7	17,29	250	41,34	32	75,95	45,69	211	21,5	420
	forage 13	0,0133	03/05/2010	538	385	261	0,2	6,8	14,26	210	29,18	36	52,89	45,82	173,85	26,6	485
	forage 02	0,0133	03/05/2010	694	495	338	0,3	6,5	14,3	240	38,91	32	90,88	63,36	173,8	23,6	565
	forage 10	0,0333	03/05/2010	1001	795	492	0,5	6,5	25	390	77,82	28	98,69	145,9	306	74,5	803
	forage 06	0,0133	03/05/2010	542	388	263	0,2	6,5	13	260	48,64	24	56,8	41,56	158,9	36	481
	forage 05	0,0133	03/05/2010	606	433	294	0,2	6,6	15,16	220	31,6	36	68,37	42,67	184,6	44,2	405

ANNEXES

Résultats Physico-Chimiques 2009

Communes gérées par L'ADE Unité DE Laghouat

Commune	Lieu de prélèvement	Taux des non conformités	Date de prélèvement	Date d'analyse	Parametres Analyses													
					Con µS/cm	TDS mg/l	Minér mg/l	Salinit ‰	PH	TAC	TH méq/l	Mg mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	RS mg/l
Aflou	forage01	0,00%	25/02/2009	28/02/2009	646	323	462	0,3	6,81	13,35	5,8	31,61	64,12	45,37	109,98	162,87	22,7	488
	forage02	0,00%	25/02/2009	28/02/2009	583	294	420	0,3	6,62	10,69	5,2	29,18	56,11	52,82	112,8	130,54	8,57	360
	forage03	0,00%	25/02/2009	28/02/2009	481	294	344	0,2	6,62	12,09	4,8	26,75	52,1	49,27	56,2	147,62	21,4	348
	forage05	0,00%	25/02/2009	28/02/2009	587	293	420	0,2	6,64	13,8	5,4	29,18	60,12	52,82	60,51	168,36	23,2	536
	forage06	0,00%	25/02/2009	01/03/2009	529	265	378	0,3	6,41	12,94	6,2	34,04	68,13	75,86	65,33	157,9	30,6	380
	forage08	0,00%	25/02/2009	01/03/2009	664	332	475	0,3	6,03	13,4	6,4	36,48	68,13	87,2	119,59	163,48	21,7	420
	forage10	0,00%	25/02/2009	01/03/2009	1050	525		0,5	6,78	15,09	9,2	46,2	108,21	71,96	182,5	184,2	35,9	800
	forage11	0,00%	25/02/2009	01/03/2009	712	356	509	0,3	6,59	12,09	5,4	17,02	80,16	52,82	87,41	147,6	26,5	536
	forage12	0,00%	25/02/2009	01/03/2009	695	347	500	0,3	6,92	14,69	7	24,32	100,2	75,86	115,7	179,3	31,5	440
	forage13	0,00%	25/02/2009	02/03/2009	377	198	284	0,2	6,74	8,3	3,4	12,16	48,09	49,98	66,76	101,26	25,8	320
	forage10	1,75%	05/05/2009	06/05/2009	1152	576	873	0,6	6,69	19,38	10	43,7	128,25	113,9	81,69	263,5	58,2	
	forage13	0,00%	17/08/2009	19/08/2009	497	287	355	0,2	6,5	13,8	6,1	18,24	92,18	34,03	75,41	168,36	14,2	352
	forage02	0,00%	17/08/2009	19/08/2009	574	287	412	0,2	6,4	14,24	5,8	26,75	116	37,93	136,9	173,8	12,8	352
	forage14	0,00%	17/08/2009	19/08/2009	496	240	356	0,2	6,5	13,8	5,6	21,88	76,15	45,37	67,25	168,36	28,6	224
	forage04	0,00%	17/08/2009	25/08/2009	589	295	420	0,3	6,67	17,3	6	9,72	104,2	227,9	165,6	211,06	33,6	
	forage10	1,75%	17/08/2009	25/08/2009	699	349	500	0,2	6,7	25,95	7,8	14,59	132,2	132,7	175,68	316,59	69,9	752
	forage11	1,75%	17/08/2009	25/08/2009	701	351	501	0,3	6,6	12,94	4,6	24,32	52,104	75,97	86,88	157,9	46,2	652
	forage01	1,75%	17/08/2009	25/08/2009	671	336	480	0,3	6,6	13	5,8	43,77	44,68	113,95	90,72	158,6	46,5	496
	forage15	0,00%	17/08/2009	17/08/2009	535	383,01	268	0,2	6,5	17,3	5,6	26,75	68,13	37,93	84,06	211,06		

ANNEXES

Résultats Physico-Chimiques 2008

Communes gérées par L'ADE Unité DE Laghouat

Commune	Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Date d'analyse	Con	TDS	Minér	Salinit	PH	TH	Mg	Ca	Cl	SO4	HCO3	NO3	RS
				µS/cm	mg/l	mg/l	‰		még/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Aflou	forage02	19/03/2008	19/03/2008	546	263	390	0,2	7,67	7,9	21,88	122,2	33,32	98,17	140,3	10,33	380
	forage03	19/03/2008	19/03/2008	546	263	390	0,2	7,64	7,2	29,18	16,03	41,48	98,95	147,62	9,3	340
	forage11	19/03/2008	19/03/2008	618	301	442	0,2	7,74	7,2	29,18	96,19	75,86	118,17	211,06	9,34	244
	forage06	19/03/2008	19/03/2008	481	232	344	0,2	7,66	4,5	29,18	42,08	9,3	119,6	189,7	9,3	496,6
	forage 10	19/03/2008	19/03/2008	951	470	547	0,5	7,8	7	26,75	96,12	90,75	114,8	253,15	4,34	628
	forage13	19/03/2008	19/03/2008	463	224	331	0,2	7,65	5	15,8	74,14	45,37	83,58	147,6	8,68	
	forage08	19/03/2008	19/03/2008	592	267	423	0,3	7,83	5,6	27,96	66,13	75,86	97,99	189,7	12,4	400
	forage02	19/03/2008	19/03/2008	535	259	383	0,3	7,72	5,2	37,45	42,48	75,86	86,46	211,06	7,44	256
	forage01	19/03/2008	19/03/2008	585	284	418		7,64	5,2	37,2	42,88	75,86	108,08	168,36	15,5	344
	forage05	24/11/2008	25/11/2008	525	296	375	0,3	6,17	5,2	19,45	72,14	52,6	46,58	147,6	18,6	588
	forage08	24/11/2008	25/11/2008	533	301	381	0,3	6,22	4,2	2,43	80,16	53,1	83,57	168,3	13,64	470
	forage11	24/11/2008	25/11/2008	587	293	420	0,3	6,39	5,4	21,88	72,14	56,89	68,68	152,5	31,62	660
	forage10	24/11/2008	25/11/2008	952	542	722	0,5	6,85	10	48,6	12,02	87,2	168,1	207,7	42,16	895,6
	forage14	24/11/2008	25/11/2008	464	260	332	0,8	6,97	4,2	7,29	72,14	52,82	54,75	168,36	31	456
	forage2	24/11/2008	25/11/2008	540	303	386	0,3	7,01	5	12,16	80,16	456,7	81,1	184,2	18,6	492
	forage12	24/11/2008	25/11/2008	647	369	462	0,4	6,59	6,6	38,88	100,2	64,16	149,87	157,9	20,1	668
	forage13	24/11/2008	25/11/2008	457	261	327	0,3	6,58	4,8	43,74	60,12	45,37	104,24	203,13	4,2	532
	forage3	24/11/2008	26/11/2008	433	216	309,9	0,1	6,6	4,8	14,59	72,14	37,93	67,72	171,7	55,8	468
	forage01	24/11/2008	25/11/2008	581	333	415	0,3	6,29	5,2	26,73	82,16	52,82	132,1	152,5	8,85	648
	forage 06	24/11/2008	25/11/2008	477	109,3	341	0,1	6,4	4,6	17,02	64,12	45,37	77,32	184,8	45,9	480