



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique



**Université Batna2**

**Institut des Sciences de la Terre et de l'Univers**

**Département de Géologie**

**THESE**

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat

**Étude hydrogéologique et gestion  
intégrée des eaux de la source de  
Tinibaouine (Wilaya de Batna Nord-  
Est Algérien)**

Option :

**Gestion intégrée des ressources en eau**

Par  
**MANSOURI Zineb**

**Date de soutenance : 15/12/2016.**

**Devant le jury composé :**

<b>MENANI Mohammed Redha</b>	<b>Pr. Université de Batna</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>YAHIAOUI Abdelouahab</b>	<b>M. C. A Université de Batna 2</b>	<b>Président</b>
<b>CHABOUR Nabil</b>	<b>M.C.A Université de Constantine</b>	<b>Examineur</b>
<b>DEMDOUM Abdesslam</b>	<b>Pr. Université de Sétif</b>	<b>Examineur</b>
<b>DERIAS TAREK</b>	<b>M.C.A Université de Batna 2</b>	<b>Examineur</b>
<b>BRINIS Nafaa</b>	<b>M.C.A Université de Batna 2</b>	<b>Examineur</b>

**2016/2017**

## Remerciements

Je remercierai toutes celles sans qui cette thèse ne serait pas ce qu'elle est (aussi bien par les discussions que j'ai eu la chance d'avoir avec eux, leurs suggestions ou contributions). Et je remercierai aussi toutes les personnes que j'ai pu rencontrer. Le nombre de personnes qui ont rendu ces années de thèse agréables n'a fait que croître au fil des années. Si j'oublie une personne dans cet exercice, et je le ferai sans doute, je m'en excuse d'avance.

Je tiens à remercier en tout premier lieu le Professeur Menani Mohammed Redha, mon Directeur de Thèse, pour la confiance qu'il m'a témoignée et pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de diriger et d'examiner ce travail. Je le remercie également pour la confiance qu'il m'a témoignée de m'avoir initié dans le domaine de la recherche. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour toute l'attention, la patience et le temps qu'il m'a consacré, malgré ses lourdes responsabilités et ses nombreuses préoccupations et surtout pour son soutien moral, je lui dis « MERCI ».

Mes vifs remerciements également pour Monsieur le Professeur YAHIAOUI Abdelouahab, de l'université de Batna 2, d'avoir bien voulu s'intéresser à ce travail et qui a bien accepté de me faire le grand honneur de présider le Jury de ma soutenance. Je dois témoigner ma gratitude à messieurs, Pr. Demdoum Abdesslam de l'université de Sétif,

CHABOUR Nabil de l'université de Constantine, DERIAS Tarek et BRINIS Nafaa de l'université de Batna 2, d'avoir accepté d'examiner, d'évaluer ce travail et de siéger au jury de ma soutenance.

Mes vifs remerciements également pour Monsieur le docteur Brinis Nafaa, de l'université de Batna 2, d'avoir bien voulu s'intéresser à ce travail.

Je tiens à remercier en particulier madame Salima de m'avoir accueilli en sein de son laboratoire d'ADE et d'avoir mis à ma disposition toutes les ressources nécessaires pour mon travail.

Il y a certaines personnes qui méritent un remerciement spécial : celles qui ont été à mes côtés dans les moments les plus durs et celles qui ont créé et partagé tant de si bons souvenirs avec moi. Je les remercie de croire en moi lorsque j'ai de la difficulté à croire en moi-même. A tout ce beau monde, je dédie cette thèse.

Il y a des personnes à qui je dois beaucoup et leur dire un GROS MERCI, et à qui je serai reconnaissante pour toujours : ma famille.

Je tiens à remercier mes amis qui ont été à mes côtés. Mes vifs remerciements à tous les enseignants et collègues du Département de Géologie de l'Université Batna 2. Un grand Merci pour Monsieur Brahmia Ali de l'université de Guelma pour leur précieuse aide.

J'espère que les idées présentées ici pourront aider, d'une manière ou d'une autre, à la gestion des ressources en eaux. Je me dois maintenant détourner une des plus belles pages de ma vie étudiante.

**Abstract:**

The Tinibaouine region, located in north-eastern Algeria on the borders of the Batna-Belezma Mountains, is characterized by a semi-arid to arid climate with an average annual rainfall not exceeding 464, 5 mm and an average annual temperature of around 22 ° C.

This region is characterized by the cultivation of apricots as essential crop followed by that of olives, whose plots are all irrigated with the Tinibaouine source water. These are 450 Ha of trees for apricot and 108 Ha for olives which constitute the principal revenue of the citizens of this small village.

This spring is the natural emergence of water which has as reservoir Refâa Mountain located in the foothills south of the plain where the spring emerges. Its current flow is of the order of 100 to 110 l/s (measured in March 2015) while it had reached 200 l/s in the past (1971).

The objective of this work is to identify natural and anthropogenic stresses which have a direct impact on the use of Tinibaouine spring and seek appropriate management method that takes into account not only technical solutions but also draws on the social rules that govern its use and permit to mitigate conflicts of use.

**Résumé :**

La région de Tinibaouine est située au Nord-est de l'Algérie, en bordure Septentrionale des Monts de Batna-Belezma, Elle est caractérisée par un climat de type semi-aride à aride avec une précipitation moyenne annuelle qui n'excède pas 465mm, et une température moyenne annuelle de l'ordre de 22°C.

Cette région est caractérisée par la culture de l'abricot comme culture essentielle suivie des olives, dont les parcelles sont toutes irriguées à partir de la source. Il s'agit en effet de 450 Ha d'arbres destinés à l'abricotier et de 108 Ha aux olives.

L'émergence naturelle des eaux qui ont pour le réservoir Dj. Refaa situé en contrefort Sud de la plaine de Tinibaouine où émerge la source. Son débit actuel est de l'ordre de 100 à 110 l/s (mesuré en Mars 2015) alors qu'il pouvait atteindre 200 l/s par le passé en 1971.

L'objectif de ce travail est de cerner les contraintes naturelles et anthropiques ayant une incidence directe sur l'usage de la source et de chercher le mode de gestion approprié, qui

tienne compte non seulement des solutions techniques qui s'inspire également des règles sociales qui régissent l'usage et les conflits qui leurs sont liés.

#### ملخص :

تقع تينيباوين شمال شرق الجزائر في الحدود الشمالية لجبال باتنة بلزمة. تتميز المنطقة بمناخ شبه جاف الى جاف مع أمطار سنوية لا تتجاوز 465 ملم و يبلغ متوسط الحرارة السنوي حوالي 22 درجة مئوية.

و تتميز المنطقة بزراعة المشمش كمحصول أساسي تليها زراعة الزيتون ، كل هذه المساحات تسقى من مياه منبع تينيباوين ، بحيث 450 هكتار من اشجار المشمش و 108 هكتار زيتون. و بذلك تشكل المورد الرئيسي لمواطني القرية.

تدفق المياه طبيعيا من جبال الرفاعة و في السفح الجنوبي لسهل تينيباوين أين يخرج المنبع. و يبلغ المنسوب الحالي للمنبع من 100 الى 110 لتر في الثانية (مارس 2015) في حين كان يصل إلى 200 لتر في الثانية في الماضي (1971).

الهدف من هذا العمل هو تحديد الضغوطات الطبيعية و البشرية التي لها تأثير مباشر على استخدام المنبع، والبحث عن طريقة مثلى للتسير. ليس فقط باخذ بعين الاعتبار الحلول التقنية انما الاعتماد على القوانين الاجتماعية لاستعمال ناجع لميا المنبع، و كذا النزاعات.

# **I**NTRODUCTION GÉNÉRALE ET PROBLÉMATIQUE

# Introduction Générale

---

## **Introduction générale et problématique :**

L'Algérie se classerait en 2040, dans la trentième (30ème) position des pays qui auront à souffrir d'une pénurie d'eau importante.

Les causes d'une telle situation peuvent s'expliquer par des causes naturelles, géographiques mais aussi par les principaux changements climatiques et la stratégie menée par le pays pour y remédier.

L'eau destinée à l'agriculture est insuffisante et concurrencée par la demande croissante d'eau des autres secteurs (domestiques et industriels).

Ce travail concerne l'étude la source de Tinibaouine en mettant l'accent notamment sur l'estimation des besoins en eau de la culture de l'abricot dans la zone de Tinibaouine par l'utilisation du logiciel CROPWAT, afin de proposer un schéma de gestion approprié des eaux de cette source.

La région de Tinibaouine est située en zone climatique aride à semi-aride, au Nord-Est de l'Algérie, elle est connue pour la culture de l'abricot qui constitue la principale ressource naturelle exploitée dans la région; la culture des olives étant accessoire. 450 hectares sont destinés aux d'abricotiers et 105 hectares aux oliviers.

Ces cultures, aux faibles exigences hydriques relatives, sont dépendantes de la source de Tinibaouine qui délivre actuellement un débit de 100 l/s. Cette source est une résurgence d'une circulation souterraine dans des aquifères carbonatés situés à l'Est et au Nord-Est, en bordure de bassin. Son débit a diminué de moitié depuis 1969 (Bellion, 1973).

La dépendance totale des populations locales de cette source, dont les parcelles agricoles sont irriguées par un système de séguias (réseau d'irrigation gravitaire) et par nouba (système traditionnel de partage de l'eau) augmente la pression autour de son usage.

De ce fait, il devient nécessaire d'établir un diagnostic des besoins des cultures par rapport aux volumes utilisés actuellement et de proposer les mesures correctrices adéquates pour un usage rationnel et durable des eaux de cette source qui n'arrive plus à répondre à la demande et à des pratiques d'irrigation irrationnelles, poussant même les agriculteurs à recourir à des forages illicites pour satisfaire leurs besoins mais menaçant gravement l'équilibre hydrogéologique de la zone.

## Introduction Générale

---

Ce travail de thèse a débuté par la caractérisation géologique et hydrogéologique de la région, passant ensuite à l'identification des réseaux d'exploitation (système seguias), par des mesures sur terrain (la superficie totale irriguée, type des cultures, durée d'irrigation,... et à travers diverses enquêtes et entretiens avec les acteurs de l'agriculture de la région (DSA Batna, subdivision agricole Ouled Si Slimane, hydraulique de N'gaous, Daïra de Ouled Si Slimane, responsable de l'association des agricultures),

L'autre objectif concernait l'élaboration d'une situation de référence des besoins en eau de la culture d'abricot dans la région de Tinibaouine.

Nous avons également abordé une approche techno-économique axée sur la réduction au minimum de l'évaporation par des canaux d'irrigation basse pression.

# CADRE GEOGRAPHIE

1. Présentation de la zone d'étude.....	12
1.1. Contexte physique.....	12
1.1.1. Localisation de la zone d'étude..	12
1.1.2. Hypsométrie et Orographie. ....	12
1.1.3. Pentes.....	13
1.1.4. Géomorphologie.....	14
1.1.5. Les sols.....	14
1.1.6. Le climat.....	15
1.2. Contexte socioéconomique . ....	15
1.2.1. Population et activités.....	15

## 1. Présentation de la zone d'étude

### 1.1. Contexte physique

#### 1.1.1. Localisation de la zone d'étude

La région de Tinibaouine est située à 25 Km de chef lieu N'gaous, et à 96 Km à l'Ouest du chef lieu de la wilaya de Batna. Il s'agit d'une petite plaine qui s'allonge dans le sens Est-Ouest sur 13 Km de long et sur 6 Km de large à la partie occidentale des monts de Batna-Belezma qui barrent à l'Est le bassin fermé du Chott el Hodna.

La zone est limitée au Nord par Dj Bou Ari, par Dj Refaa au Sud et les Dj Bou Rhioul et Reched situés à l'Est à la Latitude 35° 32' et 35° 58' N et Longitude 5°39' et 5°51' E. Elle a une superficie de 135,5 Km<sup>2</sup> (fig. 1).

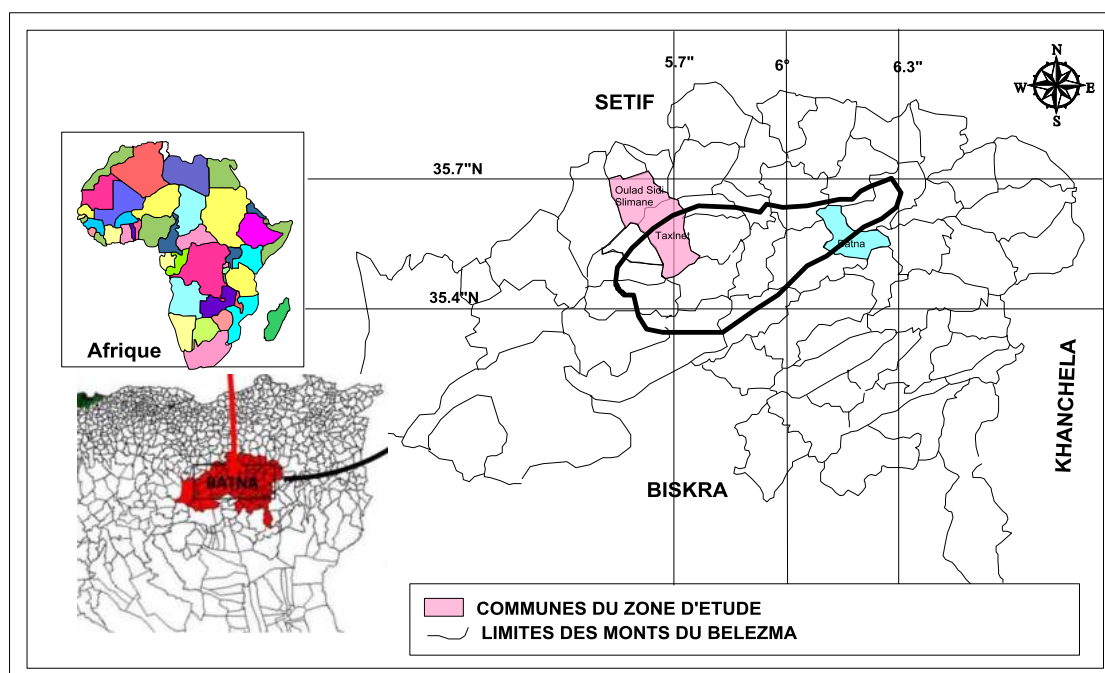
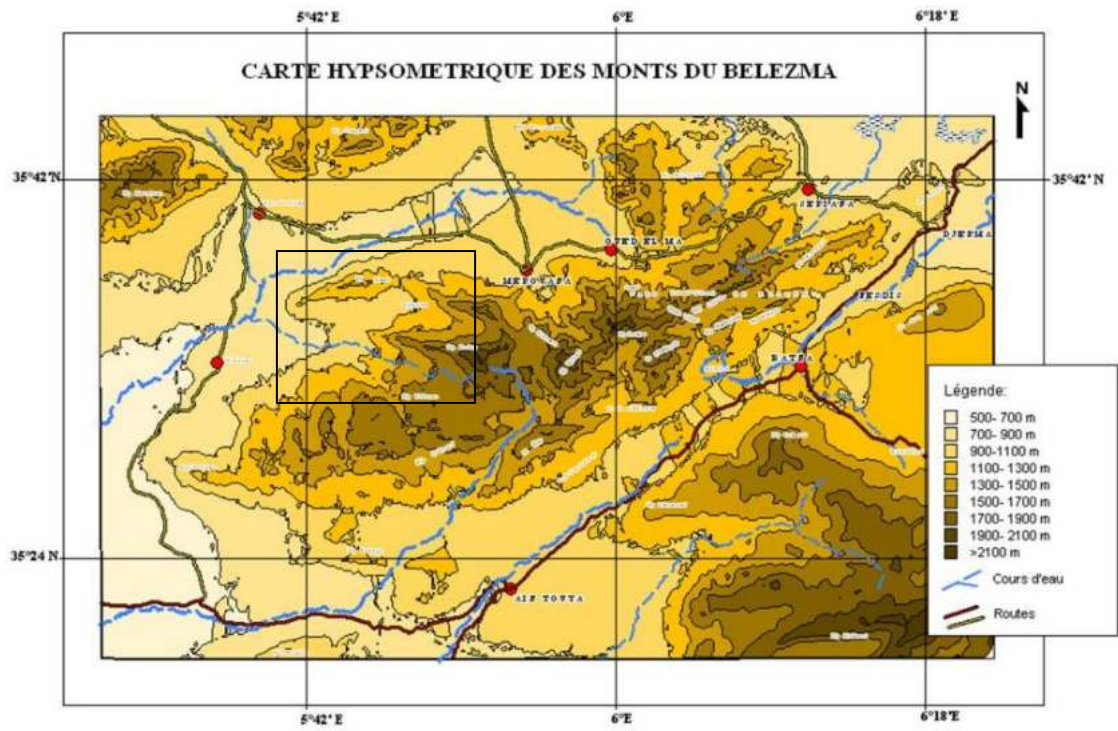


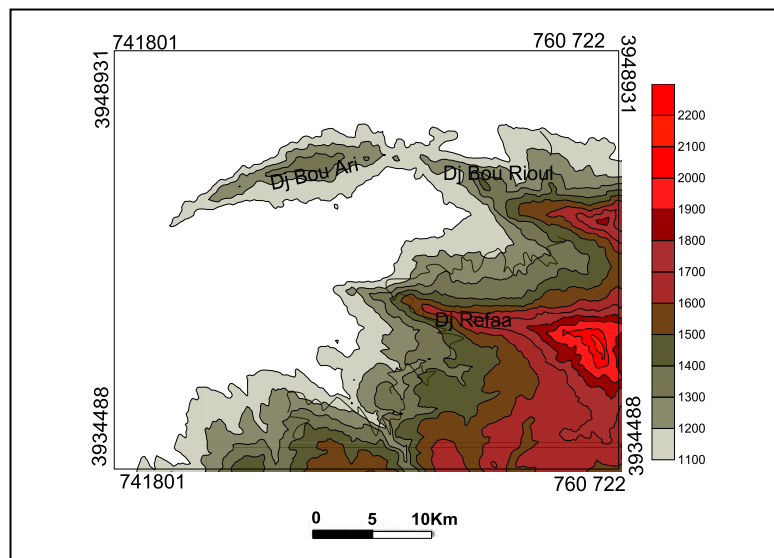
Figure 1 : Situation de la zone d'étude (source : Messous, 2003).

#### 1.1.2. Orographie :

Le relief montagneux couvre plus de deux tiers de la surface, s'élève sensiblement vers l'Est où l'altitude est importante, il est boisé et essentiellement formé de calcaires (figs. 2 et 3).



**Figure 2 :** Carte hypsométrique des monts du Belezma (source : Messous, 2003).



**Figure 3 :** Carte orographie de la zone d'étude.

### 1.1.3. Pentas :

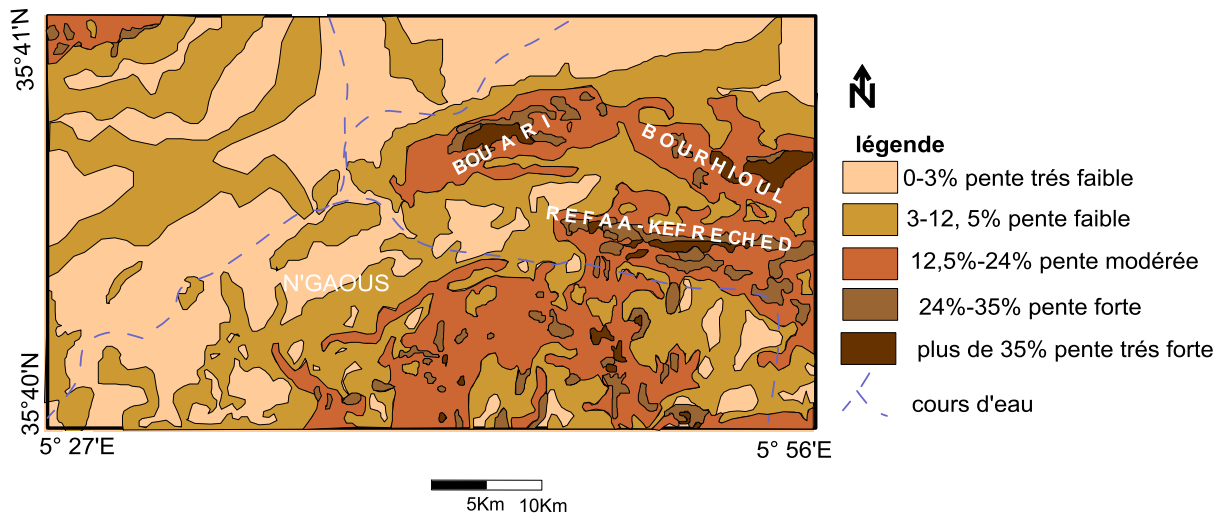
La carte des pentes nous permet de faire ressortir les principales classes de pentes et leur importance dans la région (fig. 4)

Cette carte montre que la classe des pentes ( $< 12.5\%$ ) est la plus prédominante, soit  $59,58\%$  de la surface totale, C'est un secteur de plaine.

La classe des pentes fortes à très fortes ( $> 24\%$ ) occupe  $9,82\%$  de la surface totale, et concerne surtout les sommets.

Les zones des pentes comprises entre 12.5% et 24%, qui représentent 30,6 % de la surface totale, concernent la zone de piedmont.

L'analyse de la répartition des pentes met en évidence une nette opposition entre la partie occidentale qui est caractérisée par un relief accidenté avec des pentes moyennes comprises entre 24 et 35% en général ; et la partie orientale qui caractérise par un relief très accidenté avec des pentes très fortes (supérieur à 35%).



**Figure 4** : carte des pentes de la région d'étude (source : Messous, 2013).

#### 1.1.4. Géomorphologie :

Les unités géomorphologiques se regroupent en collines et piémonts. Le cadre montagneux comporte des structures bien distinctes :

A l'est, l'ensemble des djebels Bou Rhioul, Kef Reched et Refaa constitue un ensemble très aigu représentée par un relief étroit, symétrique et rectiligne, orienté ouest-nord-ouest et formé de calcaires massifs (Bendjamaa, 2005).

Dj Bou Ari (1391 m) est constitué de formations du Secondaire et appartient à la grande unité morphologique du Belezma.

Les piémonts sont caractérisés par des surfaces d'accumulation à pente douce et régulière, situées en contrebas de montagnes, leur altitude varie plus ou moins de 700 à 900m. Ils comportent une sédimentation quaternaire variée avec des formes de glacis d'érosion étagés et convergents vers l'aval qui sont visibles à Tinibaouine et entre N'Gaous et Bou Magguer (Sahraoui, 2014).

#### 1.1.5. Sols :

D'après l'étude de Boyadgiev (1972), Les sols sont alternativement répartis à travers toute la surface, relativement aux formations morphologiques qui, en quelque sorte, en font la distinction. Il s'agit de lithosols lorsque le substratum est résistant, tels que les sols développés

sur les versants rocheux, couverts de dépôts provenant directement des calcaires et dolomies du Secondaire, ou des grès et des conglomérats mio-pliocènes.

L'autre type est représenté des sols de texture limono-sableuse d'apport alluvial riche en matière organique, comme c'est le cas pour la plaine du Tinibaouine.

### 1.1.6. Le climat :

La région d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen qui comporte deux saisons: l'une humide et fraîche en hivers, attirée surtout par les anticyclones du front nord ; l'autre sèche et chaude en été, installée par l'effet des anticyclones sud. La pluviométrie est comprise entre 200 et 300 mm/An, donc c'est un signe d'aridité si on ajoute une température annuelle moyenne de 22°C. Les conditions naturelles sont assez difficiles.

## 1.2. Contexte socioéconomique :

### 1.2.1. Population et activités :

La région de Tinibaouine est caractérisée par l'arboriculture avec 450 Ha d'arbres destinés à l'abricotier et 105 Ha aux oliviers. La culture de l'abricot et accessoirement celle des olives constitue non seulement la principale ressource des populations locales mais aussi une économie autonome, Les autres cultures ne représentent que 4% de la superficie totale cultivée (652 Hectares). La répartition culturelle est représentée dans le tableau 1.

**Tableau 1:** Surface occupée par les différentes cultures

Type des Cultures	Surface occupée (ha)
Pomme de terre	8
Tomate	10
carotte	5
Oignons	20
Piment	5
Poivron	5
concombre	1
Courgette	2
Navet	2
Ail	4
Fèves vestes	10
Abricotiers	450
Olives	105

Source : subdivision des services agricoles (Ouled Sidi Slimane, 2015).

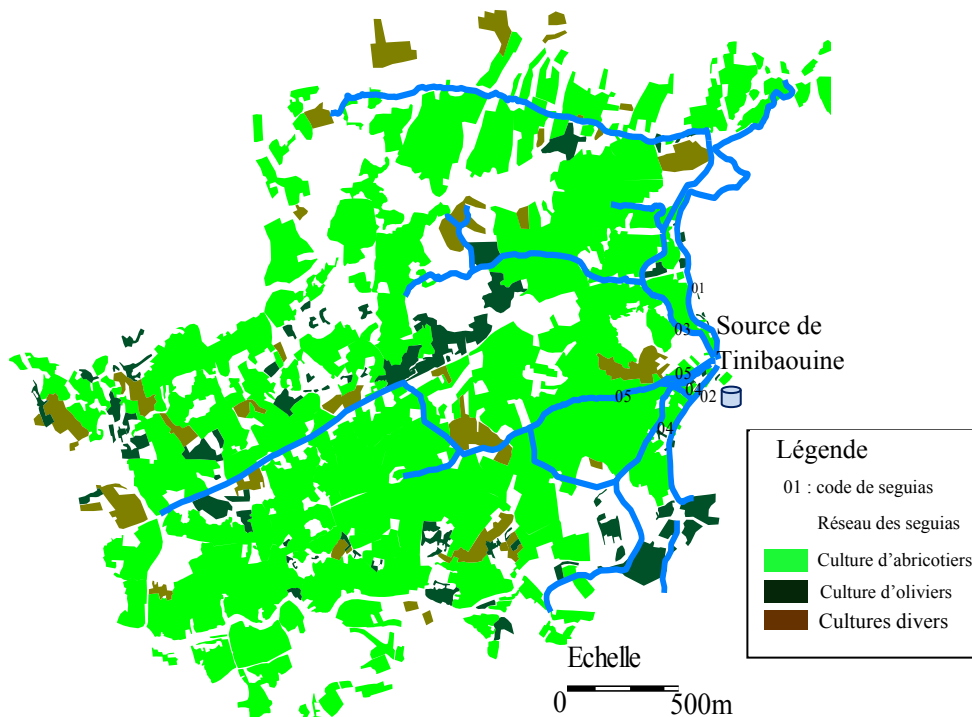
Toutes les parcelles sont irriguées à partir de la source de Tinibaouine par un réseau de séguias bien développé.

Le système de gestion des eaux distribuées par séguias a nécessité la mise en place d'un cadre juridique et technique très élaboré (Charoy, 1990).

Cet ancien système d'alimentation et de distribution, était connu des Romains qui l'ont entouré de constructions pour se servir de son eau pure et limpide.

Les parts d'eau (appelées Noubas) sont calculées pour l'ensemble des propriétaires selon les superficies à irriguer. Cette répartition est enregistrée et régie par un acte officiel. La nouba est programmée pour une période bien déterminée et augmente à mesure qu'on s'éloigne de la source (6 jours, 21 jours, 30 jours).

Le débit de la source est partagé avec un partiteur en 05 seguias principales dont la distribution est reportée sur la figure 5 et tableau 2.



**Figure 5 :** Réseau des seguias.

**Tableau 2 :** les caractéristiques des seguias.

Seguias principales		Code		Longueur des seguias(Km)	
Tamtelt		01		1,93	
Tabourit		02		1,07	
Rhaouat	Bala	03	03-01	0,62	1,58
	Maadjidj		03-02		2,54
Sidhoum		05		3,23	
Hemada		04		2,17	

La composition socioprofessionnelle de la population active met bien en évidence l'importance de la fonction agricole dans la région (Adomon, 2010).

La population totale de Tinibaouine est estimée à 1487 habitant, à l'an 2010, la population active dans le secteur agricole est de 800 habitants.

Les agricultures exploitantes sont bien représentées avec 65%, Le tableau 3 montre la répartition des emplois agricoles (exploitants) par commune.

**Tableau 3** : la répartition des exploitants.

Daira	Commune	Exploitants
Ouled Si Slimane		%
	Taxlent	40
	Ouled Si Slimane	25

Les besoins en eau augmentent graduellement à partir des mois d'automne aux mois de printemps avec une diminution durant les mois d'hiver.

L'augmentation des besoins en eau et la diminution du débit de la source conduit les paysans vivant loin de la source à recourir à l'achat de l'eau des seguias des agricultures situées à proximité de la source. Dans certains cas, des agriculteurs dont les parcelles sont soumis au stress hydrique pendant les périodes d'irrigation, ont recours à des forages, souvent illicites, pour satisfaire leurs besoins, menaçant ainsi la pérennité de la source, même si le réservoir est situé à plusieurs km au Nord-Est du site de captage. D'autres, par contre, dans un objectif de rationalisation et d'économie d'eau, aménagent de petites retenues d'eau.

### 1.3. Conclusion :

La région de la Tinibouine se situe au Nord des monts de Batna Belezma, la superficie de plaine donne à l'agriculture une place particulièrement importante dans la vie économique. Cette région se distingue également, par la richesse de ses terres abricotiers. Ont une superficie de 450 hectares irrigués avec un débit de 100 l/s. Le nombre total d'exploitation est 800 exploitations.

La région d'étude est caractérisée par un relief accidenté, très morcelé et par la large prédominance des calcaires avec intercalations des formations tendres (marneuses et argileuses).

# CADRE GEOLOGIE

1. Géologie régionale.....	19
1.1. Les séries Alpines.....	19
1.1.1. Le domaine interne.....	19
1.1.2. Le domaine des flyschs.....	20
1.1.3. Le domaine externe.....	20
1.1.3.1. Les séries Telliennes.....	21
1.1.3.2. Les séries de l'avant pays allochtone.....	21
1.1.3.3. L'avant pays Atlasique.....	22
2. Lithostratigraphie.....	22
2.1. Trias.....	22
2.2. Jurassique.....	22
2.2.1. Lias.....	23
2.2.2. Malm.....	23
2.3. Crétacé.....	23
2.3.1. Crétacé Inférieur.....	23
2.3.2. Crétacé supérieur.....	24
2.4. Paléogène.....	25
2.5. Néogène.....	26
2.5.1. Miocène.....	26
2.5.2. Pliocène.....	26
2.6. Quaternaire.....	26
3. Géologie de la zone d'étude.....	26
3.1. Analyse lithostratigraphie.....	26
3.1.1. Crétacé.....	28
3.1.1.1. Le Crétacé inférieur.....	28
3.1.1.2. Crétacé Supérieur.....	28
3.1.2. Tertiaire.....	31
3.1.2.1. Formation détritique inférieure.....	31
3.1.2.2. La formation marneuse.....	31
3.1.2.3. La formation détritique supérieure.....	31
3.1.3. Quaternaire.....	32
4. Cadre structural.....	32
4.1. Structures.....	33
4.1.1. Anticlinal Refaa-Reched.....	33
4.1.2. Le repli synclinal de Tirchiouine.....	33
4.1.3. L'ensemble Bou Ari-Bou Rhioul.....	33
4.1.4. Le synclinal de Markounda.....	34
4.1.5. Les monts de Batna- Bellezma.....	34
4.2. Les accidents tectoniques.....	35

# Chapitre Géologie

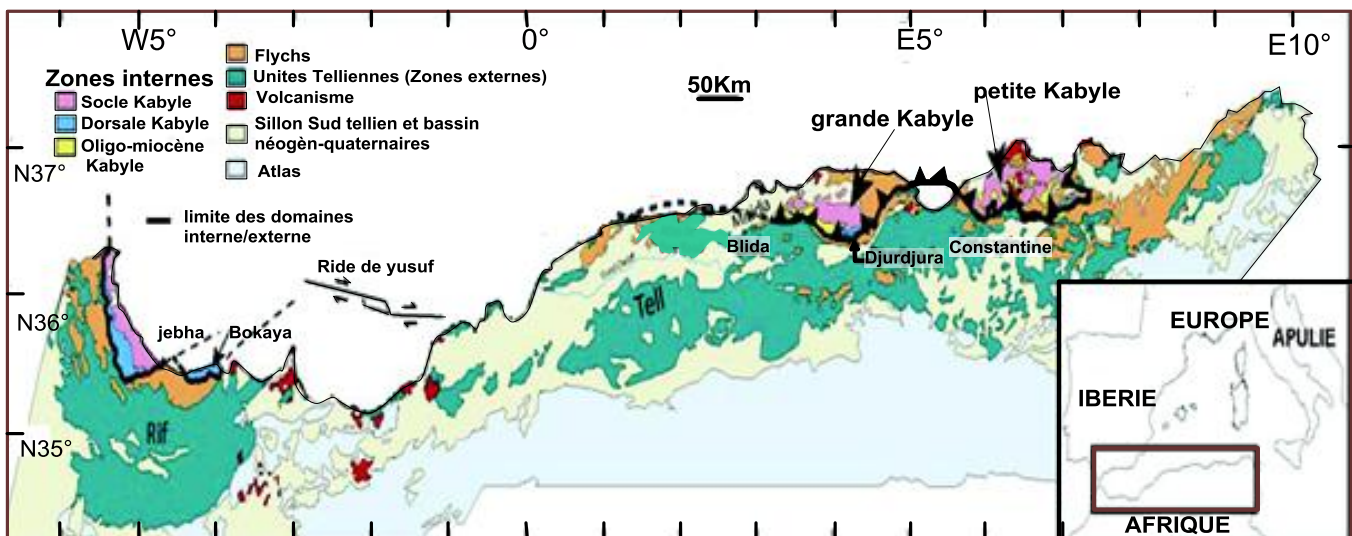
## 1. Géologie régionale:

Depuis un siècle et demi, les recherches recouvrant l'ensemble de l'Algérie du Nord ont permis de déchiffrer ses grands ensembles structuraux.

La chaîne des Maghrébides fait partie de l'orogène alpine, celle-ci se présente sous forme d'anneau très aplati et allongé d'Ouest en Est sur plus de 2000 km, l'édifice de cette chaîne résulte de la structuration du bassin maghrébin et de ses marges (Aubouin, 1971 ; Bouillin, 1986).

Les grands ensembles structuraux (Fig. 6) constituant la chaîne des Maghrébides se subdivisent en trois grandes familles qu'on peut distinguer du nord vers le sud et qui sont respectivement :

- Le domaine interne dont les affinités sont européennes ;
- Le domaine des Flyschs, représentant la couverture sédimentaire de l'ancien océan téthysien ;
- Le domaine externe hérité de la paléo-marge africaine.



**Figure 6 :** Position des différentes unités géologiques des Maghrébides (Domzig et al., 2006) .

### 1.1. Les séries Alpines :

#### 1.1.1. Le domaine interne :

Ce domaine est formé d'éléments issus de la dilacération de la plaque d'Alboran: socle cristallophyllien continental aminci et d'une couverture sédimentaire du Paléozoïque au tertiaire. Cette couverture peut être en partie désolidarisée de son socle pour former des nappes de charriages (Raoult, 1970).

On attribue au socle quatre ensembles lithologiques, avec de bas en haut :

## Chapitre Géologie

---

- Un ensemble cristallophyllien inférieur, appartenant aux faciès granulites (Bouillin, 1975) avec des gneiss à intercalations, parfois puissantes, de marbres et d'amphibolites.

- Un ensemble cristallophyllien supérieur, comportant « des schistes satinés ou phyllades, des grés et des porphyroïdes ocellés ».

- La couverture sédimentaire paléozoïque du socle cristallin, peu ou pas métamorphique, dont les séries comprennent des termes de l'Ordovicien, du Silurien, du Dévonien et atteint le Carbonifère inférieur.

Du fait que l'«Oligo-Miocène kabyle» repose directement sur le socle kabyle (Bouillin, 1977 et Raoult, 1974), les géologues alpins d'Afrique du Nord s'accordent à considérer que le socle kabyle était probablement émergé durant le Secondaire.

Pour ce qui est de la Dorsale kabyle ou Chaîne calcaire, les auteurs (Durand-Delga, 1969 ; Raoult, 1974 ; Vila, 1980) distinguent des unités internes, médianes et externes. Ces séries constituaient, à l'origine, la couverture sédimentaire mésozoïque et tertiaire du socle kabyle. Les unités externes et médianes se sont cependant désolidarisées de leur substratum. Elles ont ensuite été plissées et chevauchées par le socle kabyle et la dorsale interne.

### **1.1.2. Le domaine des flyschs :**

Le domaine des nappes de flyschs correspond à un secteur marin profond et mobile du Jurassique moyen au Burdigalien. Il est lié, jusqu'à l'Eocène supérieur, à la bordure sud de la plaque d'Alboran. Il se caractérise par des formations de plaines abyssales, mises en place par des courants de turbidités (Bouillin, 1986).

Au Crétacé inférieur des flyschs terrigènes relativement proximaux se déposent dans la partie nord du bassin (flysch Maurétanien) (Gélard, 1969) et des flyschs distaux dans le sud (flysch Massylien) (Raoult, 1969).

A l'Oligocène et au Miocène basal, un flysch grés-micacé (le flysch Numidien) se dépose en discordance sur les premiers contacts tectoniques séparant les unités du domaine interne et la nappe du flysch Maurétanien. Les séries gréseuses de la nappe numidienne se sont formées durant l'Aquitainien et le Burdigalien basal, probablement dans le sud du bassin Massylien et tout à fait au nord du domaine externe tellien.

### **1.1.3. Le domaine externe :**

Le domaine externe représente la marge téthysienne du continent africain, il est caractérisé par une série qui s'étend du Trias au Miocène. Le Trias est formé d'évaporites et de roches pélitiques, le Jurassique et le Crétacé à dominances carbonatées, le Crétacé supérieur et le Tertiaire sont constitués des roches pélitiques et des marnes.

## Chapitre Géologie

---

En Algérie orientale, le domaine externe est représenté par les séries telliennes, les séries de l'avant pays allochtone (selon la terminologie de J.M. Vila, 1980) et les séries de l'avant pays atlasique autochtone.

### **1.1.3.1. Les séries Telliennes :**

Elles correspondent aux séries à dominante marneuse provenant du domaine tellien, ces séries ont été découpées par les phases tectoniques tertiaires en trois grandes entités, dont les limites suivent à peu près les lignes paléogéographiques du Crétacé, du Paléocène et de l'Eocène. Ce sont, du Nord vers le Sud (Wildi, 1983 ; Vila., 1980) :

- Les unités ultra-telliennes, dont les formations typiques du Crétacé inférieur sont constituées par des marno-calcaires clairs ;

- Les unités telliennes sensu-stricto, avec un Crétacé inférieur plus ou moins riche en dépôts terrigènes et où les enchevêtrements de faciès néritiques restent modérés du Crétacé supérieur à l'Eocène.

- Les unités péni-telliennes et les unités méridionales à nummulites, à faciès néritique prépondérant du Crétacé supérieur à l'Eocène.

### **1.1.3.2. Les séries de l'avant pays allochtone :**

Selon les conceptions de Vila (1980), les séries de l'avant pays allochtone, ont été regroupées en trois grandes organisations :

#### ***a- L'organisation Setifienne :***

Il s'agit de séries de plate-forme subsidante, seule leur frange méridionale décèle des variations significatives qui annoncent l'autochtone hodnéen plus méridional à l'ouest (Djebel Tafourer) et les séries des sellaoua à l'est (Djebel Hamouda ou Anouda).

#### ***b- L'organisation Constantinoise :***

Elle englobe les séries néritiques constantinoises au Nord et les séries des Sellaoua au sud.

#### ***c- Les séries Néritiques Constantinoises :***

Les séries néritiques constantinoises forment des massifs isolés, de tailles variables ; caractérisées principalement par des formations carbonatées, du Mésozoïque, cette organisation fut considérée pendant longtemps comme autochtone (Durand-Delga, 1969) ; elle est allochtone et chevauche (Vila, 1980), les écailles de Sellaoua et l'ensemble sud-sétifien. L'autochtonie de cette organisation est reprise par (Chadi, 1991) et (Coiffait, 1992). Une certitude cependant, durant les phases tectoniques alpines, cette organisation s'est comportée de façon rigide.

### d- *Les unites des Sellaoua* :

Ces unités sont issues d'un sillon allongé du Sud-Ouest au Nord-Est. Elles affleurent au sud-est des massifs composant l'unité néritique constantinoise. leur faciès est essentiellement marneux avec un léger apport détritique dans le Crétacé supérieur. Le Paléocène et le Lutétien supérieur sont marneux, par contre l'Yprésien est carbonaté et riche en Nummulites ; l'Oligocène est signalé par Vila (1980) et par Coiffait (1992). Djebel Djafa offre une image des faciès de transition entre les séries néritiques constantinoises méridionales et les séries septentrionales des Sellaoua (Chadi, 1991).

### 1.1.3.3. L'avant pays Atlasique :

Il est caractérisé par une vaste plaine aux reliefs plutôt modérés (hauts plateaux) avec les chaînes montagneuses plissées du Hodna, Batna et des Aurès. Il se distingue par des séries mésozoïques très épaisses et des faciès de plate-forme subsidante. La région de notre étude fait partie de l'ensemble géologique d'avant pays Atlasique.

## 2. Lithostratigraphie :

Les terrains les plus anciens qui affleurent dans les monts du Hodna et dans le secteur étudié (voir la lithostratigraphie de la zone d'étude) sont attribués au Trias et les plus récents au Quaternaire. Entre le Trias et le Quaternaire presque tous les étages sont représentés.

Les descriptions lithostratigraphiques qu'on abordera ci-après sont inspirées en grande partie des travaux antérieurs, notamment ceux consacrés à l'étude du Môle néritique Constantinois, la notice explicative de la carte géologique au 1/50 000 de N'gaous (fig. 8), établie par J.M. Vila (1977).

### 2.1. Trias :

Il s'agit de formations généralement complexes, dans lesquelles on trouve des masses confuses de marnes et d'argiles gypseuses. Dans la région d'étude, les pointements de Trias soulignent la base du chevauchement du Djebel Mestaoua (Vila, 1977).

### 2.2. Jurassique :

Le Jurassique est constitué par une ossature essentiellement calcaro-dolomitique et constitue plusieurs chaînons des Monts du Hodna et de Batna. La série est épaisse de près de 1000 m.

### 2.2.1. Lias :

Il est connu Mis au Djebel Mestaoua et au Djebel Messaouda (Glaçon, 1952). Il est constitué de dolomies massives à gros grains, mal litées, ferrugineuses et de calcaires dolomitiques.

### 2.2.2. Malm :

Il est représenté par des alternances de calcaires et de marnes (Savornin, 1920), avec des niveaux récifaux de calcaire blancs construits à Tafourer et Messaouda (Glaçon, 1967).

### 2.3. Crétacé :

Il constitue les principaux affleurements des Monts de Batna et les chaînes montagneuses qui entourent la dépression du Hodna.

#### 2.3.1. Crétacé Inferieur :

Le crétacé inférieur occupe de vastes superficies dans les Monts du Hodna et dans les Monts de Batna – Ain Yagout où il constitue la couverture normale des noyaux jurassiques.

Les principales coupes ont fait l'objet de diverses publications (Bertraneu, 1955 ; Bureau, 1972 ; Glaçon, 1952 et 1967 ; Guiraud, 1967) Au sein de ces séries relativement monotones en apparence, on peut en effet distinguer assez souvent plusieurs formations. Ce sont :

- la formation marno-silto-gréseuse, qui correspond pour l'essentiel au Valanginien, mais également souvent à sa base au Berriasien supérieur ; cette formation peu résistante à l'érosion constitue toujours une dépression plus ou moins recouverte par des dépôts Quaternaires. Elle surmonte normalement en concordance les horizons carbonatés du Berriasien (Guiraud, 1990).

- La formation dolomitico-gréseuse principalement Hauterivienne ; des dolomies ou calcaires dolomitiques apparaissent ensuite très brutalement et probablement de façon à peu près synchrone (dolomies diagénétiques d'après J. Glaçon, 1967). Formant des bancs souvent très massifs, ces roches alternent avec des grés plus ou moins quartzitiques et quelques argiles marneuses. Dans le Djebel Bou Taleb (Monts sud-sétifiens), la limite inférieure de l'Hauterivien se situerait au voisinage de l'apparition de ces calcaires dolomitiques (Bertraneu, 1957).

- La formation argilo-calcaro-gréseuse, qui recouvre le Barrémien et l'Aptien inférieur ; dans cette formation les niveaux gréseux semblent avoir tout d'abord une importance prédominante, tout au moins dans les chaînons situés à l'Est d'Ain Azel (ex

Ampère) et dans les Monts de Batna. Avant que ne se développent de nombreuses passées franchement calcaires.

- Le Cénomaniens moyen et supérieur est représentés par des bancs calcaires décimétriques alternant avec des marnes.

- Le cénomaniens inférieur et moyen, dans sa totalité est représenté par une formation marneuse de quelque 500 m d'épaisseur; son rôle hydrogéologique est très important car elle constitue un substratum imperméable (Bellion, 1983).

- Une formation calcaro-marne-gréseuse, dont les bancs calcaires constituent en partie le relief des Djebels Refaa (formation du Turonien), Hadjret et Adrine. Ces formations constituer un bon réservoir en point de vue hydrogéologique.

### **2.3.2. Crétacé supérieur :** (fig. 7)

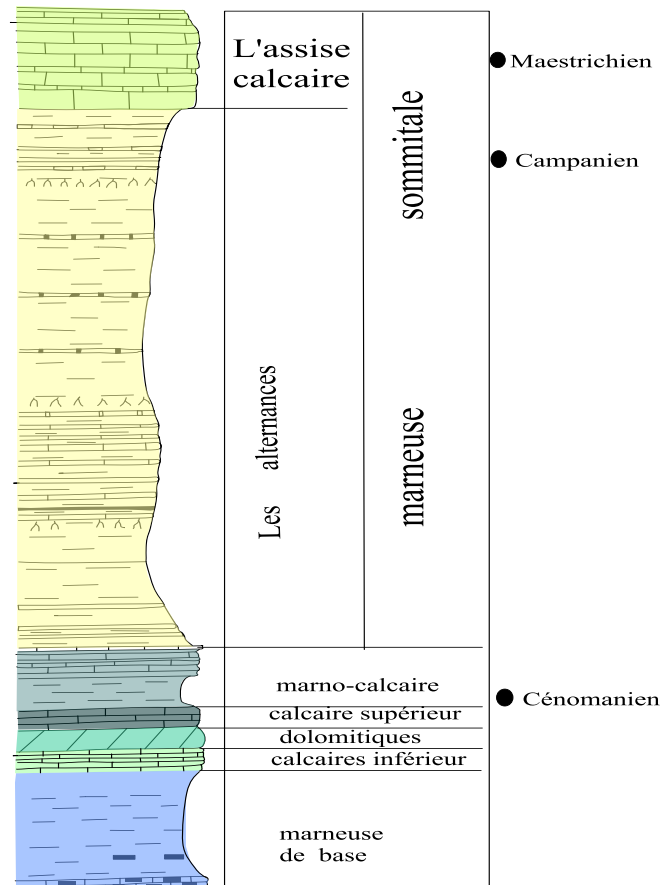
Les formations les plus récentes du Crétacé qui y ont été reconnues sont :

- Une formation à dominante marneuse : c'est une formation épaisse de près de 650 m intercalée par deux barres de marne-calcaire que Vila (1977) a attribuée au Vraconien-Cénomaniens et Cénomaniens inférieur.

- Une formation calcaro-dolomitique, péri-récifale ou parfois même récifale, qui englobe peut être la partie inférieure du Turonien (Guiraud, 1973).

- Des dépôts détritiques grossiers, assez épais, attribués au Sénonien inférieur et à une partie du Campanien, sont conservés très localement à la périphérie nord et ouest du Bou Taleb. Malgré leur faible extension, ces faciès particuliers sont très importants (Guiraud, 1973).

- Le Maastrichtien, calcaire et très néritique, est également cantonné à l'W et au NW du Bou Taleb où il est transgressif sur des termes divers du Sénonien supérieur et peut être n'a-t-il jamais existé en certains endroits.



**Figure 7 :** Le Crétacé supérieur du Bellezma, stratigraphie (figure schématique) d'après billion, 1977.

## 2.4. Paléogène :

La stratigraphie du Paléogène n'a pu être établie que de façon assez imprécise en raison du caractère le plus souvent néritique, lagunaire ou continental.

Dans le bassin du Hodna, les affleurements paléogènes sont limités aux régions septentrionales :

- Bassin de M'Sila ;
- Versant nord des Monts du Hodna ;
- Formations allochtones sud-telliennes, avec des terrains argilo-marno-gréseux d'âge Eocène et Oligocène emballés en façon anarchique dans le Miocène (Guiraud, 1973). En s'éloignant des Monts du Hodna en direction du Sud, on rencontre à diverses reprises des séries paléogènes conservées principalement dans les cuvettes synclinales. Au-dessus des formations sénoniennes on observe successivement :
  - une formation à dominante marneuse, comportant des niveaux très rubéfiés à passées détritiques dans le synclinal d'El Kantara, la série la plus complète s'observe entre le Bellezma et le Metlili, dans la vallée de l'Oued Berriche (Guiraud, 1973).

### **2.5. Néogène :**

Malgré les nombreuses variations du Mio-Pliocène, G. Glaçon et R. Guiraud (1970), ont pu établir des comparaisons dans le bassin du Hodna avec d'autres régions de l'Algérie du Nord. La puissance du Mio-Pliocène du Hodna est maximale à la périphérie occidentale du Bellezma. En dehors de ce bassin et plus précisément dans les Aurès, au Sud, il s'amincit et se charge fortement en gypse et en éléments détritiques.

La série néogène repose toujours en discordance sur des terrains antérieurs.

#### **2.5.1. Miocène :**

Il s'agit de formations le plus souvent continentales, parfois lagunaires, de couleur généralement rouge, qui reposent en discordance plus ou moins accentuée sur l'Eocène ou le Secondaire. Dans les régions septentrionales du Monts du Hodna, le Miocène est conservé dans des petits bassins qui se trouvent actuellement plus ou moins isolés à la suite de complications tectoniques (Guiraud, 1973).

#### **2.5.2. Pliocène :**

Le cycle sédimentaire pliocène surmonte généralement en concordance le Miocène et débute dans le Hodna par une barre grès-conglomératique.

Il s'agit en fait de conglomérats à galets bien roulés, en bancs lenticulaires, alternant avec des grès grossiers bruns, avec des marnes. Au-dessus la série devient progressivement marneuse, avec quelques récurrences détritiques. Les influences lagunaires ou deltaïques s'accroissent lorsqu'on se déplace vers le Hodna oriental. Vers le sommet de la série, les apports détritiques deviennent importants.

### **2.6. Quaternaire :**

Le Quaternaire englobe plusieurs niveaux d'épandages qui peuvent être séparés, selon leur nature, en deux grands ensembles : les Glacis et les Travertins.

## **3. Géologie de la zone d'étude :**

### **3.1. Analyse lithostratigraphie :**

Dans la présent travail nous allons essayer de donner une description générale de la géologie des Monts de Belezma, (Fig. 8) en nous basant sur les données de l'étude géophysique élaborée par la C.G.G (1969) et sur l'étude géologique et hydrogéologique de la terminaison occidentale des monts du Bellezma (Algérie) (Bellion, 1972).

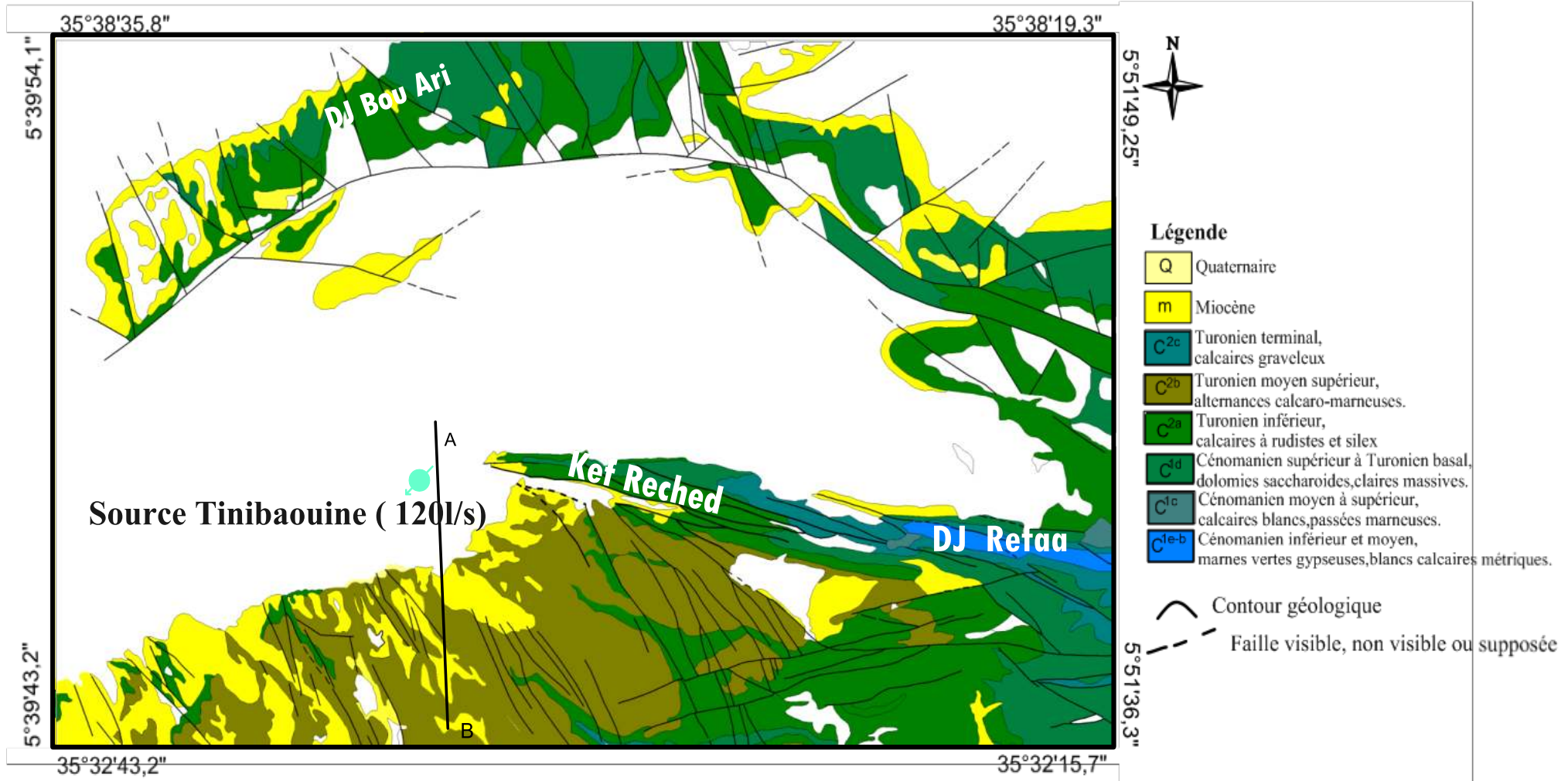


Figure 8 : la carte géologique de la zone d'étude (d'après Vila 1977).

## Chapitre Géologie

---

La zone d'étudiée comprend de haut en bas les formations suivants :

### **3.1.1. Crétacé :**

Le crétacé est très développé dans le massif de Bellezma, les formations présentent un caractère très important qui réside dans l'existence des faciès gréseux et calcaires, forts importants du point de vue hydrogéologique. il est formé par :

Le Crétacé Inférieur ; Où les faciès sont à dominante gréseuse, Il comporte également des marnes et des calcaires mais en lentilles plutôt qu'en couches. Cette série va du Valanginien à l'Aptien.

Le Crétacé Supérieur ; Cette série marno-calcaire, épaisse de 3000 m, débute par le Cénomaniens qui s'étale très largement à la terminaison périclinale Sud-Ouest des monts de Bellezma, où il forme le sommet le plus élevé de la chaîne (Djebel Refaa, 2178 mètres) cette série va du Cénomaniens au sénonien.

#### **3.1.1.1. Le Crétacé inférieur :**

##### ***a- Valanginien :***

Il est constitué par des marnes gréseuses peu fossilifères, cette série affleure dans l'anticlinal du Dj. Bou Rhioul avec une épaisseur de 400m.

##### ***b- L'hauterivien :***

Il montre ses tranches sur le flanc sud de la montagne et se compose de calcaires à brachiopodes, des calcaires marneux à gastéropodes et bivalves, on l'observe aussi à l'Ouled Chelih avec des dolomies lenticulaires.

##### ***c- Barrémien :***

Il est surtout gréseux, à l'extrémité sud-ouest de l'anticlinal de Bellezma. L'épaisseur de cette série est entre 300 à 400 m.

##### ***d- L'aptien :***

Il est marno-calcaire à sa base, et calcaire à calcaires dolomitiques au sommet à la terminaison sud de l'anticlinal de Bellezma.

#### **3.1.1.2. Crétacé Supérieur :**

Le crétacé supérieur est représenté par diverses formations lithologiques qui se répartissent comme suit :

##### ***a- Cénomaniens :***

Le cénomaniens est constitué par :

## *La formation marneuse de base :*

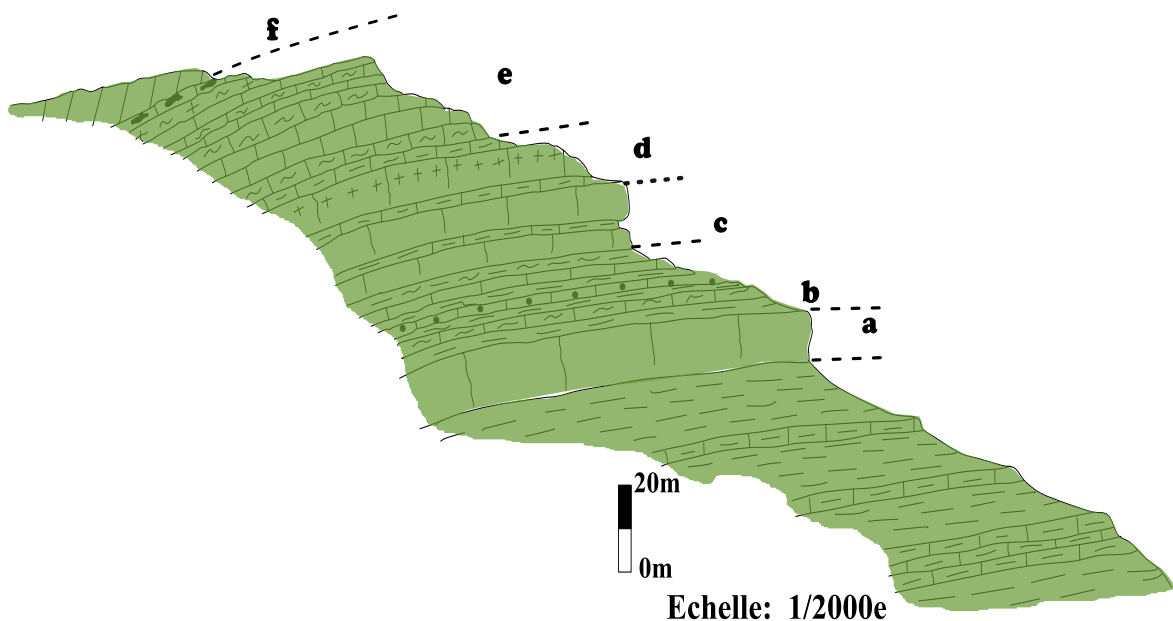
Elle se divise en deux ensembles : le premier correspond à une série de marnes vertes à gypse diffus contenant de très minces bancs de calcaires, le second est constitué par une série sensiblement plus riche que la précédente en bancs de calcaires.

## *La formation calcaire inférieure :*

Au dessus des assises marneuses décrites précédemment, se développe une formation à dominante calcaire (Fig. 9).

Sud

Nord



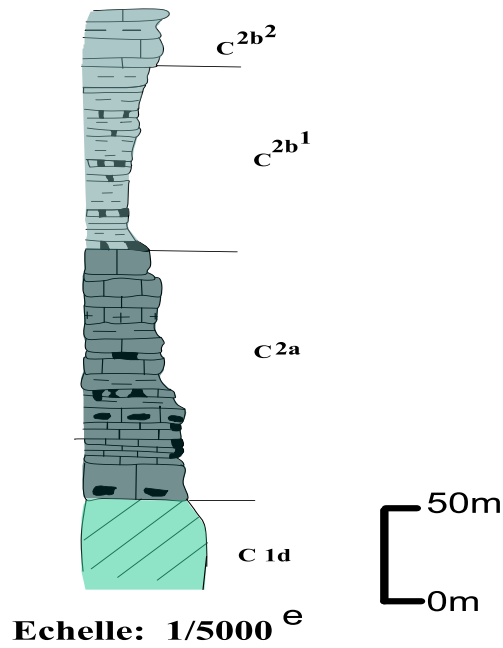
**Figure 9 :** Formation calcaire inférieure ( $C^{1c}$ ), coupe du djebel Refaa (d'après Billion 1972).

## *b- Turonien :*

C'est l'étage le plus important dans notre travail, Calcaires massifs ( $c^{2a}$ ) -100 à 140m. marnes avec intercalations calcaires, surmontés de calcaire en gros bancs de 20 m environ ( $e^{2b}$ ). Cette série a une puissance de 300m. Ces caractéristiques assurent la présence d'un important aquifère en profondeur (dj Refaa, Dj Ech Cheffa).

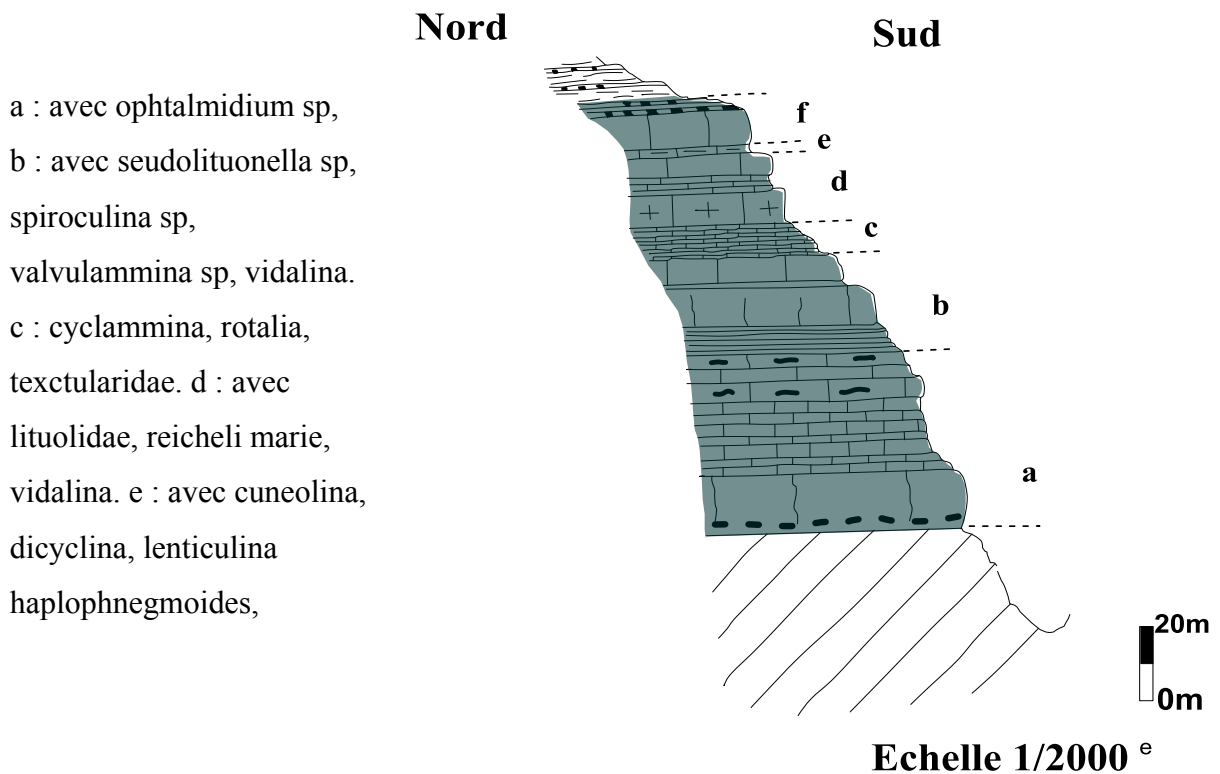
## *Le Cénomano-Turonien :* (fig. 10)

Le Cénomano-Turonien comprend la formation calcaire-dolomitique (400m).



**Figure 10:** Le Cénomano-Turonien des monts du Bellezma (Partie ouest) d'après billion 1972.

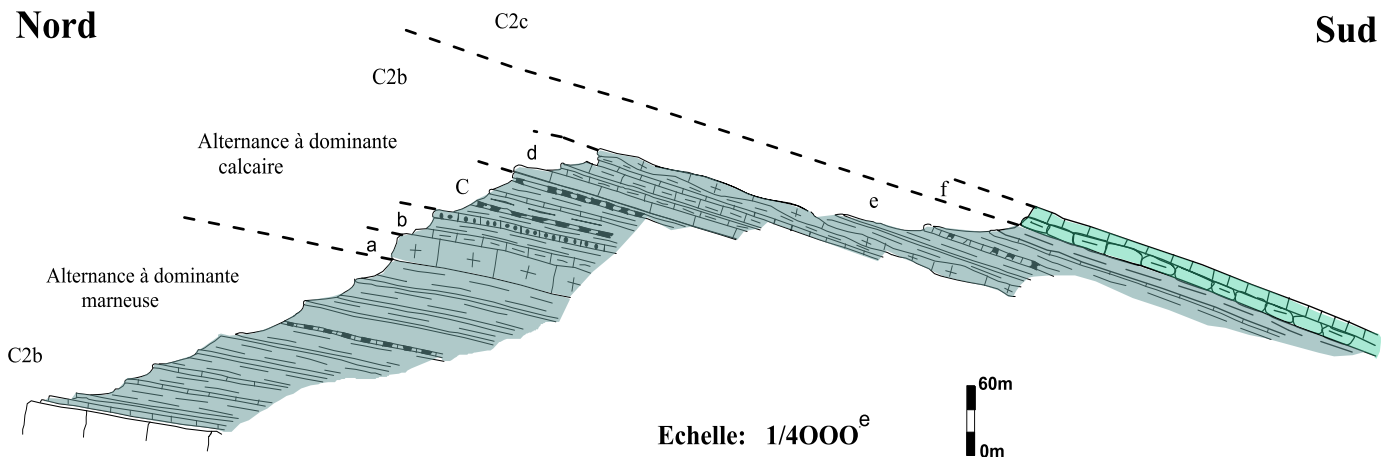
*La formation calcaire supérieure* : Sa puissance varie de 80 à 120m, elle s'amincit du nord au sud, tout en s'enrichissant en marnes (fig. 11).



- a : avec ophtalmidium sp,
- b : avec seudolituonella sp,  
spiroculina sp,  
valvulammina sp, vidalina.
- c : cyclammina, rothalia,  
textularidae. d : avec  
lituolidae, reicheli marie,  
vidalina. e : avec cuneolina,  
dicyclina, lenticulina  
haplophnegmoides,

**Figure 11 :** Formation calcaire supérieur C<sup>2a</sup> (d'après billion 1972).

**La formation marno-calcaire :** Elle peut apparaitre sous deux alternances distinctes, à la base, calcaire au sommet (fig. 12).



**Figure 12 :** formation Marno-Calcaire (C<sup>2b</sup>, C<sup>2c</sup>), coupe de Berriche (d'après billion 1972).

### c- Sénonien :

Alternance de marnes et calcaires (très épais) ; La formation marneuse : la formation marneuse affleure entre le piedmont sud des monts de Bellezma.

### 3.1.2. Tertiaire :

#### 3.1.2.1. Formation détritique inférieure :

Elle est constituée d'alternances rouges de marnolites et de bancs conglomératiques à ciment calcaire-gréseux. Cette série est épaisse de quelque 25 à 30 m. ces formations sont bien représentées au Ras-Moulaya-Yahia et au Kef-Sefiane.

#### 3.1.2.2. La formation marneuse :

Deux assises distinctes, d'inégale épaisseur se développent au-dessus des dépôts rouges, et constituent une épaisse formation marine à dominante marneuse : la première appartient au Miocène inférieur à moyen indifférencié, la deuxième représente le Miocène moyen et supérieur.

#### 3.1.2.3. La formation détritique supérieure :

Elle se compose de la manière suivante :

- Une barre grés-conglomératique de 30 à 60 m d'épaisseur, qui apparaît au Sud du Kef-Sefiane, et au Sud-Ouest du Kef-Aissa, où elle dessine un repli synclinal étroit et peu accentué

- un ensemble marno-gréseux d'environ 400 m de puissance.

# Chapitre Géologie

## 3.1.3. Quaternaire :

Les dépôts quaternaires recouvrent la majeure partie des plaines, se sont des éboulis, et des terrasses qui constituent de large nappe alluviale d'une épaisseur considérable (fig.13).

Le recouvrement de la plaine est formé par un matériel très hétérogène : argiles, marnes, limons, graviers et galets, sables et des conglomérats d'épaisseur variable.

Deux grands types de formations quaternaires affleurent au périphérique du massif. Les glacis constitués surtout d'éléments détritiques de tailles variables. Les travertins formés d'horizons riches en carbonate de calcium et par fois très indurés.

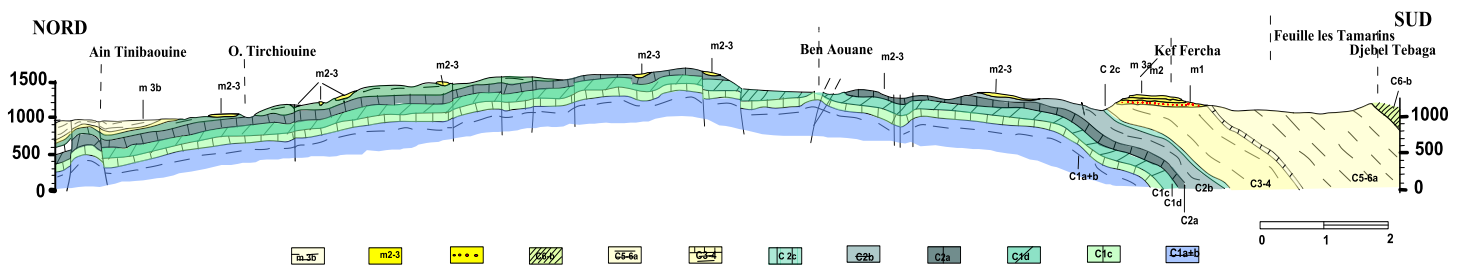
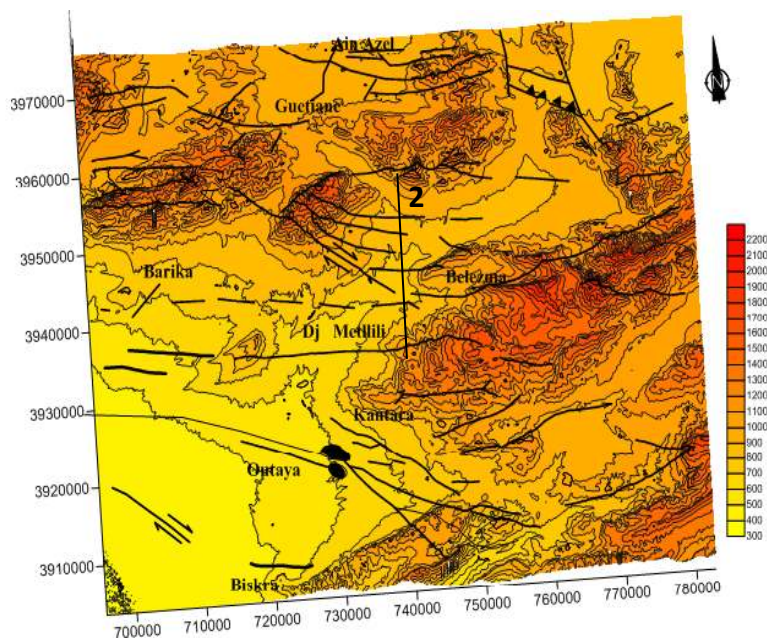


Figure 13 : Coupe géologique de la zone d'étude d'après Villa 1977.

## 4. Cadre structural :

La zone d'étude se présente comme un vaste synclinal étranglé vers l'Est (fig. 14). Elle entoure des flancs très redressés correspondant aux anticlinaux du Djebel Metlili au Sud, et les monts de Bellezma au Nord où affleurent essentiellement les formations secondaires du crétacé (Ben Yahia, 2014). Ces ensembles sont affectés par des accidents tectoniques qui ont profondément modifié ces structures.

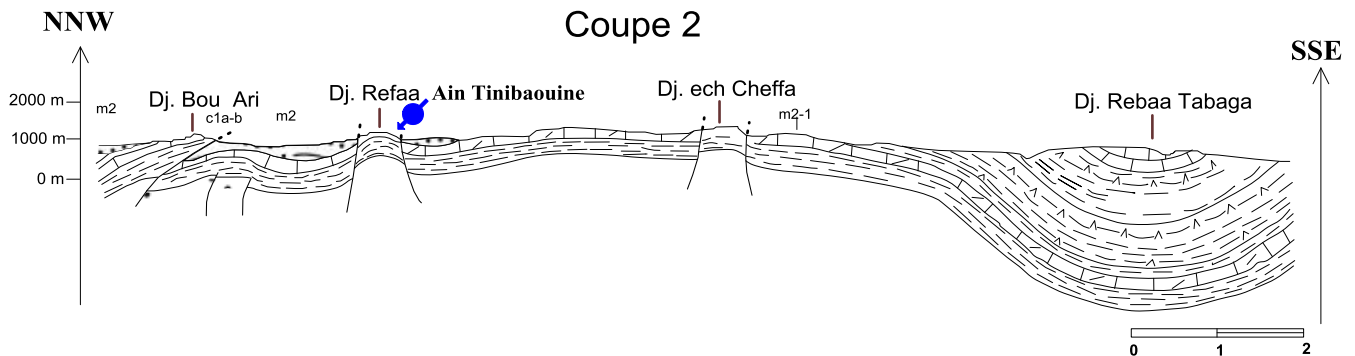


**Figure 14 :** Extraits de carte structurale du Hodna.

## 4.1. Structures (plis et synclinales) :

### 4.1.1. Anticlinal Refaa-Reched : (fig. 15)

Est un pli très étroit et s'infléchit très légèrement vers l'Ouest, fortement tectonisé par des accidents directionnels. Il est affecté par une faille verticale d'orientation N100°E joue un rôle important au point de vue hydrogéologique.



$m^2$  : miocène marin (assise)  $m^{2-1}$  : miocène marin  $C^{1a-1}$  : cenomanien.

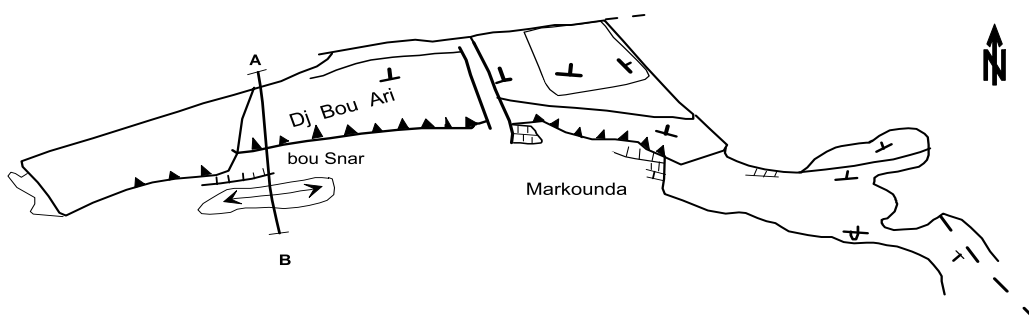
**Figure 15 :** coupe géologique schématique de structure actuelle et ante-miocène marin (D'après Billion, 1972).

### 4.1.2. Le repli synclinal de Tirchiouine :

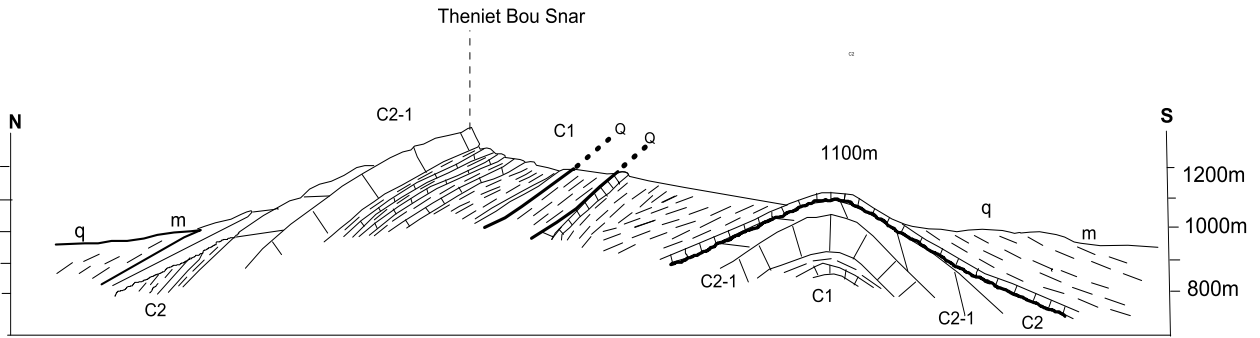
Très large, il est bordé par Dj Refaa, il suit le synclinal de Tinibaouine avec prolongement à peine à l'est. Il comporte des marnes et de calcaires graveleux.

### 4.1.3. L'ensemble Bou Ari-Bou Rhioul :

Cet ensemble est formé de cenomanien calcaire et une partie de l'assise dolomitique cenomano-turonienne, ces deux structures affectent par des accidents NW-SE qui les séparent (Figs. 16 et 17).



**Figure 16 :** Djebel Bou Ari-Bou Rhioul, schéma tectonique (d'après Guiraud, 1973).



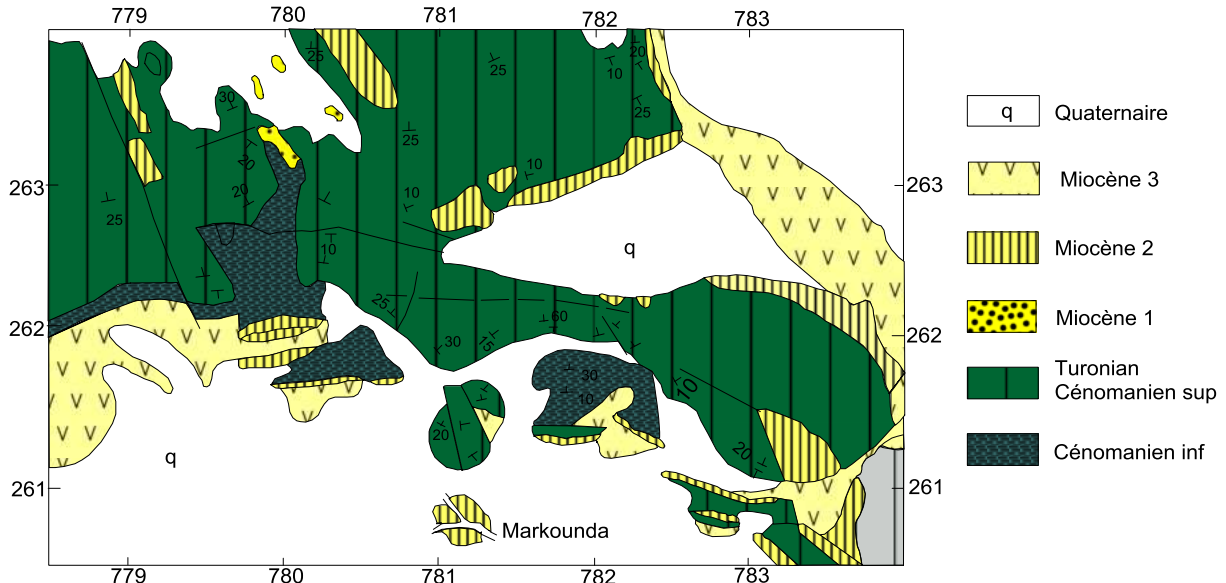
**Figure 17 :** Coupe du Djebel Bou Ari (Guiraud.R., 1973).

#### 4.1.4. Le synclinal de Markounda :

Ce synclinal est compris entre l'ensemble Bou Ari-Bou Rhioul et l'anticlinal Refaa-Reched, dont l'axe se prolonge vers l'ouest et une orientation qui varie de N100°E à l'Est à N80°E à l'Ouest, il est constitué par des formations miocènes continentales et marines.

#### 4.1.5. Les monts de Batna- Bellezma :

Les monts de Batna- Belezma sont formés d'un massif d'environ 80 km de long et de largeur variable (8 à 10 km à l'est d'oued chaaba, 20 km à l'ouest de cette localité). Ce massif étudié et décrit, à l'est de Refaa, par Bureau (1972) et Bellion (1976). Il s'agit d'un anticlinal dissymétrique de direction moyenne Nord 80° Est, dont le flanc sud, de disposition verticale à inverse, est plus redressé que le flanc nord (fig. 18).



**Figure 18 :** Carte structurale du Hodna et du massif des Aurès (d'après Guiraud, 1975).

### 4.2. Les accidents tectoniques:

Les monts de Batna-Belezma, affectés et limités par de grands accidents tectoniques, s'orientent selon trois directions principales dominantes nord-ouest/sud-est et nord-est/sud ouest ou plus variables, est-nord-est, ouest-sud-ouest, est-ouest.

D'autres fractures directionnelles conformes d'orientation Nord 110° à Nord- Est 130° affectent surtout l'anticlinal Refaa-Rached. Elles arrêtent celles d'orientation Nord 130° à Nord 170° qui s'incurvent vers l'ouest en bordure de cette structure.

Finalement, La région de Tinibaouine est située au Nord-Est de l'Algérie, en bordure Septentrionale des Monts de Batna-Belezma. Elle est caractérisée par deux types de formation à savoir ; des affleurements de terrain crétaqué et des formations quaternaires.

Il est limité par deux structures anticlinales:

- D'une part, au Nord, par l'anticlinal de Djebel Bou Ari de direction SW-NE.
- D'autre part, au Sud, par l'anticlinal de Kef Reched et djebel Refaa des directions NW-SE.

Ces structures sont affectées par de nombreux accidents tectoniques.

# Chapitre Géologie

---

1. Introduction.....	37
2. Le sous bassin versant de N'gaous.....	37
3. Paramètres morphométriques.....	38
3.1. Surface (A) et Périmètre « P » .....	38
3.2. Indice de compacité .....	38
3.3. Courbe hypsométrique .....	39
3.4. Les caractéristiques du réseau hydrographique .....	41
3.4.1. Classification Des Talwegs .....	41
3.4.2. La densité de drainage .....	42
3.4.3. Le coefficient de torrentialité .....	42
3.4.4. Le temps de concentration .....	42
3.4.5. Vitesse d'écoulement .....	43
4. Étude des facteurs climatiques.....	43
4.1. Les stations climatiques .....	43
4.2. Les précipitations.....	44
4.2.1. Précipitation moyenne annuelle.....	44
4.2.2. Précipitation moyenne mensuelle...45	
4.2.3. Les précipitations moyennes saisonnières.....	45
4.3. Température.....	46
4.3.1. Relation température/précipitation.47	
4.3.1.1. Diagramme Ombro- thermique de Gausson .....	47
4.3.1.2. Le Diagramme d'Emberger .....	48
4.4. L'évaporation.....	48
5. Evapotranspiration.....	49
5.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	49
5.1.1. Calcul de l'ETP selon la formule de Turc .....	49
5.1.2. Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite.....	50
5.1.3. Calcul de l'ETP selon la formule de blanney-Criddle.....	51
5.2. Evapotranspiration réelle (ETR)....	53
5.2.1. Formule de Turc .....	54
5.2.2. Formule de Coutagne.....	54
5.2.3. Méthode de Wundt .....	55
5.2.4. Méthode de Verdeil.....	55
6. Le bilan hydrique.....	56
7. Conclusion.....	57

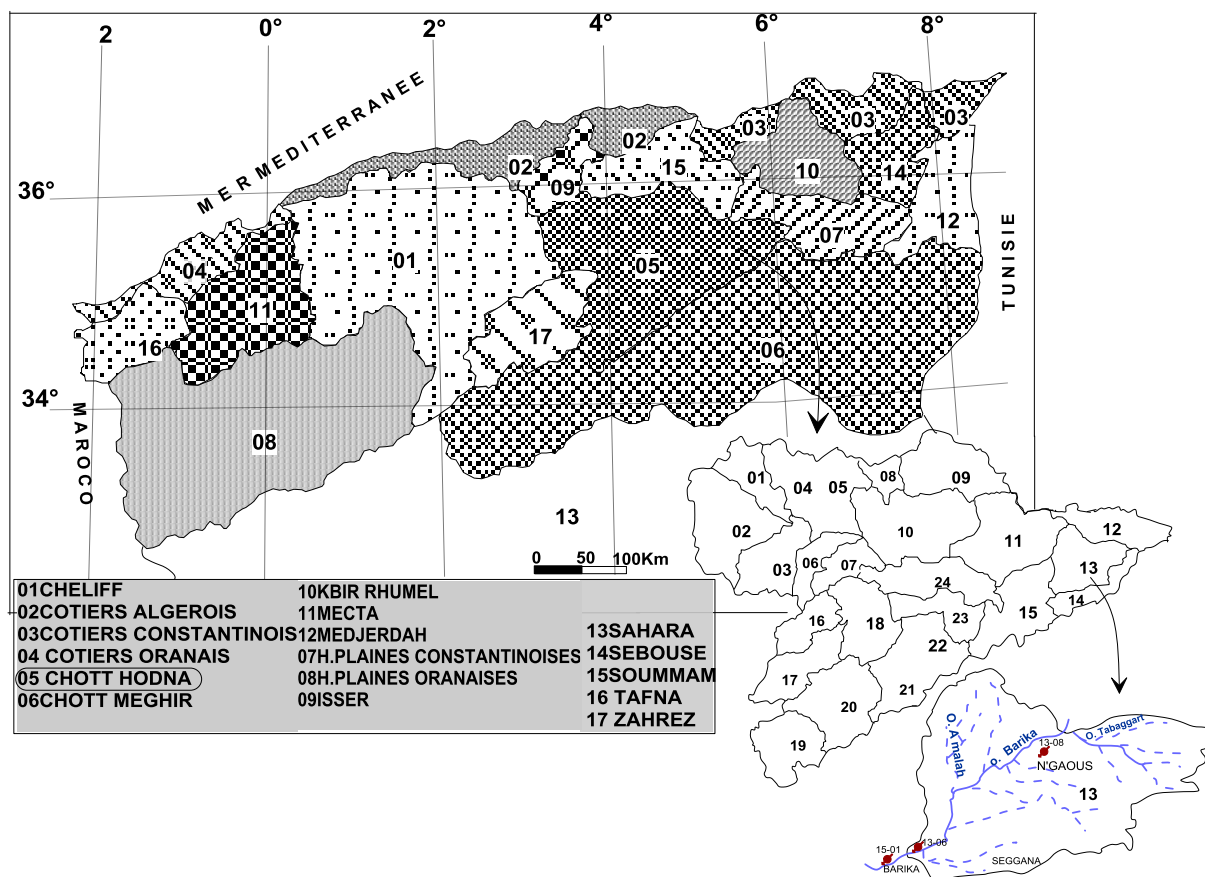
## 1. Introduction :

La caractérisation des différents types de paramètres morphologiques a pour but la quantification des facteurs caractéristiques du milieu physique.

## 2. Le sous bassin versant de N'gaous :

Le sous bassin de N'gaous est situé dans la Wilaya de Batna, il appartient au grand bassin de chott Hodna (05) (Fig.19 ), il totalise une surface de 1015 km<sup>2</sup> avec une exposition dominante Nord-ouest (Dj Guetiane), Est (Monts de Bellezma) et dont la ligne de partage des eaux lui confère une forme allongée (Sahraoui , 2008).

Le petit sous bassin de Tinibaouine est caractérisé aussi par sa dissymétrie, une partie montagneuse au Nord culminant à plus de 1864 m (Dj Refaa) et une autre basse au Sud 1740m (Dj El Cheffa), On constate, une accentuation de pentes entre Refaa et Merkounda qui engendrent également un accroissement rapide des vitesses d'écoulement, et met en évidence la puissance de l'érosion.



**Figure 19 :** carte des bassins versant et réseau hydroclimatologique.

### 3. Paramètres morphométriques :

#### 3.1. Surface (A) et Périmètre « P » :

La surface est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin, et est exprimée en Km<sup>2</sup>. D'après la délimitation du B.V. à travers les images satellites (2001) on a calculé par planimétrie, et aussi par le logiciel Mapp Info (6-5) une superficie de 1015 km<sup>2</sup>.

Le périmètre est la longueur exprimée en km, de la ligne de contour du bassin; Le périmètre du B.V. est de 157,5 km, on a mesuré par curvimètre et aussi par le logiciel de Mapp Ingo (6-5).

#### 3. 2. Indice de compacité « Kc » :

Est le rapport du périmètre " P" au périmètre d'un cercle ayant la même surface, il donne des informations importantes sur la concentration de l'écoulement à l'exutoire et sur la forme du bassin (fig. 20).

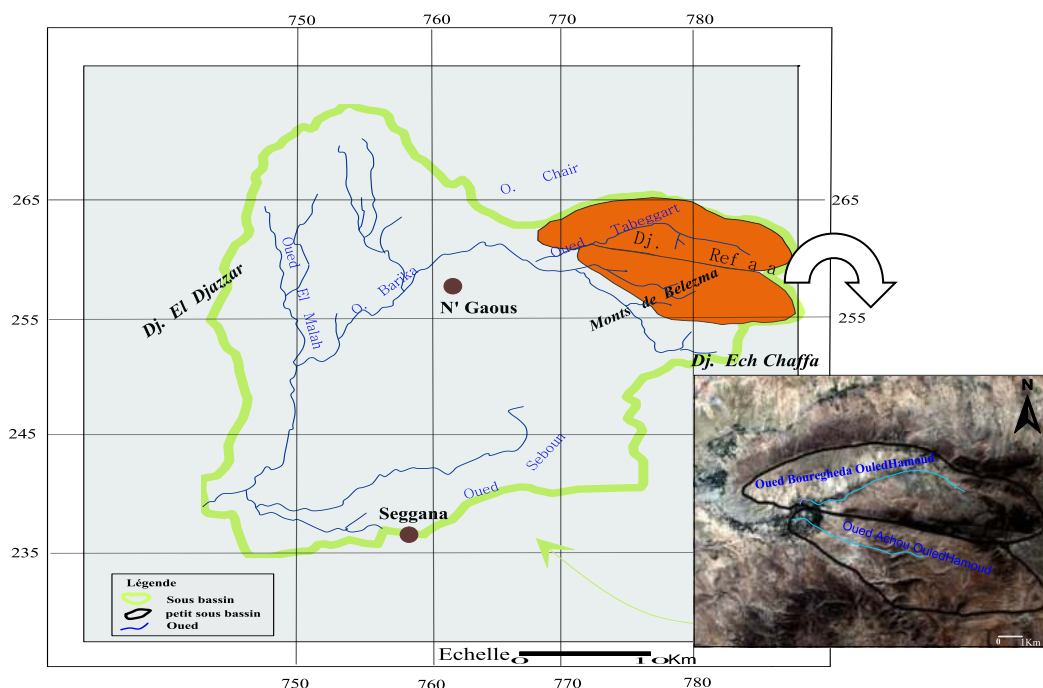
Kc du bassin est de 1,38, il est donne par l'équation (1).

Si:  $Kc < 1 \Rightarrow$  bassin versant de forme circulaire ;

$Kc = 1,12 \Rightarrow$  bassin versant a une forme d'un carré ;

$kc > 1,12 \Rightarrow$  bassin versant allongé.

$$Kc = 0,28p/ A \quad (1)$$



**Figure 20 :** bassin versant de Barika amont (N'gaous).

## Chapitre Hydroclimatologie

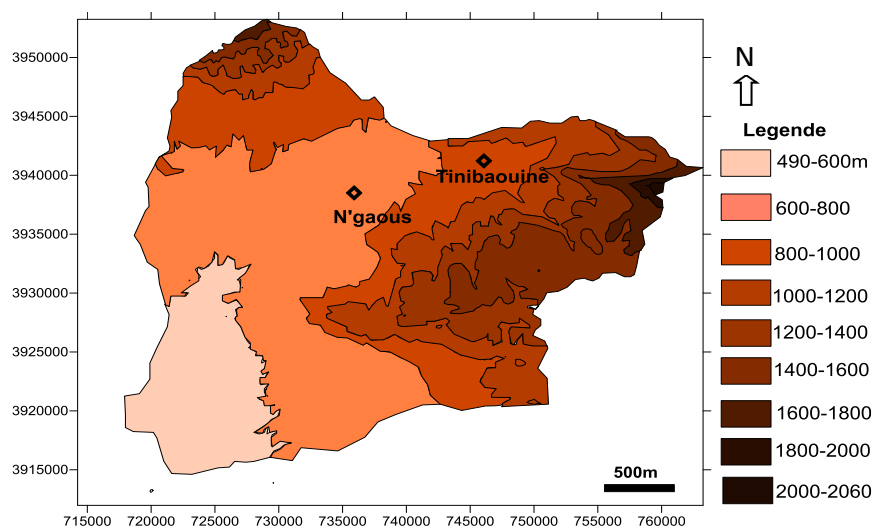
### 3.3. Courbe hypsométrique :

Elle permet de connaître l'état de répartition des altitudes de B.V en fonction de surface, et de calculer le volume de bassin versant (voir l'annexe 02).

La répartition du bassin versant par tranches d'altitudes est consignée dans les tableaux 5, 6 et 7 et reportée sur les figures 21 et 22.

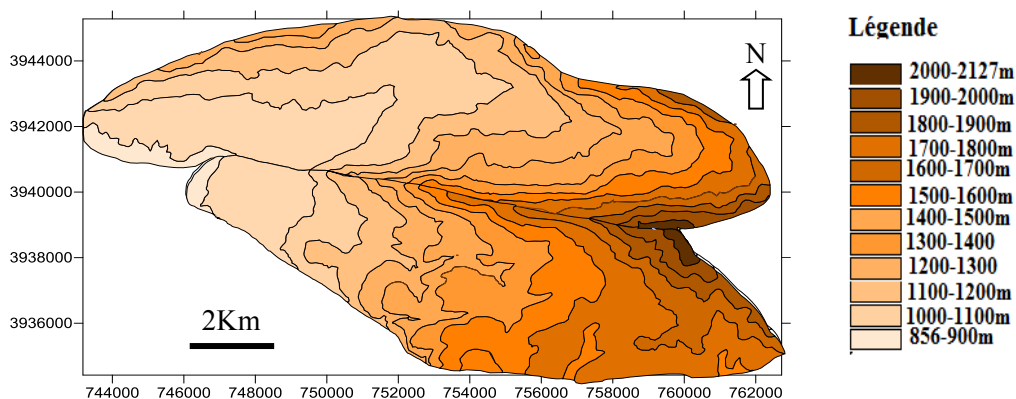
**Tableau 4:** les caractéristiques morphométriques des 03 bassins versant.

Caractéristique	Sous bassin (N'gaous) 5-13	sous bassin d'oued Bouregheda	sous bassin d'oued Achou
Superficie (km <sup>2</sup> )	1015	73,04	62,28
Périmètre (km)	157,5	300	236,2
L'indice de compacité	1,38	1,15	1,06
Longueur de rectangle équivalent (km)	127,4	34,04	31,5
Largeur de rectangle équivalent (km)	7,96	2,14	1,97
Altitude maximale (m)	2060	2113,5	2113,5
Altitude minimale (m)	490	878	878
Altitude moyenne (m)	922	820	1428
Altitude médiane (m)	800	1278	1600
Dénivelée spécifique (m)	1050	820	790
L'indice de roche	3,2	5,48	5,59
L'indice de pente globale (m/km)	8,24	24,08	25,07
La densité de drainage (Km/km <sup>2</sup> )	0,44	1,54	1,47
Le coefficient de torrentialité	0,035	2,95	1,62
longueur de l'oued principal (km)	46,64	4,93	4,9
Le temps de concentration (heures)	12,08	0,18	0,1
Vitesse d'écoulement (km/h)	3,86	27,38	49



**Figure 21 :** hypsométrie du bassin de Barika amont (N'gaous).

## Chapitre Hydroclimatologie



**Figure 22 :** hypsométrie des bassins Achou et Bougegheda.

**Tableau 5 :** répartition de la surface totale par tranches d'altitudes (N' gaous).

Altitude (m)	Surface Ai (Km <sup>2</sup> )	Altitude Moyenne(Hi)	Hiai	surface Ai	Surface Ai cumulée (%)
2060-2000	0,37	2030	751,1	0,0364	0,0364
2000-1800	3,062	1900	5817,8	0,301	0,338
1800-1600	37,2	1700	64141	3,66	4,003
1600-1400	79,73	1500	119595	7,85	11,858
1400-1200	86,05	1300	111865	8,47	20,335
1200-1000	129,45	1100	142395	12,75	33,085
1000-800	186,14	900	167526	18,33	51,41
800-600	359,8	700	251860	35,44	86,9
600-490	133,2	545	72594	13,12	100
Somme=936544,9					

**Tableau 6 :** répartition de la surface totale par tranches d'altitudes (Oued Achou).

Altitude (m)	Surface ai (km <sup>2</sup> )	Altitude Moyenne(Hi) (m)	Hiai	surface Ai(%)	Surface Ai cumulée (%)
2127-2100	0,05	878	105,6	0,09	0,09
2100-1900	1,72	1000	3442	2,76	2,85
1900-1700	7,13	1200	12834	11,45	14,3
1700-1500	22,40	1400	35840	35,96	50,26
1500-1300	11,96	1600	16744	19,2	69,46
1300-1100	8,62	1800	10340,4	13,83	83,29
1100-900	9,643	2000	9643	15,24	98,53
900-932	0,761	2113,5	668,03	1,22	100
Somme =89617.03					

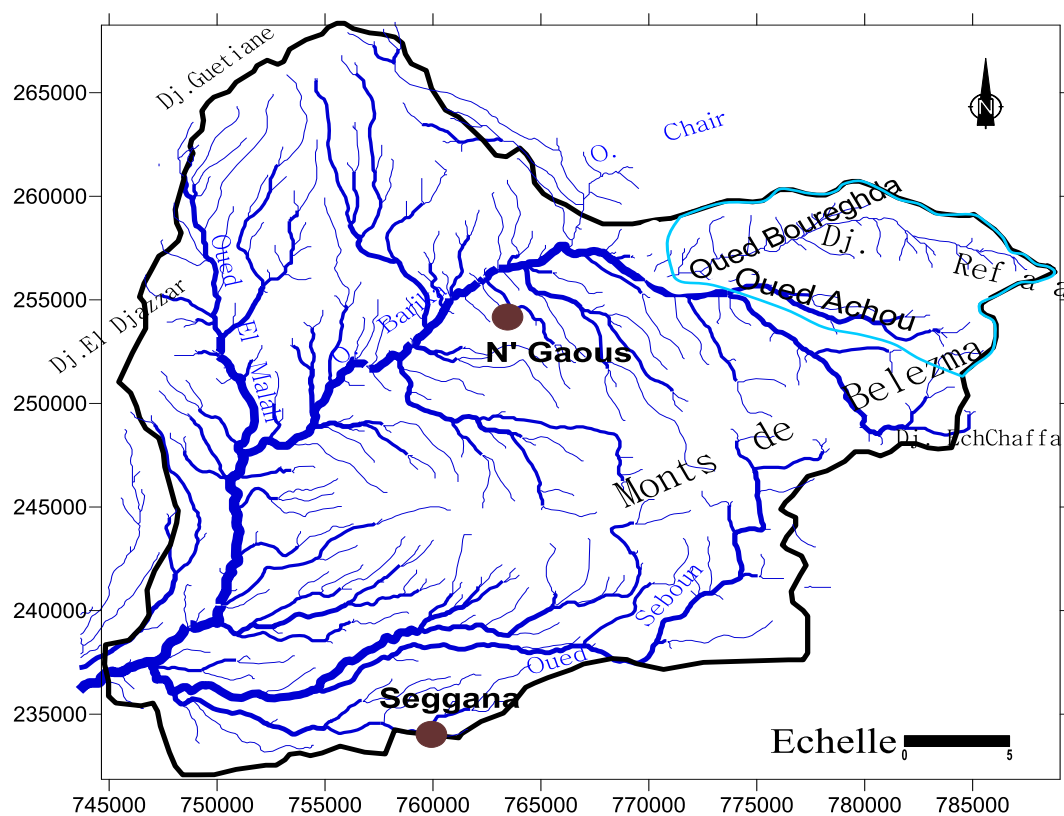
## Chapitre Hydroclimatologie

**Tableau 7 :** répartition de la surface totale par tranches d'altitudes (Oued Bouregheda).

Altitude (m)	Surface ai (km <sup>2</sup> )	Altitude Moyenne(Hi) (m)	Hiai	surface Ai	Surface Ai cumulée (%)
2127-2100	0.000557	2113,5	1,16	0,0007	0,0007
2100-1900	1.358	2000	2716	1,8597	1,859
1900-1700	3.019	1800	5434,2	4,13	5,989
1700-1500	8.165	1600	13064	11,178	17,159
1500-1300	11.5001	1400	16100,14	15,74	32,899
1300-1100	19.87	1200	23844	27,20	60,099
1100-900	27.24	1000	27240	37,29	97,389
900-856	1.896	878	1664,68	2,595	100
			Somme=90064.2		

### 3.4. Les caractéristiques du réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique (Fig. 23) est constitué de l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin.



**Figure 23:** le réseau hydrographique de la région d'étude.

#### 3.4.1. Classification Des Talwegs :

Il existe de manière générale deux méthodes pour classer les chevelus hydrographiques, la classification de Horton et celle de Schumm, et le calcul des paramètres morphométriques s'effectue à partir de classification de Schumm dans le tableau 8.

## Chapitre Hydroclimatologie

Chaque tronçon de la rivière formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre « x » reçoit l'ordre « x+1 ».

**Tableau 8 :** Les nombre des thalwegs selon la classification du Schumm.

Caractéristique	Cours d'eau														
	Ordre01	nombre	longueur	Ordre02	nombre	longueur	Ordre03	nombre	longueur	Ordre04	nombre	longueur	Ordre05	nombre	longueur
<b>Sous bassin 5-13</b>	01	272	454,7	02	69	214	03	19	122,4	04	03	53,24	05	01	17,85
<b>Petit sous bassin d'oued Bouregheda</b>	01	140	69,14	02	34	22,51	03	06	10,11	04	01	11,36			
<b>Petit sous bassin d'oued Achou</b>	01	69	34,67	02	16	18,4	01	04	15,38	04	02	10,07	05	01	0,88

### 3.4.2. La densité de drainage (Dd) :

Elle se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau à la surface de Bv. La densité de drainage exprime la longueur moyenne de réseau hydrographique par unité de surface de B.V. elle est donnée par l'équation (2) :

$$Dd = \frac{\sum Lx}{A} \Rightarrow Dd = \frac{451,7}{1015} = 0,44 \text{ km} / \text{km}^2 \quad (2)$$

Lx : la longueur totale cumulée des thalwegs de l'ordre x en km.

A : la surface totale en km<sup>2</sup>.

### 3.4.3. Le coefficient de torrentialité (CT) :

C'est le produit de la densité de drainage Dd par la fréquence des cours d'eau ; de premier ordre par unité de surface (formule 3).

$$CT = F1. Dd \quad (3)$$

$$F1 = \frac{N1}{A} \Rightarrow F1 = \frac{82}{1015} \Rightarrow F1 = 0,088$$

Donc Ct = 0,088 × 0,44 = 0,035 (voir le tableau).

### 3.4.4. Le temps de concentration (Tc) :

Le temps de concentration (Tc) des eaux sur un BV, se définit comme la durée nécessaire à une goutte d'eau, pour parcourir le chemin hydrologique entre un point élevé du bassin, et l'exutoire de ce dernier, il peut être calculé par plusieurs formules empiriques, dont celle de formule 4 (Formule de Giandotti) qui est d'utilisation courante :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.58LP}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (4)$$

$$T_c = \frac{4\sqrt{1015} + 1.58 \times 46,64}{0.8\sqrt{922 - 490}} = 12,08h$$

A : la surface totale du BV en (km<sup>2</sup>).

L<sub>p</sub> : longueur d'oued principale (km).

H<sub>moy</sub> : Altitude moyenne (m).

H<sub>min</sub> : Altitude minimale (m).

### 3.4.5. Vitesse d'écoulement : (formule 5)

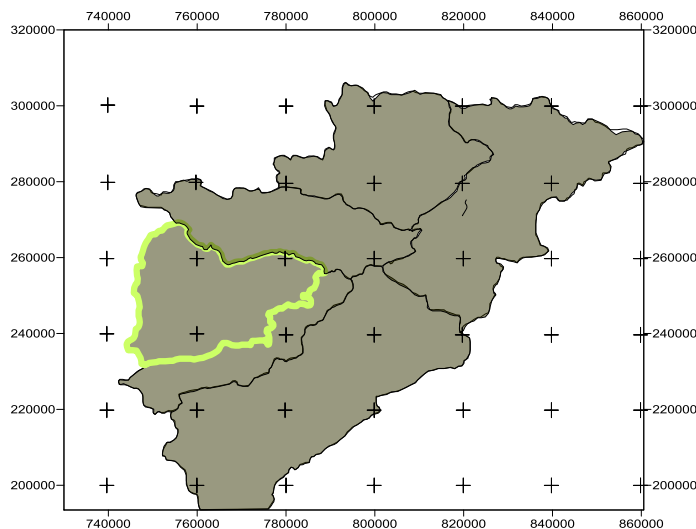
$$V_c = L_p / T_c \quad (5)$$

L<sub>p</sub> : longueur d'oued principale (km) ; L<sub>p</sub> = 46,64 km.

## 4. Étude des facteurs climatiques :

### 4.1. Les stations climatiques :

L'analyse hydroclimatique du bassin est effectuée en prenant en considération les données recueillies aux stations de Ain skhoua (aéroport), N'gaous, Ain Djasser, Chorf El Ain, Djebel Houara, Merouana, Oued Chelih et Oued el ma (annexe 02 et fig. 24).



**Figure 24** : Les bassins versant concernés par l'étude.

Pour une lecture aisée du texte, les données pluviométriques sont placées en annexe. Les coordonnées de ces stations, sont consignées dans le tableau 9 suivant :

## Chapitre Hydroclimatologie

**Tableau 9:** Les stations météorologiques prises en considération.

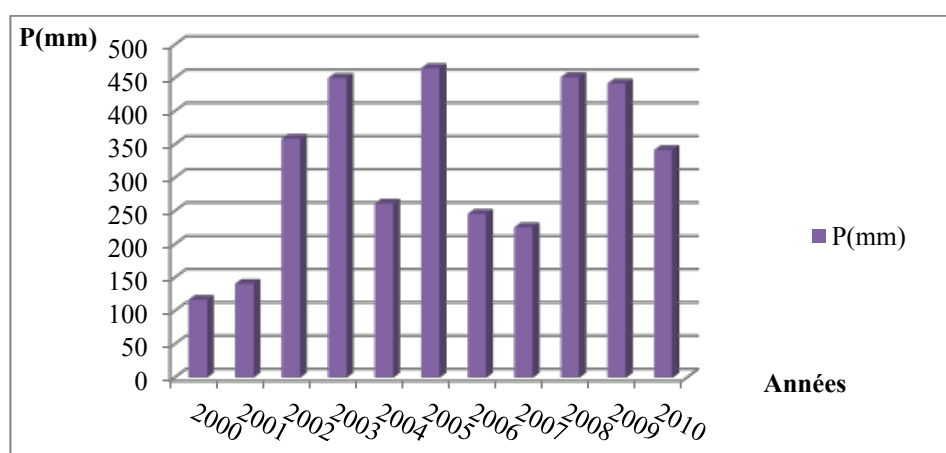
Code Mecano-graphique	Nom de la station	coordonnées		Altitude
		X	Y	
		827048	279013	
070201	Ain Djasser	798350	289100	865
051206	Chorf El Ain	786100	266600	900
051207	Djebel Houara	788700	271300	900
051201	Merouana	790750	263650	1000
051306	N'gaous	764100	255100	750
061211	Oued Chelih	799400	252600	1180
051203	Oued el ma	798250	265750	1001

### 4.2. Les précipitations :

Pour mieux connaître la pluviosité de notre zone d'étude, nous avons pris en considération la station de N'gaous (période disponible : 2000 - 2010).

#### 4.2.1. Précipitation moyenne annuelle:

Les P moyennes annuelles observées pour la période 2000-2010 (cette période d'observations est courte à cause de ces lacunes: 1996-1997-1999-2011) sont reportées dans le tableau 10 et la figure 25.



**Figure 25:** Variation des précipitations moyennes annuelles exprimées en mm à la station N'gaous (2000-2010).

**Tableau 10:** Précipitations moyennes annuelle.

N'gaous	Années	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	Pluies (mm)		116,3	140,4	358,3	449,7	261	464,5	245,5	225,2	450,9	441,4

## Chapitre Hydroclimatologie

D'après ces données, il ressort que l'année la plus pluvieuse est (2005) avec un cumul annuel de 464,5 mm, par contre l'année la plus sèche est l'année (2000) avec un cumul annuel de 116,3 mm.

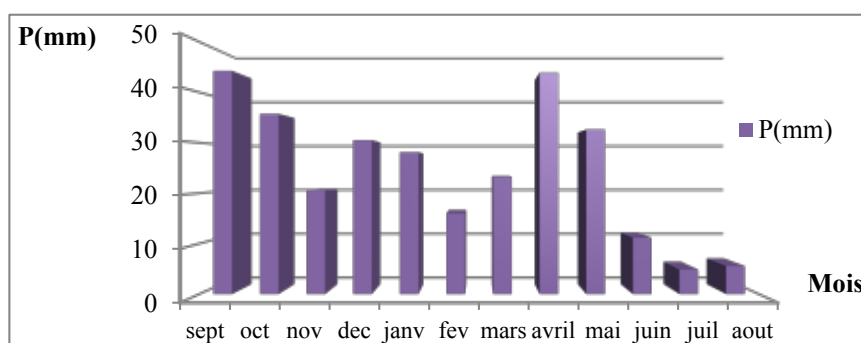
On constate une variabilité de la pluviométrie autour d'une valeur moyenne annuelle de 290 mm.

### 4.2.2. Précipitation moyenne mensuelle :

D'après les données disponibles (tableau 11 et fig. 26), on observe que, relativement, les mois les plus pluvieux vont du mois de Septembre jusqu'au mois de Mai, alors que les mois les plus secs sont Juin, Juillet et Août.

**Tableau 11** : précipitation moyenne mensuelle de la station N'gaous (2000-2010).

N'gaous	Mois	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	Année
	Moy (mm)	44,25	35,72	20,54	30,49	28,11	15,96	23,27	43,88	32,61	11,12	4,82	5,54	296,31



**Figure 26**: Répartition des précipitations moyennes mensuelles de la station de N'gaous (2000-2010).

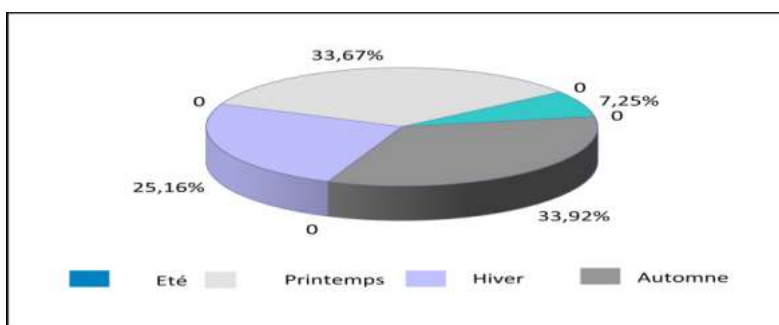
### 4.2.3. Les précipitations moyennes saisonnières :

La répartition des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières de la période (2000-2010) est reportée dans le tableau 12 et la figure 27.

**Tableau 12**: La répartition des précipitations saisonnières.

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Total
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JU	AO	/
P (mm)	100,50			74,56			99,76			21,47			296,29
%	33,92%			25,16%			33,67%			7,25%			100%

## Chapitre Hydroclimatologie



**Figure 27** : La répartition des précipitations saisonnière en pourcentage (2000-2010).

Les pluies se répartissent de façon inégale entre les saisons. L'automne et le printemps reçoivent pratiquement les mêmes quantités de pluies de l'ordre de 100 mm.

En hiver la pluviométrie est plus faible de l'ordre de 75 mm La saison d'été se distingue par contre par la pluviométrie la plus faible, de l'ordre de 21 mm.

### 4.3. Température :

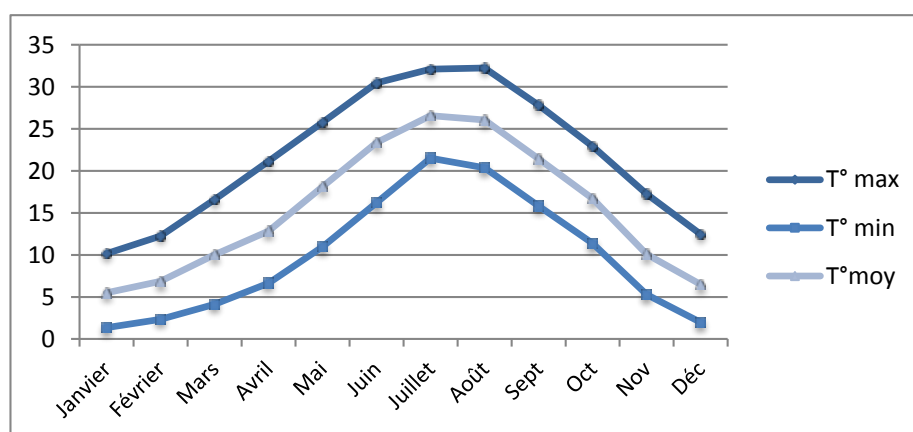
La température constitue un facteur important dans l'estimation du déficit d'écoulement. Nous allons donc considérer les températures mesurées à la station de Ain Skhouna-aéroport pour les calculs des paramètres hydrologiques à la station de N'gaous.

Les valeurs de La température enregistrées au niveau de la station de Ain Skhouna/ Aéroport sont représentées dans le tableau 13 et figure 28.

**Tableau 13** : Température mensuelle maximales (M), minimales(m) et moyennes (1989-2012) station Ain Skhouna (Aéroport).

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
T°													
Max	10.16	12.25	16.58	21.15	25.78	30.46	32.10	32.24	27.81	22.92	17.24	12.46	21.76
Min	1.35	2.35	4.13	6.64	10.98	16.22	21.51	20.36	15.81	11.36	5.29	1.97	9.83
Moy	5.50	6.86	10.02	12.83	18.13	23.37	26.57	26.05	21.43	16.70	10.08	6.48	15.34

D'après ce tableau, la variation moyenne mensuelle montre une croissance régulière des températures de Janvier à Août, suivie d'une décroissance jusqu'à Décembre.



**Figure 28:** Températures maximales, minimales et moyennes mensuelles de la station Ain Skhouna /Aéroport (Batna).

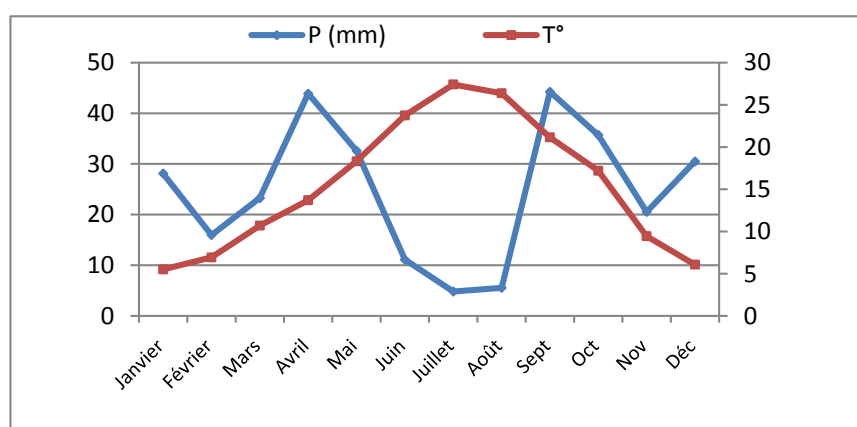
### 4.3.1. Relation température/précipitation :

#### 4.3.1.1. Diagramme Ombro- thermique de Gausсен :

Le diagramme de Gausсен permet de fixer le début et la fin d'une période sèche et humide. Un mois sec est un mois où les précipitations exprimées en (mm) sont inférieures ou égales au double de la température exprimée en °C. Cette relation permet d'établir des diagrammes pluvio-thermiques sur lesquels les températures sont portées à une échelle double de celle des précipitations, tableau 14, figure 29 (Djallouli, 1981).

**Tableau 14 :** La relation entre les températures et les précipitations.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
T°	21.15	17.20	9.45	6.07	5.51	6.94	10.69	13.71	18.32	23.74	27.42	26.37
P (mm)	44,25	35,72	20,54	30,49	28,11	15,96	23,27	43,88	32,61	11,12	4,82	5,54



**Figure 29:** Diagramme ombro-thermique de Gausсен.

## Chapitre Hydroclimatologie

D'après le diagramme ombro-thermique nous avons observé deux différentes périodes :

La période sèche s'étale mois de Juin jusqu'au mois Aout.

La période humide commence du mois de septembre jusqu'au mois de Mai.

### 4.3.1.2. Le Diagramme d'Emberger :

Il s'agit de déterminer la gamme des climats méditerranés par deux facteurs, les précipitations et les températures, (formule 6 d'Emberger, 1971):

$$Q=3,43P/M-m \quad (6)$$

Où P : précipitation totale annuelle (mm).

M : Moyenne des maximales des mois le plus chaudes (kelvin).

m : Moyenne des minimale des mois le plus froids (kelvin).

Les températures sont exprimées en degrés kelvin °K= T°C + 273.2.

Donc  $P_{N'gaous} = 317,69$  m,  $Q_{N'gaous} = 35,43$ .

D'après le diagramme, la région d'étude située dans l'étage bioclimatique semi-aride de type méditerranéen avec hiver froid et un été chaud (fig. 30).

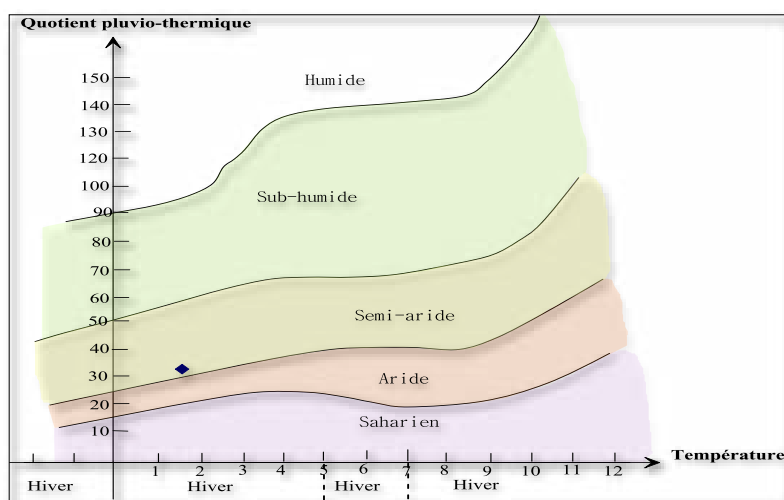


Figure 30: climagramme d'emberger.

### 4.4. L'évaporation :

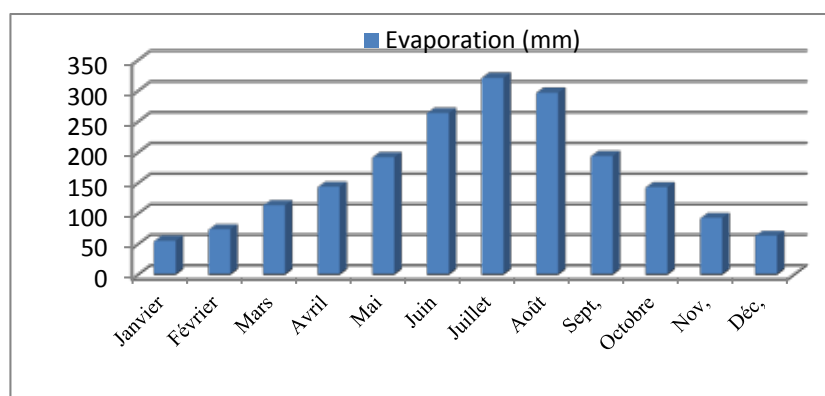
C'est le passage progressif de l'eau à l'état gazeux à partir de la surface libre d'une étendue d'eau, du sol ou d'un végétal (Seltzer, 1946).

Dans le tableau 15 et la figure 31, nous avons représenté l'évaporation moyenne mensuelle à partir de station Batna (1989-2012). Le maximum de l'évaporation au mois de Juillet, et le minimum au mois de Janvier.

## Chapitre Hydroclimatologie

**Tableau 15 :** variation de l'évaporation en fonction du mois de la station Ain skhouna (1989-2012).

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Evapo (mm)	54.59	73.68	113.18	143.59	192.14	264.09	321.50	297.23	193.95	142.73	92.36	62.95



**Figure 31:** variations mensuelle d'évaporation exprime en mm en fonctions des mois, station Ain skhouna (1989-2012).

### 5. Evapotranspiration :

Dans les études hydrogéologiques, les deux éléments principaux du bilan, évaporation et transpiration, sont réunis en un seul terme : L'évapotranspiration.

L'évapotranspiration ou l'évaporation totale (E.T) est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (phénomène biologique).

Il convient de distinguer : l'évapotranspiration potentielle et évapotranspiration réelle. L'ETP est employée lorsque la surface évaporante est convenablement alimentée en eau, par opposition à l'ETR, qui désigne l'évapotranspiration sans tenir compte de l'abondance de l'eau à la surface terrestre (Dehimi, 2007).

#### 5.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques données. Plusieurs formules empiriques, peu adaptées aux zones arides, permettent l'estimation de ce paramètre.

##### 5.1.1. Calcul de l'ETP selon la formule de Turc :

Turc distingue entre l'ETP et l'ETR aux pas de temps différents (journalier, décadaire, mensuel, annuel).

## Chapitre Hydroclimatologie

Pour le pas mensuel, quand l'humidité relative (hr) est supérieure ou égale à 50%, l'ETP selon Turc s'exprime par la formule (7) :

$$ETP = 0.4 \frac{t}{t+15} (I_g + 50) \quad (7)$$

Où ETP: évapotranspiration potentielle en mm par mois (tableau 16) ;

Ig: moyenne mensuelle potentielle de la radiation solaire globale, exprimée en cal /cm<sup>2</sup>/jour ;

T : moyenne mensuel de la température mesurée sous abri en C°.

Lorsque l'humidité relative hr est inférieure à 50%, le résultat obtenu par la précédente formule est multiplié par le facteur correctif suivant, qui n'est appliqué qu'aux calculs mensuels (formule 8):

$$\text{Facteur correctif} = 1 + \frac{50 - hr}{70} \quad (8)$$

L'indice Ig de la radiation solaire globale, qui n'est pas mesuré dans les stations de la région, a été calculé à l'aide de la formule (9) :

$$I_g = I_{ga} (0.18 + 0.62 \frac{h}{H}) \quad (9)$$

Où Iga : qui dépend de latitude, est le rayonnement globale à la limite de l'atmosphère pour le mois considéré (Menani, 1990).

H: durée moyenne d'insolation en heures ;

H : durée astronomique du jour en heures, elle dépend de la latitude (in Menani, 1990).

**Tableau 16 : calcul de l'ETP selon L.Turc.**

Mois	J	F	M	A	M	J	JUI	A	S	O	N	D	Année
T°	10,43	11,82	15,05	18,68	25,33	27,99	31,54	30,78	26,16	21,53	14,31	10,35	243.97
Iga	427	554	715	856	948	981	960	872	745	593	450	386	8487
h	4,4	7,75	7,25	7,25	9,7	9,6	11,6	8,5	8,75	7,65	5,3	5,25	93
H	10,02	10,83	11,7	13,1	14,1	14,6	14,32	13,5	12,4	11,28	10,28	9,75	145.88
Ig	193,1	345,5	397	448	575	576,5	655	497	460	356,1	224,8	198,3	4926.3
Etp mm	39,88	69,72	89,54	110,5	157,01	163,1	191,1	147,1	129,6	95,7	53,6	40,55	1233.8
Hr(%)	73,69	67,07	60,6	58,7	56,07	44,84	38	42,53	56,76	59,92	66,92	73,92	699.02
ETP corrigée	39,88	69,72	89,54	110,4	157,01	175,18	223,87	162,8	129,6	95,73	53,66	40,55	1347.94

### 5.1.2. Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite:

Partant d'expériences réalisées sous différents climats sub-humides, Thornthwaite propose la formule (10) pour le calcul de l'ETP.

## Chapitre Hydroclimatologie

$$ETP_c = 16 \left( 10 \cdot \frac{t}{i} \right)^a \times f(\lambda) \quad (10)$$

Où ETP : l'évapotranspiration potentielle en mm.

T : température moyenne de la période considérée (°C).

A : indice lié à la température, calculé par la relation suivante :  $a = 67.5 (10^{-8}I^3) - 77.1 (10^{-6}I^2) + 0.0179I - 0.492$  cependant (L. Serra, 1954) suggère de retenir :  $a = 0.0016 I + 0.5$ .

I : l'indice thermique, cet indice est calculé à partir de la température moyenne mensuelle (T°C) du mois considéré (formule 11).

$$i = \left[ \frac{T}{5} \right]^{1.514} \quad (11)$$

L'indice annuel (formule 12) :

$$I = \sum_{i=1}^n i_n = 12 \quad (12)$$

$f(\lambda)$  : Coefficient correctif : fonction de la durée théorique de l'insolation qu'on notera K qui dépend du mois et de la latitude du lieu.

$$ETP_c = ETP \cdot k \quad (13)$$

ETP<sub>c</sub> : évapotranspiration potentielle corrigée (formule 13 et tableau 17).

**Tableau 17 : ETP Selon Thornthwaite.**

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JUI	A
T°C	26,16	21,53	14,31	10,35	10,43	11,82	15,05	18,68	25,33	27,99	31,54	30,78
I	12,24	9,12	4,91	3,01	3,04	3,67	5,3	7,35	11,66	13,56	16,25	15,66
Etp <sub>calculée</sub>	116,16	75,88	31,02	15,25	15,51	20,4	34,63	55,6	108,32	134,8	175,09	165,98
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16
Etp <sub>corrigée</sub>	119,64	73,6	26,67	12,81	13,49	17,34	35,66	60,60	131,06	163,10	215,36	192,53

I=105.77

A=2.19

(K d'après Menani, 1990).

### 5.1.3. Calcul de l'ETP selon la formule de blanney-Criddle:

Les travaux de H.Blanney et W.Criddle (1952) avaient permis d'établir la formule 14 d'ETP :

$$ETP/\text{mois (mm)} = KF \quad (14)$$

Où ETP : évapotranspiration mensuelle en mm (tableau 19);

K : coefficient cultural, qui varie de 0.5 à 1.2 pour différentes cultures et diverses zones climatiques;

F : force évaporante qui dépend de la température moyenne mensuelle et du rapport d'éclairement h/H, défini comme pour la formule de Turc mais exprimé en %.

## Chapitre Hydroclimatologie

La formulation de l'ETP climatique s'écrit de la formule 15 :

$$ETP = aF + b \quad (15)$$

F : est la force évaporante de Blanney-Criddle, en mm/mois, qui s'obtient par la formule 16:

$$F = P (0.46 T + 8) \quad (16)$$

Où P : rapport de la durée d'éclairement mensuelle en % ;

T : température moyenne mensuelle en °C ;

a et b : coefficients de correction en fonction des trois paramètres climatiques (tableau 18): humidité relative, vitesse du vent et insolation effective moyenne (rapport des heures d'insolation et de la durée astronomique du jour).

**Tableau 18:** Valeurs des coefficients a et b de l'équation aF+b.

Insolation Effective	Vitesse m/s	Humidité relative en %					
		Faible<20		Moyenne 20-50%		Elevée>50%	
		a	b	A	b	a	B
Elevée 0.9	Faible 0-2	1.59	-2.02	1.45	-2.18	1.16	-1.96
	Modérée 2-5	1.77	-1.84	1.59	-2.11	1.25	-1.88
	Elevée 5-8	2	-1.86	1.73	-2.04	1.36	-2
Modérée 0.7	Faible 0-2	1.45	-2	1.3	-2.07	1.05	-1.84
	Modérée 2-5	1.66	-1.98	1.45	-2	1.14	-1.84
	Elevée 5-8	2.05	-2.23	1.57	-1.98	1.21	-1.8
Faible 0.45	Faible 0-2	1.25	-1.79	1.13	-1.71	0.89	-1.7
	Modérée 2-5	1.45	-1.91	1.23	-1.75	0.96	-1.66
	Elevée 5-8	1.61	-1.88	1.36	-1.82	1.02	-1.59

Source : (in Menani, 1990)

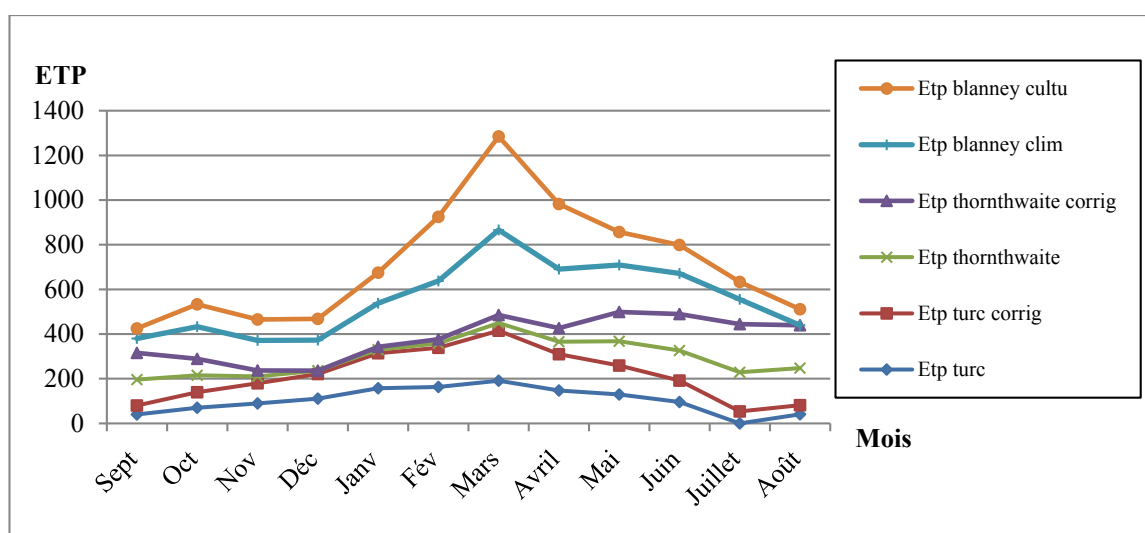
**Tableau 19 :** ETP mensuelle selon Blanney-Criddle.

Mois	J	F	M	A	M	J	JUI	A	S	O	N	D
T°	10,43	11,82	15,05	18,68	25,33	27,99	31,54	30,78	26,16	21,53	14,31	10,35
P	5,8	9,5	8	7,3	8,8	8,7	10,7	8,3	9,3	9	6,8	7,1
V(m/s)	1,7	2,4	3,1	4,4	3,6	3,2	2,8	3,3	3,3	2,4	2,8	2,9
Hr(%)	73,69	67,07	60,6	58,7	56,07	44,84	38	42,53	56,76	59,92	66,92	73,92
A	0,89	1,14	1,14	1,14	1,14	1,45	1,59	1,45	1,14	1,14	1,14	1,14
B	-1,7	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-2	-2,11	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84
F	74,22	127,65	119,38	121,12	172,9	181,6	240,8	183,9	186,3	161,1	99,16	90,6
Etp <sub>clim</sub>	64,35	143,68	134,25	136,23	195,3	261,33	380,8	264,66	210,55	181,84	111,2	101,44
Kc	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,1	1,1	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7
Etp <sub>cult</sub>	45,04	100,57	93,97	95,36	136,71	287,46	418,8	291,12	147,38	127,28	77,84	71

## Chapitre Hydroclimatologie

**Tableau 20** : Comparaison des valeurs de l'ETP calculées par différentes méthodes.

	Mois ETP	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Turc	Etp mm	39,88	69,72	89,54	110,5	157,01	163,1	191,1	147,1	129,6	95,7	53,6	40,55
	ETP corrigée	39,88	69,72	89,54	110,4	157,01	175,18	223,87	162,8	129,6	95,73	53,66	40,55
Thornthwaite	Etp calculée	116,16	75,88	31,02	15,25	15,51	20,4	34,63	55,6	108,32	134,8	175,09	165,98
	Etp corrigée	119,6	73,6	26,67	12,81	13,49	17,34	35,66	60,60	131,06	163,10	215,36	192,53
Blanney-Criddle	Etp clim	64,35	143,68	134,2	136,2	195,3	261,33	380,8	264,66	210,55	181,84	111,2	101,44
	Etp <sub>cult</sub>	45,04	100,57	93,97	95,36	136,71	287,46	418,8	291,12	147,38	127,28	77,84	71



**Figure 32**: Comparaison des valeurs de l'ETP calculées par différentes méthodes.

La comparaison entre les résultats d'ETP obtenues par les méthodes de Turc, Thornthwaite, et Blanney-Criddle est représentée par la superposition des courbes d'ETP (Fig. 32, tableau 20) :

Nous remarquons que :

- ✓ L'allure générale des courbes d'ETP est similaire.
- ✓ Une concordance entre ETP Turc et ETP Thornthwaite.
- ✓ ETP Blanney-Criddle (climat et cult) > ETP Turc et Thornthwaite.

### 5.2. Evapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle est la quantité d'eau évaporée effectivement par le sol, les végétaux et les surfaces d'eau libre, diverses formules empiriques ont été proposées pour son estimation :

## Chapitre Hydroclimatologie

Comme l'ETP, l'ETR peut être estimée par plusieurs méthodes parmi lesquelles nous pouvons citer les méthodes de Turc, de Coutagne et indirectement à travers le calcul du bilan hydrique.

Les méthodes de Turc et de Coutagne utilisent des formules empiriques basées sur la Pluviométrie moyenne annuelle et la Température moyenne annuelle.

Quant à la méthode indirecte, elle passe par l'établissement d'un bilan hydrique qui permet d'estimer l'ETR mensuelle à partir des précipitations (P), de l'ETP et de la réserve d'eau du sol, encore appelée réserve utile (Ru) (Christiansen, 1968).

### 5.2.1. Formule de Turc :

Elle s'écrit sous la formule 17 :

$$ETR = D = P / \sqrt{\frac{P^2}{L^2} + 0.9} \quad (17)$$

ETR : évapotranspiration réelle annuelle (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ; L : fonction de la température moyenne annuelle en °C (formule 18):

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3 \quad (18)$$

P=317,69 mm, T=11,97°C, L= 685, ETR=300,84 mm.

### 5.2.2. Formule de Coutagne :

$$ETR = De = \bar{P} - \lambda \bar{P}^2 \quad (19)$$

La formule 19 tient compte essentiellement des précipitations et des températures, son application est restreinte à la condition suivante (formule 20) :

$$(1/8) l < \bar{P} < (1/2) l \quad (20)$$

Avec :  $l = 1 / (0.8 + 0.14 T)$

ETR : évapotranspirations réelles (mm).

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles (°c).

Remarque :

Les résultats obtenus par cette méthode, ne sont pas pris en considération, car les conditions d'application de cette formule ne sont pas présentes.

### 5.2.3. Méthode de Wundt :

L'abaque de Wundt modifiée par Coutagne permet de déduire la valeur de l'ETR ou déficit d'écoulement ( $D_e$ ) en prenant en considération la température moyenne annuelle ( $^{\circ}\text{C}$ ) et les précipitations moyennes annuelles (mm) (Fig.33).

- ETR=290 mm.

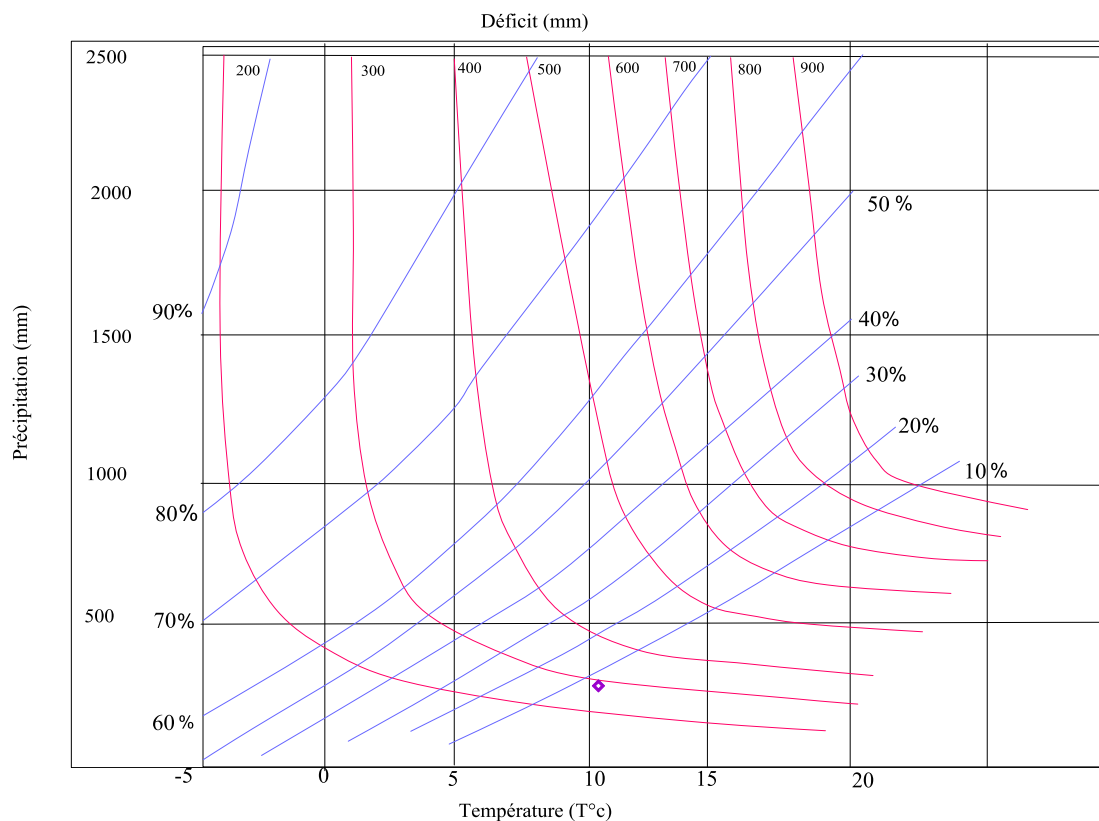


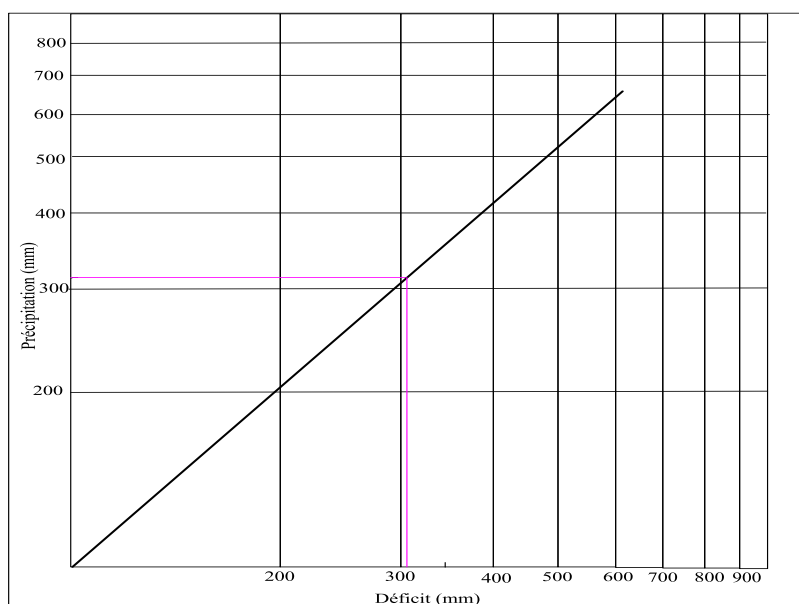
Figure 33 : Abaque du Wundt modifié par Coutagne.

### 5.2.4. Méthode de Verdeil :

P. Verdeil a établi un abaque bi-logarithmique qui permet de déduire le déficit d'écoulement qui correspond en réalité à l'évapotranspiration réelle en tenant compte uniquement des précipitations annuelles (Fig. 34).

$P = 317,69$  donc : ETR= 310 mm.

## Chapitre Hydroclimatologie



**Figure 34:** Abaque de calcul de l'évapotranspiration réelle en Algérie (Verdeil, 1988).

### 6. Le bilan hydrique :

Le bilan hydrique vise à déterminer la répartition des précipitations reçues par une surface (Habes, 2013).

P : précipitation brute moyenne mensuelle en (mm).

A partir des valeurs des pluies mensuelles et de l'évapotranspiration potentielle ETP, le calcul de bilan se fait en suivant le raisonnement suivant :

-Si :  $P \geq ETP$ ,  $ETP = ETR$  ; il ya une quantité d'eau ( $P - ETR$ ) qui va alimenter la RFU jusqu'à son maximum pris à un seuil de 50 mm (100%).

-Si :  $P = ETP$ , les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol seulement

-Si :  $P < ETP$ , l'etr est inférieure à l'etp, il existe un déficit agricole  $Da = ETP - ETR$ , ce dernier est sensiblement équivalent aux besoins en eau d'irrigation des cultures.

**Tableau 21 :** Calcul du bilan hydrique - Station de N'gaous.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JUI	A	Années
<b>P (mm)</b>	46,17	44,07	22,77	34,37	31,78	20,33	29,17	54,65	38,71	14,19	6,05	7,2	335.27
<b>ETP de Thorthwaite</b>	119,64	73,6	26,67	12,81	13,49	17,34	35,66	60,60	131,06	163,10	215,36	192,53	1049.05
<b>P-ETP</b>	-73,47	-29,53	3,9	21,56	18,29	2,99	-6,49	-5,95	-92,35	-148,91	-209,31	-185,33	-704.6
<b>ETR</b>	46,17	44,07	26,67	12,81	13,49	17,34	75,91	60,60	38,71	14,19	6,05	7,2	363.21
<b>RFU</b>	0	0	0	21,46	39,85	42,84	36,35	30,4	0	0	0	0	194.4
<b>Défic (De)</b>	73,47	29,53	3.9	0	0	0	0	0	61,95	148,91	209,31	185,33	708.5
<b>Exc (Ex)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Chapitre Hydroclimatologie

---

Les résultats de tableau 21 indiquent des valeurs élevées de l'évapotranspiration, ce qui se répercute directement sur le bilan hydrique de la région. Ce dernier est le plus souvent déficitaire en raison des faibles précipitations annuelles (transition entre climat semi-aride et aride). Il faut noter aussi que l'estimation au pas annuel de l'évapotranspiration ne permet pas de dégager le surplus d'eau en forme d'infiltration et ruissellement, seule une analyse au pas journalier permet de caractériser un bilan assez précis et dégager l'excédent réel en évitant la compensation annuelle.

Les principaux résultats de bilan d'eau établi par la formule de Thornthwaite montrent que l'ETP atteint son maximum au mois de juillet (215.3 mm) et son minimum au mois de Décembre (12.8 mm).

La reconstitution de la RFU s'effectue au mois de novembre (3.9 mm) et n'atteint pas son maximum durant toute l'année.

Le déficit agricole DA débute au mois de Mai et se poursuit jusqu'au mois Novembre. Alors que l'ETR est de l'ordre de (363,21mm).

### **7. Conclusion :**

La zone d'étude fait partie du grand bassin versant de Hodna, elle est caractérisée par un climat semi-aride influencé par les courants humides de la méditerrané en hiver et chauds du Sahara en été.

Les précipitations annuelles de 1998 à 2010 varient entre 140,4 et 464,5 mm à la station de N'gaous qui est distante de 25 km au Sud de Tinibaouine. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 22°C pour la même période.

L'évapotranspiration est importante (ETP Thornthwaite supérieure à 1000 mm) induisant un bilan hydrique déficitaire.

# H YDROGEOLOGIE & SYNTHÈSE HYDROCHIMIE

➤ Hydrogéologie	
1. Introduction.....	59
2. Réservoir potentiel Djebel Refâa .....	59
3. La source de Tinibaouine .....	59
3.1. Aperçu Historique sur L'hydrodynamisme de la source.....	59
➤ Synthèse hydrochimie	
1. Introduction.....	63
2. Interprétation des paramètres physico- chimiques.....	63
2.1. Variation des paramètres mesurés.....	63
2.1.1. Évolution spatio-temporelle des paramètres physiques.....	64
2.1.1.1. Température.....	64
2.1.1.2. PH.....	64
2.1.1.3. Conductivité électrique.....	64
2.1.2. Évolution spatio-temporelle des paramètres chimiques des eaux.....	65
2.1.2.1. Éléments chimiques (cations et anions).....	65
2.1.2.1.1. Les éléments traces.....	66
2.2. Facies géochimiques des eaux.....	66
2.3. Origine des éléments chimique.....	67
3. Aptitude a l'irrigation.....	69
4. Conclusion.....	70

## 1. Introduction :

Les caractéristiques des matériaux et la structure des terrains déterminent la localisation d'aquifère dans les bicarbonates fracturés. Avant de présenter l'hydrodynamisme de la source, il est intéressant de décrire l'aquifère du système karstique.

## 2. Réservoir potentiel Djebel Refaa :

Le réservoir d'alimentation de la source de Tinibaouine correspond à une structure géologique simple qui est principalement constituée de calcaires turoniens fissurés.

Ainsi, la source de Tinibaouine émerge entre les marnes miocènes et les épandages quaternaires à la faveur d'une faille majeure orientée NW-SE.

Une coupe géologique (fig. 35) établie à partir des données de forages, d'observations de terrain et de données bibliographiques, représente la zone productive du réservoir qui est constituée par les calcaires du Turonien moyen supérieur ( $c^{2b}$ ) et Turonien inférieur ( $c^{2a}$ ) avec une épaisseur de 250m. Les calcaires gris du Turonien inférieur atteignent une épaisseur avoisinant 180 m et sont limitées par les calcaires gréseux du  $c^{1d}$  (Cénomaniens).

Les données de sondage montrent que les marnes miocènes constituent le toit des calcaires turoniens avec une faible épaisseur relative (8-10 m).

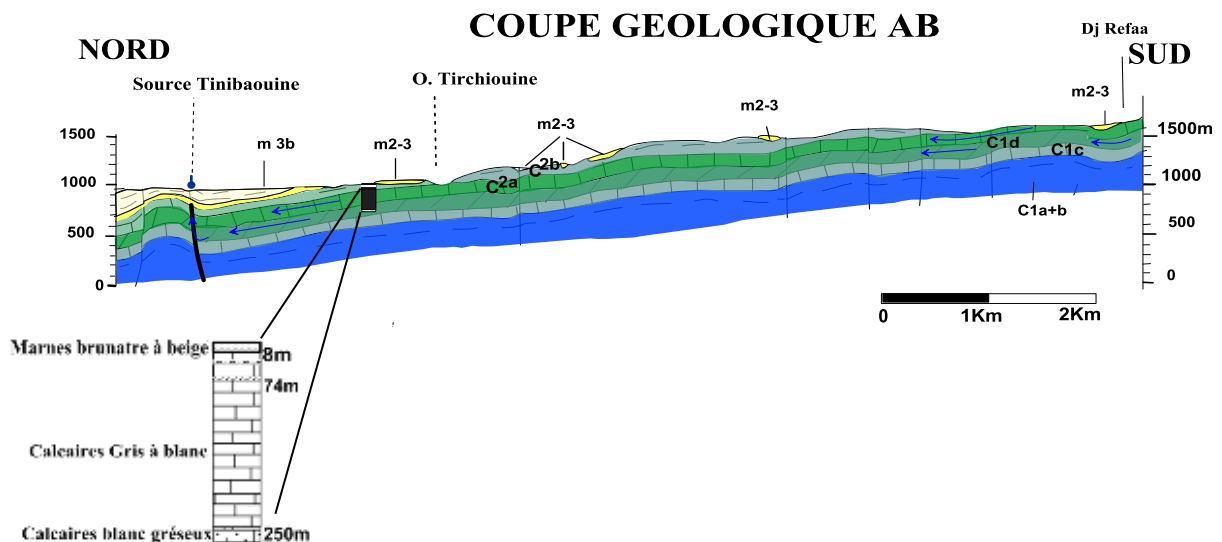


Figure 35: corrélation lithostratigraphique de la coupe AB.

## 3. La source de Tinibaouine:

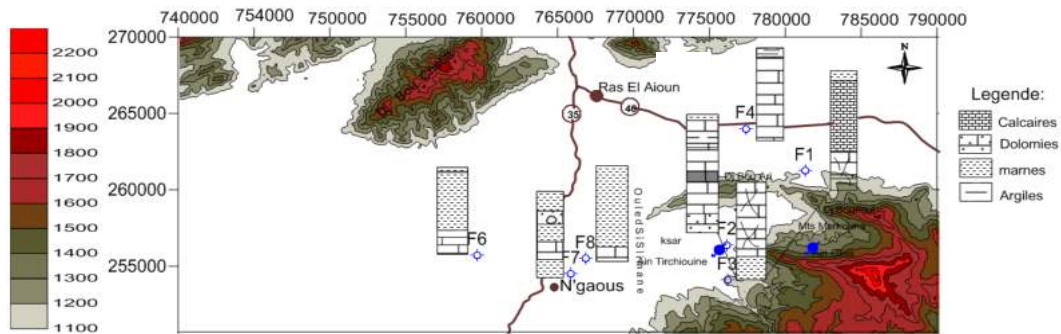
### 3.1. Aperçu Historique sur l'hydrodynamisme de la source :

La source de Tinibaouine a permis le développement de l'agriculture dans la région depuis l'époque romaine et jusqu'à nos jours.

## Hydrogéologie & Synthèse hydrochimie

La source de Tinibaouine et le réseau Karstique dont elle est l'émergence est en relation avec d'autres sources de la région.

Ainsi on notera la relation importante de la source de Tirchiouine (Fig. 36) avec celle de Tinibaouine; le réseau de failles du Kef Sefiane, situé à 9 kms au SE, affecte le synclinal de Tirchiouine qui est plus proche du réservoir d'alimentation. Cette fracturation favorise le drainage et la circulation des eaux dans les calcaires du Turonien (Bellion, 1973).

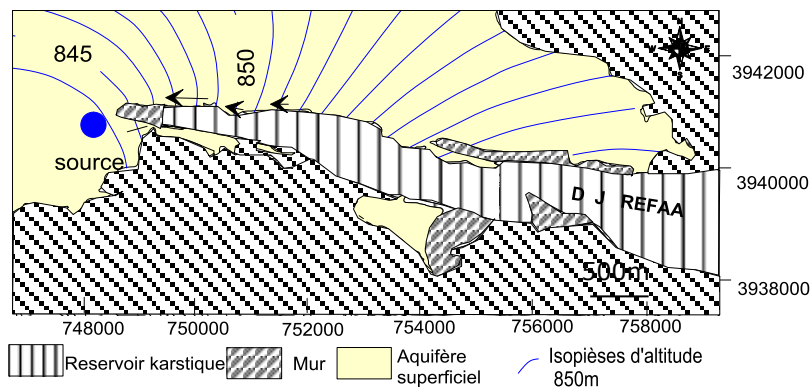


**Figure 36 :** Coupes schématiques des forages de la région.

La source est alimentée par le réservoir du Refaa (fig. 37, voir annexe 03), cette zone a une superficie de 30,61 Km<sup>2</sup> elle reçoit une pluviométrie moyenne de 464,5 mm/an avec une infiltration de 25% estimée ce que donne un volume annuel.

$$V = 30,61 * 10^6 * 0,46 * 0,2 = 3\,918\,080 \text{ m}^3/\text{an.}$$

Ce qui représente un débit continu de 124,4 l/s.



**Figure 37:** carte hydrogéologique simplifiée du réservoir de la source.

### - Estimation du débit de la source de Tinibaouine :

Les mesures de variations de niveau de la source ce fait par la Loi de Darcy (formule 21, fig. 38, tableau 22) :

$$Q = V * S \tag{21}$$

Avec Q le débit en m<sup>3</sup>/s, V : vitesse en m/s, S (S=H\*L) la section mouillée en m<sup>2</sup>.

**Tableau 22:** les débits des seguias.

Seguias principales		Code		Longueur des seguias (Km)		Largeur (cm)	Hauteur d'eau	vitesse (m/s)	Débits l/s
Débit total à la sortie de la source									104,5
Tamtelt		01		1,93		40	34	0,17	23,36
Tabourit		02		1,07		45	16	0,16	11,7
Rhaouat	Bala	03	03-01	0,62	1,58	83	14	0,17	29,9
	Maadjidj		03-02		2,54		53	13	
Sidhoum		05		3,23		92	13	0,21	25,9
Hemada		04		2,17		45	15	0,2	13,69



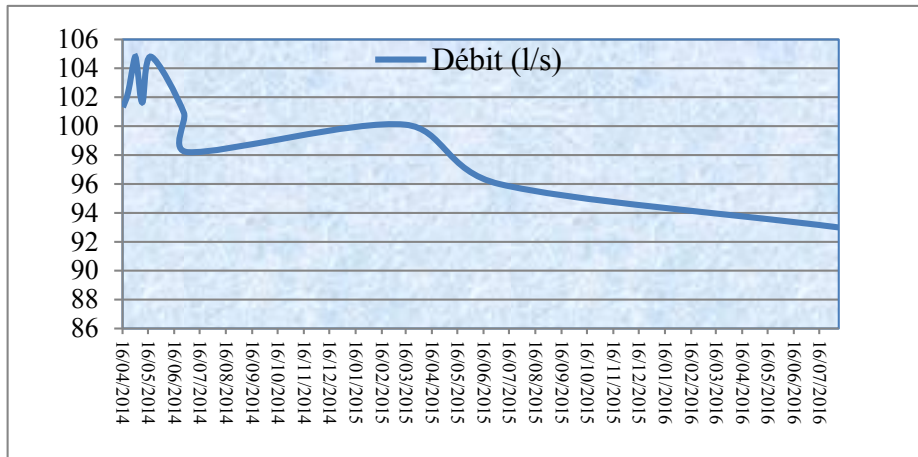
**Figure 38:** la section mouillée d'exutoire de la source.

A défaut d'un micro-moulinet qui aurait permis la mesure de vitesse dans les séguias, celle-ci a été évaluée par la mesure par chronomètre du temps parcouru par un corps en flottaison sur une distance donnée. Les mesures sont assez réalistes dans la mesure où l'épaisseur d'eau dans les séguias est faible (quelques cm), de plus les mesures ont été renouvelées (fig. 39).

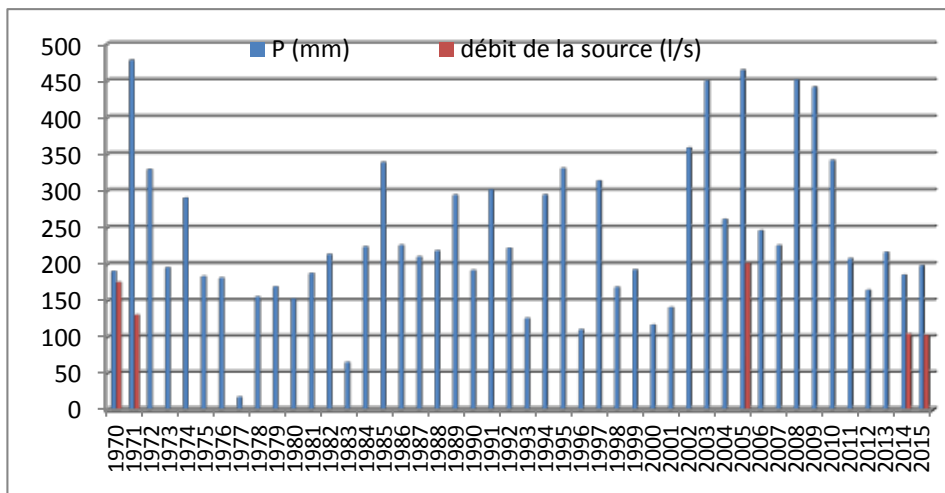


**Figure 39:** détermination de la vitesse.

Les figures 40 et 41 représentent les variations du débit mesurées pour les besoins de cette étude entre le 16.04.2014 et le 16.04.2016. Le plus grand débit (104 l/s) a été mesuré le 16.04.2014 alors que le plus bas (96 l/s) a été mesuré le 16.06.2016, en correspondance avec la baisse de la pluviométrie.



**Figure 40:** variations du débit de la source de Tinibaouine (période: avril 2014- juin 2016).



**Figure 41:** variation interannuelle des précipitations à la station de N'gaous (Période 1970-2014) avec quelques mesures de débit de la source de Tinibaouine.

#### 4. Conclusion :

L'étude hydrogéologique nous a permis d'identifier :

Les formations qui sont constituées le réservoir d'alimentation de la source de Tinibaouine sont les calcaires du Turoniens fissurés.

Une alimentation se fait latéralement, ce que donne un volume annuel ( $V=3\,918\,080\text{ m}^3/\text{an}$ ).

Les plus importantes sources de la région constituent les exutoires naturels ; Source Tinibaouine.

## 1. Introduction

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux (température, pH, conductivité et les éléments chimiques dissous) évoluent en teneurs en fonction de la nature lithologique des formations traversées. Dans ce chapitre nous allons essayer d'expliquer l'origine de la minéralisation des eaux de la source de Tinibaouine. Les prélèvements et analyses ont été entrepris durant la période : Mai 2014- Décembre 2015.

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de l'ADE de Batna et au laboratoire universitaire de Constantine.

## 2. Interprétation des paramètres physico-chimiques :

En plus du faciès chimique des eaux, nos interprétations se basent sur deux aspects essentiels,

- Variation temporelle des paramètres mesurés : paramètres physiques (Conductivité, température et pH), chimiques (cations, anions et éléments traces).
- Origine des éléments chimiques.

### 2.1. Variation des paramètres mesurés :

On admet qu'un coefficient de variation (CV) inférieur à 50% témoigne d'une certaine homogénéité dans l'amplitude des teneurs observées entre valeurs minimales et maximales, traduisant une faible variation autour de la moyenne. Par contre les paramètres présentant un CV supérieur à 50% indiquent une grande déviation par rapport à la moyenne de l'ensemble des observations (Brinis et al., 2013).

On remarque que ce paramètre est faible pour la majorité des paramètres mesurés témoignant d'une certaine stabilité dans les concentrations mesurées sur la période d'observation.

Les nitrates présentent par contre un CV dépassant 60% probablement dû à l'influence de l'utilisation excessive des engrais chimiques pour l'agriculture (tableau 23).

**Tableau 23:** les variations des paramètres mesurés.

	pH	T°	Cond	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	NO3	Fe
<b>Min</b>	6,40	12,00	500,00	80,00	16,60	6,90	0,02	268,40	7,20	9,70	0,80	0,02
<b>Max</b>	6,90	25,30	660,00	95,40	28,60	11,12	0,04	420,90	15,50	17,75	3,95	0,09
<b>Moy</b>	6,68	19,75	563,38	86,11	23,12	8,45	0,03	346,88	11,14	13,05	1,89	0,06
<b>CV%</b>	2,63	22,69	9,67	5,30	17,96	15,47	20,06	13,26	27,39	21,05	<b>61,75</b>	47,19

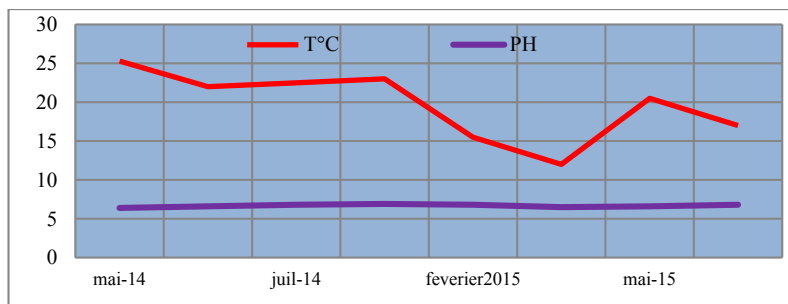
## 2.1.1. Évolution spatio-temporelle des paramètres physiques :

### 2.1.1.1. Température :

Les températures de l'eau de la source de Tinibaouine varient entre 12 et 25,3 °C pendant la période de mesures. La température la plus basse a été mesurée en avril 2015 (12° C) alors que la plus élevée l'a été en mai 2014 (25 °C) (fig.42 ), ces variations sont probablement liées au circuit : "recharge-transit-émergence" conditionné par la variabilité et l'intensité des pluies pour lesquelles nous ne disposons malheureusement pas de données.

### 2.1.1.2. PH :

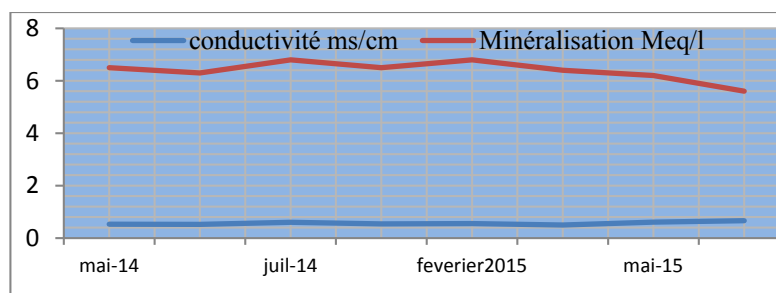
Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés, il varie habituellement normalement entre 7,2 et 7,6 d'après (Rodier, 2009), en revanche le pH des eaux de la source est compris entre 6.4 et 6.9, la nature carbonatée du réservoir explique probablement ce caractère acide de l'eau (fig. 42).



**Figure 42 :** Variation des températures et PH des eaux de la source de Tinibaouine (Période: 2014-2015).

### 2.1.1.3. Conductivité électrique :

La conductivité électrique des eaux de la source varie de 522 à 660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  avec une moyenne de 563,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La minéralisation des eaux est plus importante en avril (2015) qu'en Juillet (2014), témoignant soit de circulations très lentes ou des temps de séjour prolongés (contact prolongé avec la roche encaissante) (fig. 43).



**Figure 43:** Variation des conductivités et minéralisations des eaux de la source de Tinibaouine (Période : 2014-2015).

## 2.1.2. Évolution spatio-temporelle des paramètres chimiques des eaux :

### 2.1.2.1. Éléments chimiques (cations et anions) :

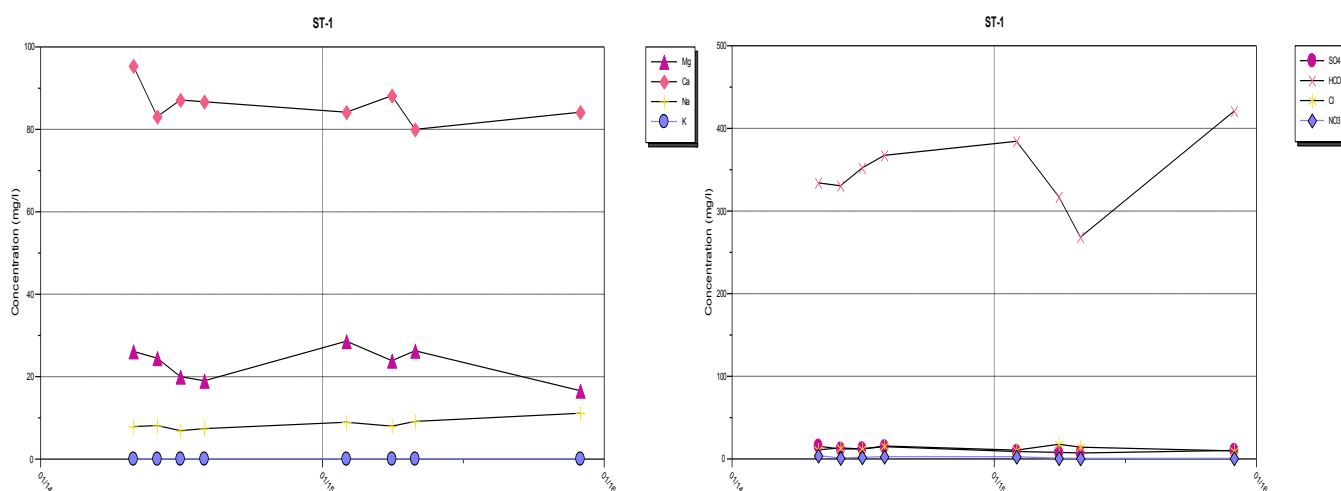
Les cations étudiés dans les eaux de source sont constitués des ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{Mg}^{+2}$ . Parmi ceux-ci, les plus importants sont  $\text{Ca}^{+2}$  après viennent  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  (tableau 24 et fig. 44).

L'étude de la variation temporelle montre que les taux des différents cations ont augmenté entre mars et avril 2014, 2015 (fig. 45), le phénomène d'échange de cations entre l'eau et le complexe absorbant peuvent expliquer l'augmentation des taux de cations dans les eaux après la recharge.

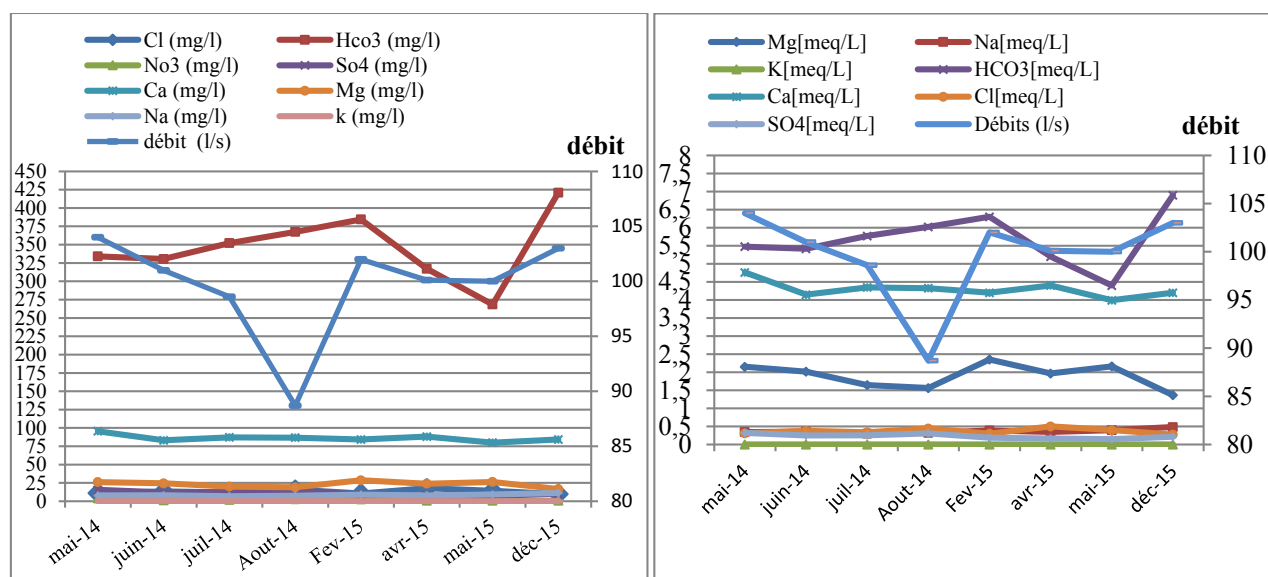
Les anions les plus importants dans l'eau étudiée sont les bicarbonates, après viennent le sodium, les chlorures et les nitrates. La dissolution de ces sels étant très facile, d'où leur présence en fortes concentrations dans les eaux.

**Tableau 24:** Caractéristiques physico-chimiques moyennes des eaux de la source de Tinibaouine.

	T°	PH	conductivité	Débit (l/s)	Cl (mg/l)	Hco3 (mg/l)	No3 (mg/l)	So4 (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	TDS (meq/l)	Fe (mg/l)
mai-14	25,3	6,4	525	104	11	334,1	3,95	15,5	95,4	26,13	7,9	0,023	6,5	0,02
juin-14	22	6,6	522	101	13,4	330,5	1,2	12	83,1	24,5	8,15	0,02	6,3	0,04
juil-14	22,5	6,8	600	98,6	12	352,1	2	12,3	87,13	20	6,9	0,03	6,8	0,02
Aout-14	23	6,9	540	88,7	15,7	367,4	2,8	14,8	86,7	19	7,4	0,026	6,5	0,08
Fev-15	15,5	6,8	550	102	10,65	384,4	2,7	9	84,17	28,6	8,95	0,025	6,6	0,09
avr-15	12	6,5	500	100,1	17,75	317,2	0,9	8	88,18	23,88	8	0,035	6,4	0,07
mai-15	20,7	6,6	610	100	14,2	268,4	0,8	7,2	80	26,28	9,14	0,036	6,2	0,07
déc-15	17	6,8	660	103	9,7	420,9	0,8	10,3	84,17	16,6	11,12	0,028	5,6	0,071



**Figure 44:** les paramètres physico-chimiques des eaux.



**Figure 45:** variations des paramètres physico-chimiques des eaux avec le débit.

### 2.1.2.1. Les éléments traces :

Les métaux lourds analysés sont constitués de Fe, Zn, et Cu (tableau 25). On note qu'en dehors du Zn et Cu qui présentent respectivement des teneurs moyennes de 2,48 mg/l et 0,12mg/l et la valeur de Fe est très faible dans les eaux étudiées.

**Tableau 25:** Teneurs en métaux lourds des eaux.

Les métaux en mg/L	Avr-2015	Mai-2015	Déc-2015
Fe	0,075	0,073	0,071
Zn	2,72	2,68	2,05
Cu	0,11	0,12	0,15

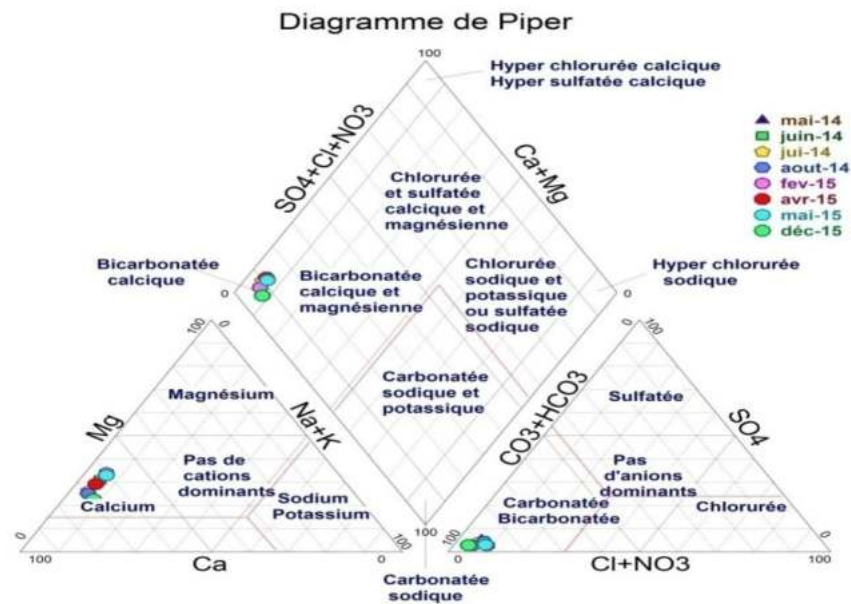
Dans la zone d'étude, l'origine des métaux lourds dans l'eau est essentiellement liée à la nature des formations géologiques, les teneurs du fer et Cu peuvent s'expliquer par la présence de pyrite à la base de la formation calcaire du Turonien.

Le Zn semble traduire une minéralisation liée au phénomène de pluvio-lessivage des sols (ar Tiwari et al., 2012) en relation avec les activités agricoles.

### 2.2. Facies géochimiques des eaux :

Les résultats des analyses chimiques des eaux de la source de Tinibaouine sont reportés sur le diagramme de Piper afin d'identifier les faciès chimiques (fig. 46).

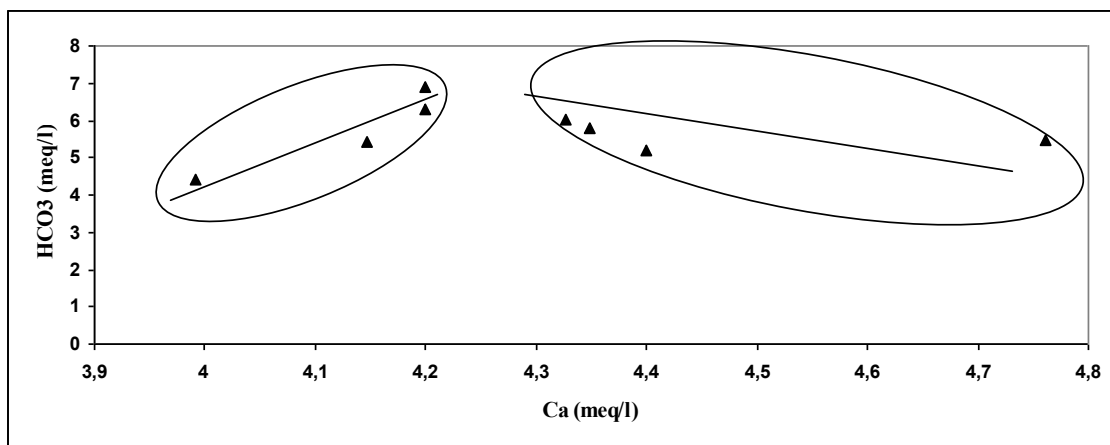
Les eaux de la source sont essentiellement bicarbonatées calciques et magnésiennes.



**Figure 46:** Faciès chimiques des eaux de la source de Tinibaouine.

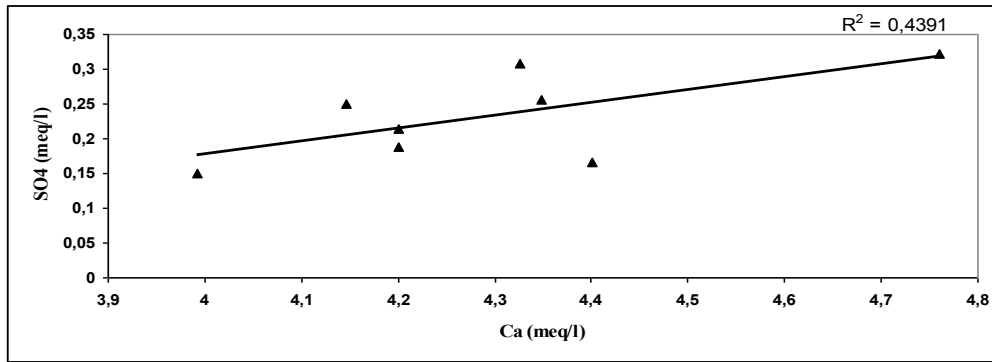
### 2.3. Origine des éléments chimiques :

Les eaux sont bicarbonatées calciques secondairement magnésiennes. Les éléments qui apparaissent comme faciès dominants sont les bicarbonates et le calcium.



**Figure 47:** rapport  $HCO_3/Ca$ .

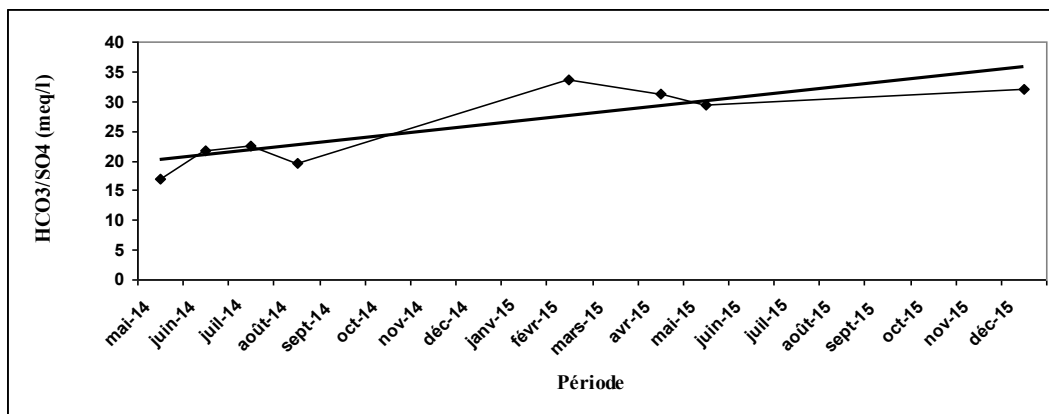
Le nuage de points indique que les bicarbonates évoluent avec le calcium du début de la concentration jusqu'à la valeur de 4,2 meq/l de Ca (fig. 47), au-delà le calcium semble évoluer avec d'autres éléments. Une partie du calcium provient de la dissolution de la calcite des calcaires du Turonien.



**Figure 48:** rapport  $SO_4/Ca$ .

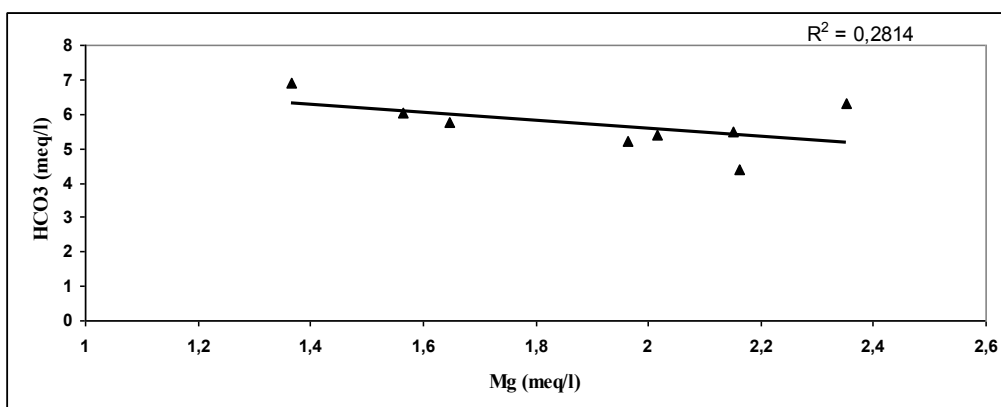
L'observation du graphique 48 permet de dire que le calcium présente une assez bonne évolution avec les sulfates ce qui implique qu'une partie du calcium proviendrait des gypses.

Le calcium provient de la dissolution des calcaires gypseuse du Cénomaniens inférieur et moyen.

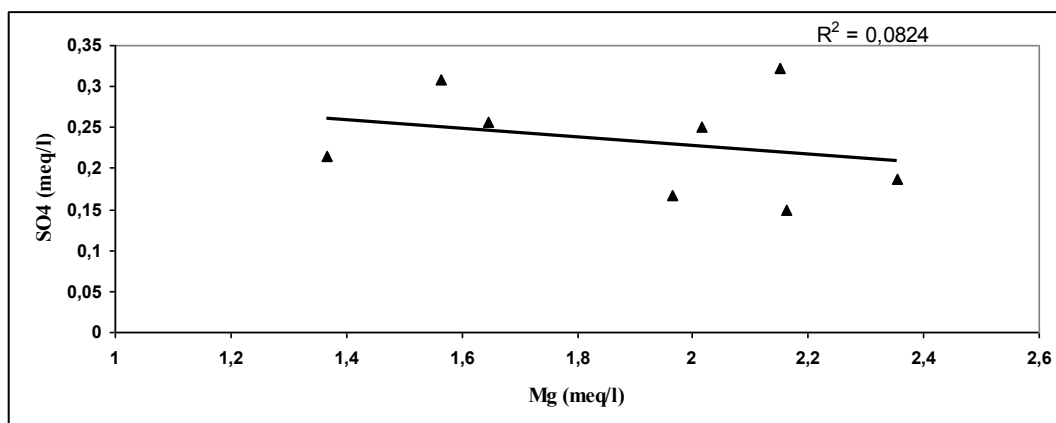


**Figure 49:** rapport  $HCO_3/SO_4$ .

L'évolution du rapport  $HCO_3/SO_4$  dans le temps montre un apport plus important en bicarbonates qu'en sulfates (fig. 49), ceci confirme le caractère carbonaté des eaux.

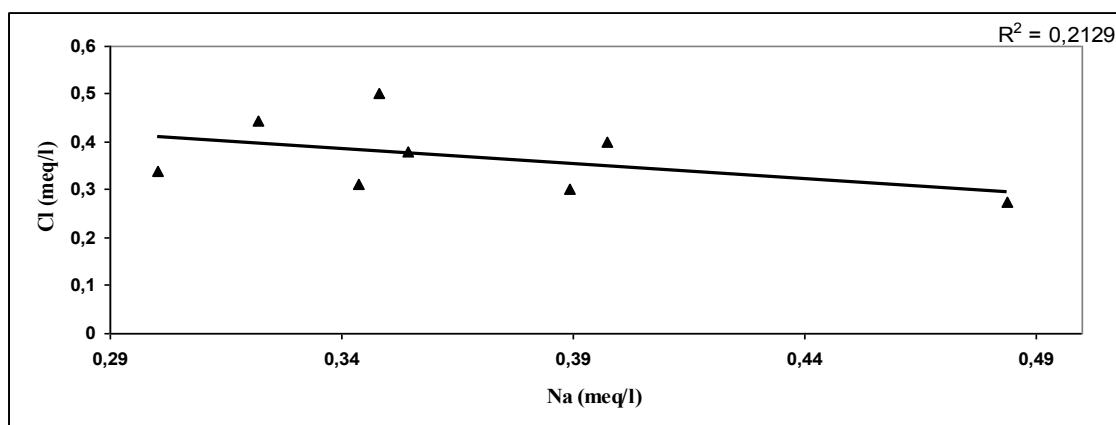


**Figure 50:** rapport  $HCO_3/Mg$ .



**Figure 51:** rapport  $SO_4/Mg$ .

Le magnésium évolue mieux avec les bicarbonates (fig. 50 et 51), le Magnésium provient des roches dolomitiques du Cénomaniens supérieur.



**Figure 52:** rapport  $Cl_3/Na$ .

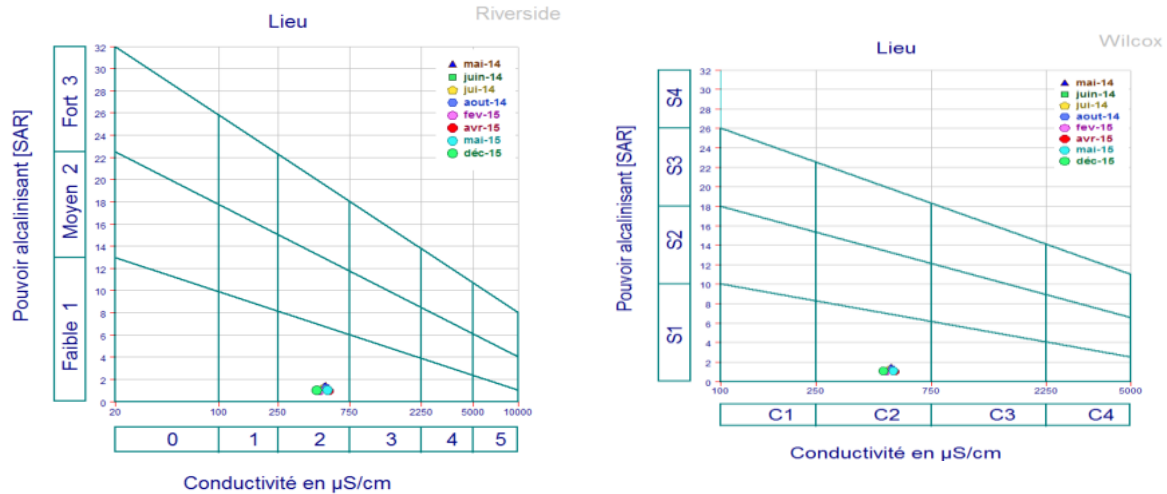
D'après la figure 52, le nuage de points ne montre pas une tendance à l'alignement positif, ce qui exclue l'influence de l'Halite (roche évaporitique). Les deux éléments (Cl et Na) peuvent avoir plusieurs origines mais c'est l'origine géologique naturelle qui est privilégiée dans le cas de la source de Tinibaouine.

### 3. Aptitude a l'irrigation :

Lorsque les ions  $Na^+$  sont très abondants à l'état dissous dans les sols, ils peuvent remplacer les ions  $Ca^{2+}$  dans le complexe absorbant par échange de bases (Ayers et al., 1994; Maait, 1997). La combinaison de la conductivité électrique et du SAR (Sodium Absorption Ratio) permet de discerner ce risque : le risque est d'autant plus grand que la conductivité et le SAR sont élevés (Landreau, 1987; Rhoades, 1992).

Les diagrammes de Richards (1954) et Wilcox (1948) (Figures 53), a permis la classification des eaux de Ain Tinibaouine pour l'usage agricole.

Les eaux livrées par la source de Tinibaouine appartiennent à la catégorie **C2-S1**. Elles sont considérées comme des eaux bonnes pour l'irrigation, pouvant être utilisées sans contrôle particulier pour des plantes moyennement tolérantes au sel, sur des sols ayant une bonne perméabilité.



**Figure 53:** Diagrammes de Richards pour les eaux de la source de Tinibaouine (Mai-juin-juillet-août 2014, fév.-avril-mai-déc. 2015).

#### 4. Conclusion :

Dans notre travail, on s'est intéressé tour à tour aux eaux de la source, l'étude a montré que ces dernières sont minéralisées mais cette minéralisation des eaux est due à deux origines naturelle et anthropique. Les facteurs naturels sont multiples, on au contact eau roche.

Le faciès géochimique des eaux est bicarbonatée calcique et Magnésique, ces eaux traversent des formations crétacées, donc l'interaction entre l'eau et la roche provoque une dissolution entraînant un enrichissement des eaux en chlorures, bicarbonates, sulfates, et potassium. Concernant la qualité de ces eaux pour l'irrigation, Il s'agit de bonne qualité.

# L A GESTION PARTICIPATIVE DES EAUX DE LA SOURCE DE TINIBAOUINE ET LES CONFLITS D'USAGE

1. Introduction.....	72
2. Historique.....	72
3. Les Conflits.....	74
4. Approche des besoins en eau.....	76
4.1. Les différents modules et les paramètres qui leur sont associés.....	77
4.1.1. Les données climatiques.....	77
4.1.2. Les données liées au sol.....	77
4.1.3. Les données liées à la culture.....	78
4.2. Présentation des résultats.....	78
4.2.1. Calcul de l'évapotranspiration.....	78
4.2.2. Calcul de la pluie efficace.....	79
4.2.3. Besoins en eau par décade.....	80
4.3. Détermination de la dose d'irrigation par enquête de terrain.....	82
5. Mesures techniques pour l'économie de l'eau de la source.....	84
5.1. Les conduites en polyéthylène haute densité.....	84
5.2. Importance du mode d'irrigation.....	85
6. Conclusion.....	86

### **1. Introduction:**

Sur la base des résultats d'étude sur terrain qui effectué par l'équipe de DSA de N'gaous en février 2015, nous avons essayé de synthétiser en une stratégie de la gestion des eaux.

Nous avons aussi procédé à l'étude des sources bibliographiques, à des enquêtes de terrain. Nous interviewons sept catégories d'exploitations agricoles, classifiées selon la taille de leurs terres, toutes concernées par une forte pénurie en eau. L'enquête s'est déroulée du 15 mai au 26 mai 2015 (12 jours au totale) pour l'objectifs de recueillir les données agro-culturelles et les opinions des agricultures sur l'utilisation et la gestion de l'eau.

Les enquêtes sont menées en deux temps permettant une situation de confiance et une vérification des réponses obtenues. Au delà de ces entretiens centrés autour du questionnaire, nous enquêtons sur 2 cas de conflits de manière plus détaillée.

Ces informations collectées dans cette enquête serviront de données de base pour examiner les actions relatives à la gestion des ressources en eau qui seront proposées dans le cadre de la présente étude.

### **2. Historique :**

La richesse du Dj Refaa en eau souterraines a permis au cours de XVI<sup>ème</sup> siècle, la réalisation d'un extraordinaire système de captage.

L'eau d'Ain Tinibaouine jaillit naturellement et s'accumula dans une cuvette pour se déverser ensuite dans un réseau d'Oueds hiérarchisés.

Ces Oueds sont séparés par des cailloux, ce qu'on appelle REZEM.

Le critère de distribution des parts d'eau (nouba) est encore d'usage, les propriétaires de parcelles situées près de la source ayant la priorité (20 jours ; nuit/jour) et les autres 10 jours (nuit). L'organisation de la rotation des parts d'eau était fixée par la DJEMAA (le groupe ou association des propriétaires bénéficiant des eaux de la source).

En 1939, le système de distribution, a été remplacé par El Gaid (le Kadi - autorité civile sous l'ère coloniale) comme suit :

La source est divisée en plusieurs Oueds, le premier c'est oued Rhaouet qui comprend 03 cours d'eau (Seguiet Hamada, Seguiet Sidhoum, et El Ksar), qui sont destinés aux les douars Ouled Sidi Slimane et El Ksar.

Le deuxième est Oued Sidi Slimane. Les autres sont Bala, Tabourit, Tamtalat destinés pour le douar Saida (fig. 54).

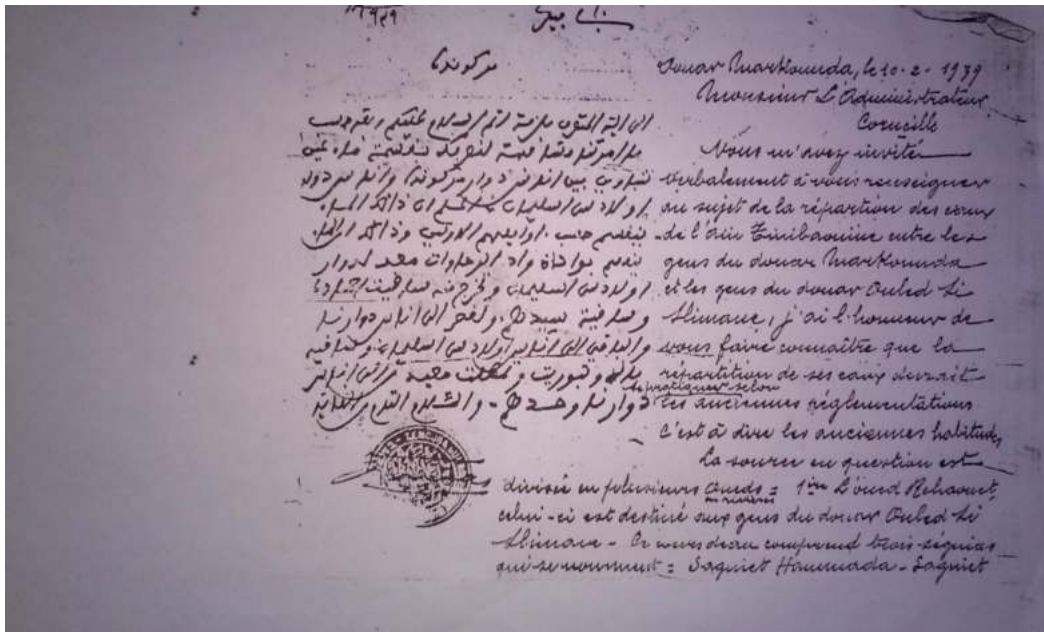


Figure 54 : Arrêté de partage établi par El Gaid, markounda 1939.

En 1957, le colonisateur français a donné le droit de délivrer une part d'eau à Oued Barika, d'une durée de 10 jours (nuit/jours).

Après l'indépendance, la source a été aménagée en 1967 par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH). Cet aménagement comprend une chambre de captage des eaux en dur (de 16,55 m de longueur et 8,13 m de largeur) avec une vidange à sa sortie (de 5,9 m de longueur et 1,4 m de largeur, qui est constituée par un répartiteur qui partage le débit en 05 Seguias (fig. 55).



Figure 55: chambre de captage et répartiteur des eaux de la source.

En 2002, dans le cadre de la construction du barrage vert, une part d'eau est prélevée pour être stockée dans un château d'eau se trouvant à 13 Km, au Sud, pour alimenter une caserne militaire et une pour une école primaire.

### **3. Les Conflits :**

Ces dernières années, la région connaît une sécheresse caractérisée par la rareté de la pluviométrie qui se répercute sur la baisse des niveaux des nappes. Pour faire face à la demande croissante en eau, plusieurs forages ont été effectués, ce qui risque d'affecter la pérennité des eaux de la source de Tinibaouine.

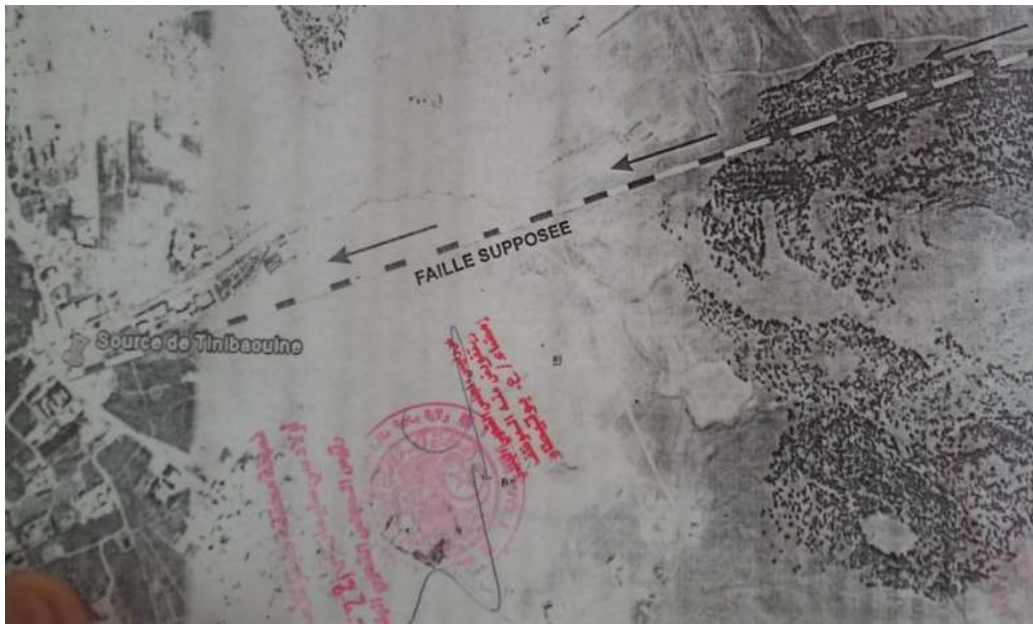
La pénurie en eau a affecté tous les exploitants, mais si les plus grandes exploitations ont pu compenser l'assèchement de leurs puits par la mise en place de nombreux forages, les plus petites sont dépendantes du réseau d'irrigation.

Par ailleurs, les prélèvements journaliers de quantités d'eau de la source par les propriétaires de citernes (vendeurs d'eau) entraînent des conflits secondaires (fig. 56).



**Figure 56 :** les citernes d'eau.

Le fonçage de forages dans la région est la source de conflits majeurs, comme cela a été le cas lors de l'implantation d'un forage en 1995, dans l'axe d'une faille drainante. Il a été arrêté après l'opposition des propriétaires concernés par l'usage des eaux de la source de Tinibaouine (fig. 57).



**Figure 57:** la direction de la faille d'après le rapport d'étude.

En 2015, la plus grande famille exploitant la source a recouru à la réalisation d'une prise sur les réseaux de séguias sujets aux noubas pour satisfaire ses besoins domestiques ce qui causa le déclenchement d'un violent conflit qui nécessita l'intervention des autorités locales et des services de la Direction des ressources en eau de la Wilaya de Batna pour son règlement.

#### 4. Approche des besoins en eau :

Lors de la mise en place d'un système d'irrigation, l'ordre logique des démarches à suivre est le suivant:

- évaluation des besoins en eau des cultures;
- détermination des doses et de la fréquence des arrosages;
- choix, dimensionnement et budgétisation du système d'irrigation.

Les besoins en eau des cultures d'abricots et d'olives seront déterminés par l'utilisation du Cropwat (version gratuite <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwat.htm>). Il est basé sur la formule de Penman - Monteith modifiée. Le fonctionnement de base du logiciel repose sur quelques variables. Toutes ces variables s'articulent autour du bilan hydrique qui s'écrit de façon générale sous la forme (fig. 58 et 61).

$$R_i = R_{i-1} + P_{eff} + Irr - D - E_{tm}$$

$R_i$  : Réserve en eau du sol au jour  $i$  (mm).

$R_{i-1}$  : Réserve en eau du sol au jour  $i-1$  (mm).

$P_{eff}$  : Précipitation efficace (mm).

$Irr$  : Apport de l'irrigation (mm).

$D$  : Drainage.

$E_{tm}$  :  $E_{tm}$  évapotranspiration maximale.

(CWR) Crop Water Requirement: besoin en eau des cultures.

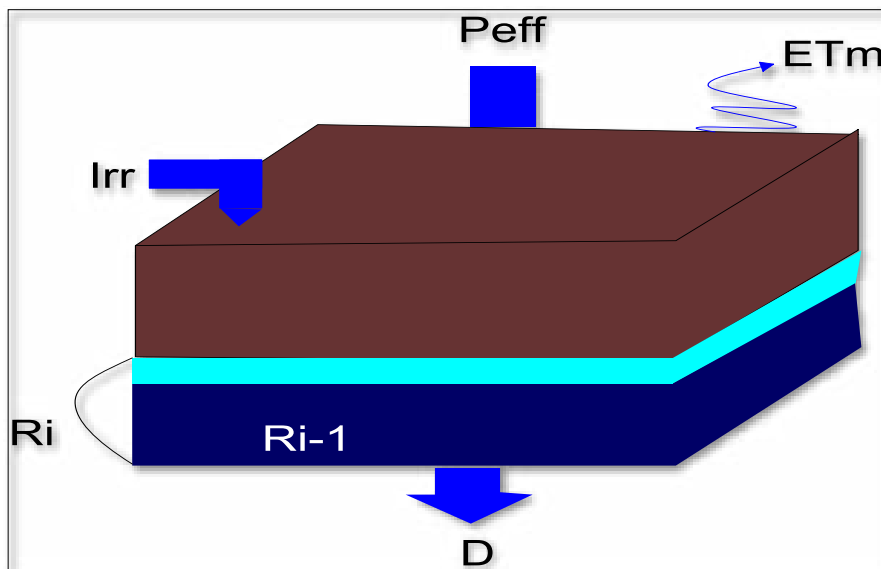


Figure 58 : Schéma général du Bilan hydrique d'une nappe.

#### 4.1. Les différents modules et les paramètres qui leur sont associés :

##### 4.1.1. Les données climatiques :

Les données climatiques rentrées dans CropWat, permettent au logiciel de calculer l'évapotranspiration théorique ou potentielle (ET<sub>o</sub>).

Les données de température, humidité relative, vitesse du vent sont celles de la station météorologique de Barika qui est distante de Tinibaouine de 80 km avec une série chronologique de 14 ans (fig. 59).

L'absence de mesures concernant la durée d'insolation à cette station nous a poussée à prendre celles de la station de Batna, qui est située à peu près à la même latitude, sensiblement dans la même région climatique et à seulement 125 kms de Tinibaouine. Les données de précipitations mensuelles sont par contre celles du poste pluviométrique de la zone d'étude même (N'gaous) couvrant la même période (1977-1990).

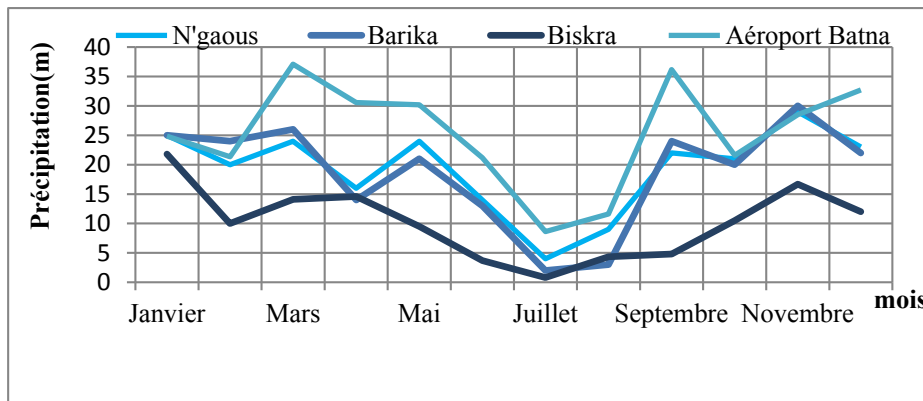


Figure 59: les précipitations moyennes mensuelles dans les stations de N'gaous, Barika, Biskra, Aéroport (1977-1990).

##### 4.1.2. Les données liées au sol:

IL rassemble l'ensemble des données qui caractérise le sol. Sa réserve utile maximale, la vitesse maximale d'infiltration qui permet une estimation de l'écoulement de surface (ruissèlement) pour le calcul des pluies efficaces, Nous rentrons également la profondeur maximale que peuvent atteindre les racines, Nous pouvons également définir le tarissement initial de la réserve utile et ainsi déterminer le stock initialement disponible dans le sol.

Les caractéristiques hydriques des sols nécessaires dans le pilotage des irrigations sont résumées dans le tableau 26 (Boudjellal et al, 2006), qui sont liées à deux facteurs: la texture (La plupart des périmètres sont de sable 140 mm / m et Argiles 180mm / m) et la profondeur d'enracinement.

**Tableau 26:** Les données liées au sol introduites dans le Cropwat.

	Texture	
	Moyen	Lourd
Eau utilisable	140 mm/m	180 mm/m
Taux maximum d'infiltration de pluie	40 mm/jour	40 mm/jour
Profondeur racinaire max d'enracinement	0,6 ou 1,2 m	0,6 ou 1,2 m
Tarissement initial de l'humidité de sol (% de d'eau utilisable)	0%	0%
Humidité de sol initial disponible	140 mm/m	180 mm/m

Les différentes valeurs sont inspirées du rapport de la DSA de Batna (2015).

#### 4.1.3. Les données liées à la culture:

Les valeurs du coefficient cultural (KC) de chaque culture (abricotier et olivier) introduites dans le Cropwat, ont été établies en fonction du stade végétatif de la plante, de la force du vent et de la valeur moyenne de l'humidité moyenne minimale de l'air régnant au niveau de notre périmètre d'étude (Ollier et al., 1983).

Nous avons établi les dates de semis ou de plantation sur la base des données des cultures (l'ITCMI, 2001; Doorenbos et al., 1975; DSA, 2015) qui regroupe les dates de semis et travaux culturaux de toutes les cultures réalisées au Nord de l'Algérie (abricots : plantation : 2février, récolte : 20juin, olives :2avril, récolte :15octobre) .

#### 4.2. Présentation des résultats:

##### 4.2.1. Calcul de l'évapotranspiration:

Les valeurs de l'évapotranspiration de référence moyenne journalière et par mois telles que calculées par la formule de FAO Penman - Monteith sont présentées dans le tableau 27.

La formule (22) de Penman et Monteith modifiée se présente comme suit:

$$ET_o = C \times [ w \times R_n + ( 1 - w ) \times F ( u ) \times ( e_a - e_d ) ] \quad (22)$$

ET<sub>o</sub> : représente l'évapotranspiration de référence, exprimée en mm / jour.

w: facteur de pondération rendant compte de l'effet de rayonnement à différentetempérature et altitude.

R<sub>n</sub> : rayonnement net évaporation équivalente exprimé en mm/ j

F(u) : fonction liée au vent.

e<sub>a</sub> : tension de vapeur saturante à la température moyenne de l'air, en millibars.

e<sub>d</sub>: tension de vapeur réelle moyenne de l'air, exprimée en millibars.

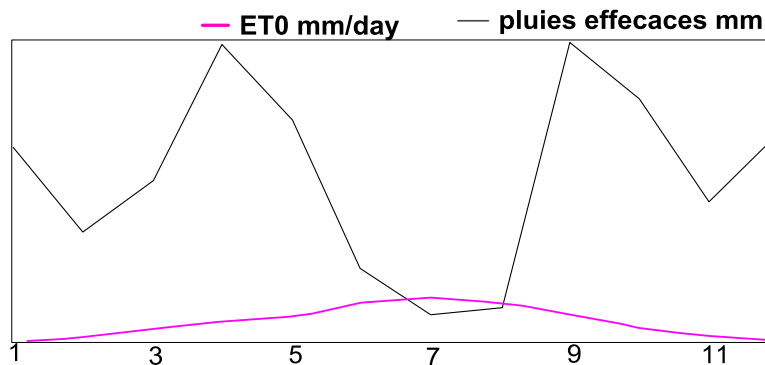
(ea - ed): constitue le facteur de correction, afin de compenser les conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

C : facteur de correction pour compenser les conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

**Tableau 27 :** L'évapotranspiration (mm/j) dans la région de N'gaous-Tinibaouine. (ANRH, 2013; Sahraoui, 2008; Smail et al., 1995).

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray MJ/m <sup>2</sup> /jour	Eto mm/jour
Janvier	-5.0	7.1	67	164	7.0	11.0	1.17
Février	-5.8	10.0	69	181	7.6	14.0	1.63
Mars	-3.6	13.0	48	207	8.8	18.5	2.81
Avril	-2.4	16.7	46	233	9.2	21.8	3.77
Mai	5.6	21.3	54	216	9.9	24.3	4.49
Juin	8.8	26.9	31	224	10.9	26.2	6.25
Juillet	16.0	30.9	26	207	12.2	27.7	7.15
Août	15.0	29.8	34	198	10.4	23.9	6.30
Septembre	6.0	25.3	45	216	9.4	20.1	4.84
Octobre	0.4	19.1	54	181	8.1	15.3	2.97
Novembre	-2.6	13.3	58	172	6.8	11.3	1.87
Décembre	-6.2	8.6	62	155	7.1	10.4	1.25
Moyenne	2.2	18.5	50	196	8.9	18.7	3.71

On constate que le mois de pointe pour la demande climatique (ET<sub>0</sub>) correspond au mois de juillet, avec une moyenne journalière de 6,3mm (fig. 60).



**Figure 60:** l'évapotranspiration et les apports d'eau par pluie efficace durant la Période (1998-2011).

#### 4.2.2. Calcul de la pluie efficace:

Nous avons opté de travailler sur le Cropwat avec la formule (23) de l'USDA (United States Département of Agriculture-Soil Conservation Service) pour tenir compte des pertes

## Gestion participative des eaux de la source de Tinibaouine et les conflits d'usage

dues au ruissèlement de surface et à la percolation profonde. Le tableau 28 donne les valeurs de la pluie efficace calculée par la méthode de l'USDA.

$$P_{eff} = (P * (125 - 0.2 * P)) / 125 \quad (23-1)$$

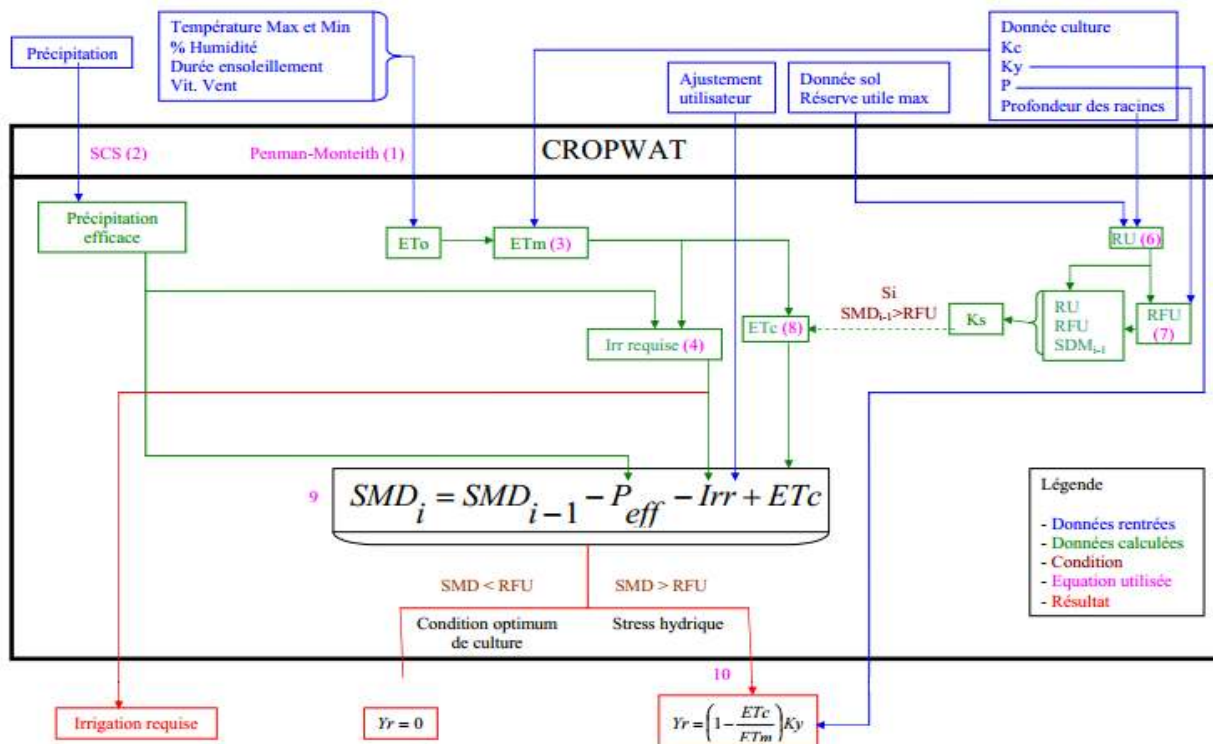
Pour  $P \leq 250/3$  mm.

$$P_{eff} = 125 / 0.1 * P \quad (23-2)$$

Pour  $P > 250/3$  mm.

**Tableau 28 :** Pluie efficace de la région de N'gaous-Tinibaouine.

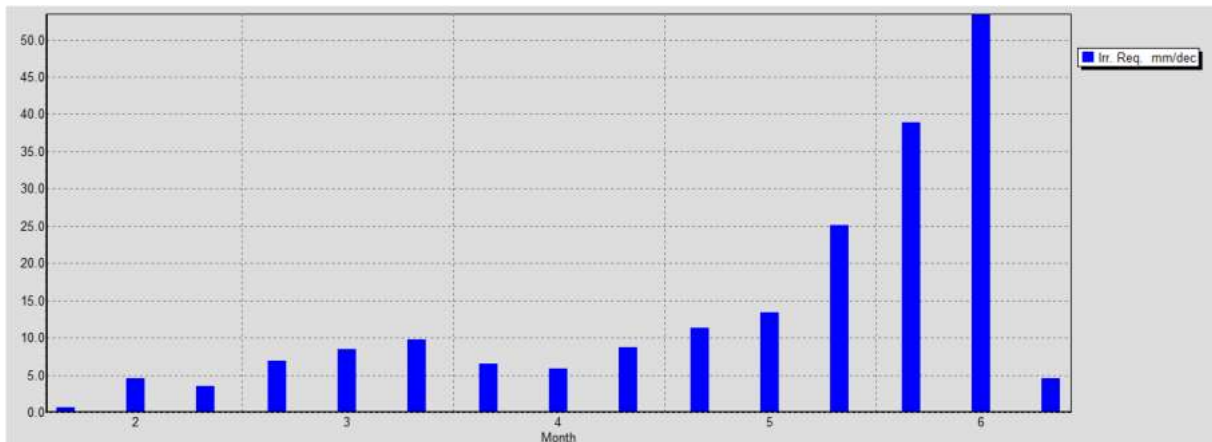
Mois	Pluie (mm/mois)	Pluie efficace (mm/mois)	Mois	Pluie (mm/mois)	Pluie efficace (mm/mois)
	mm	mm		mm	mm
Janvier	28.1	26.8	Juillet	4.8	4.8
Février	16.0	15.6	Août	5.5	5.5
Mars	23.3	22.4	Septembre	44.3	41.2
Avril	43.9	40.8	Octobre	35.7	33.7
Mai	32.6	30.9	Novembre	20.5	19.8
Juin	11.1	10.9	Décembre	30.5	29.0
Total	296.3	281.4			



**Figure 61 :** Schéma de fonctionnement du logiciel.

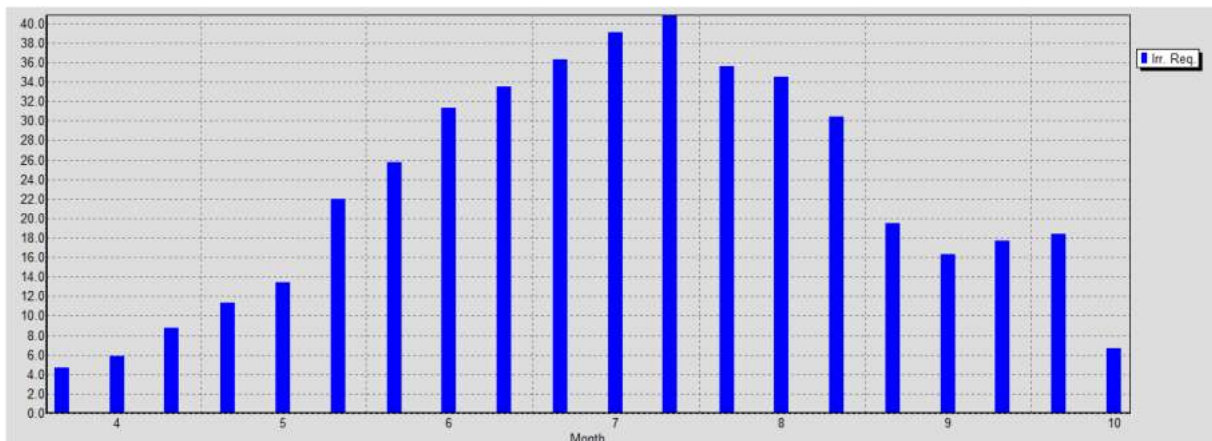
### 4.2.3. Besoins en eau par décade:

Les besoins en eau par décades déterminés par Cropwat pour les cultures d'abricots et d'olives sont représentés dans les Figures 62A et 62B.



2:février, 3 :mars, 4 : avril, 5 :mai, 6 :juin.

**Figure 62A:** les besoins en eau des cultures d'abricots.



**Figure 62B:** les besoins en eau des cultures d'olives.

Il apparait que les besoins en eau des oliviers ont augmenté pour la période Juin-Août (Masmoudi et al., 2004), cela est essentiellement du à l'accroissement du coefficient cultural durant le stade de frondaison qui est la saison d'été qui correspond également à la période où Eto est la plus élevée (Fabeiro et al., 2003, Hanson et al., 2005, Williams et al., 2005, Paço et al., 2006, Kadi et al., 2007) fig.63.

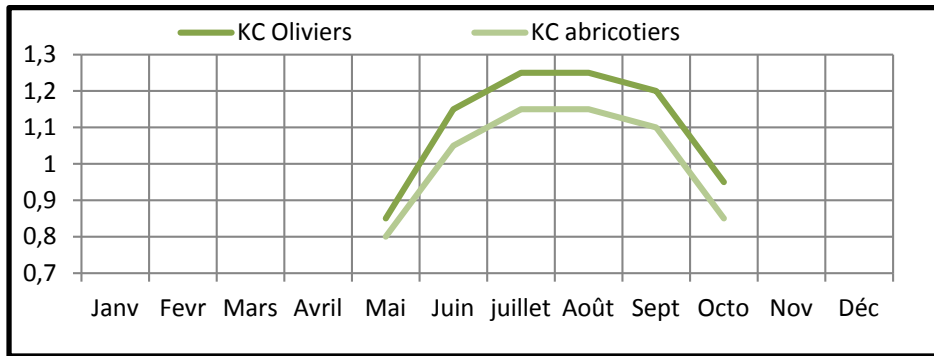


Figure 63: évolution des coefficients culturaux (Kc).

#### 4.3. Détermination de la dose d'irrigation par enquête de terrain :

L'enquête de terrain était axée sur un questionnaire portant sur la quantification de la superficie irriguée, du type de culture, du mode d'accès à l'eau et du débit attribué (Ben Nouna et al., 2007).

Afin de vérifier certaines réponses du questionnaire, nous avons effectué des mesures de débit dans 3 exploitations agricoles (fig. 64).

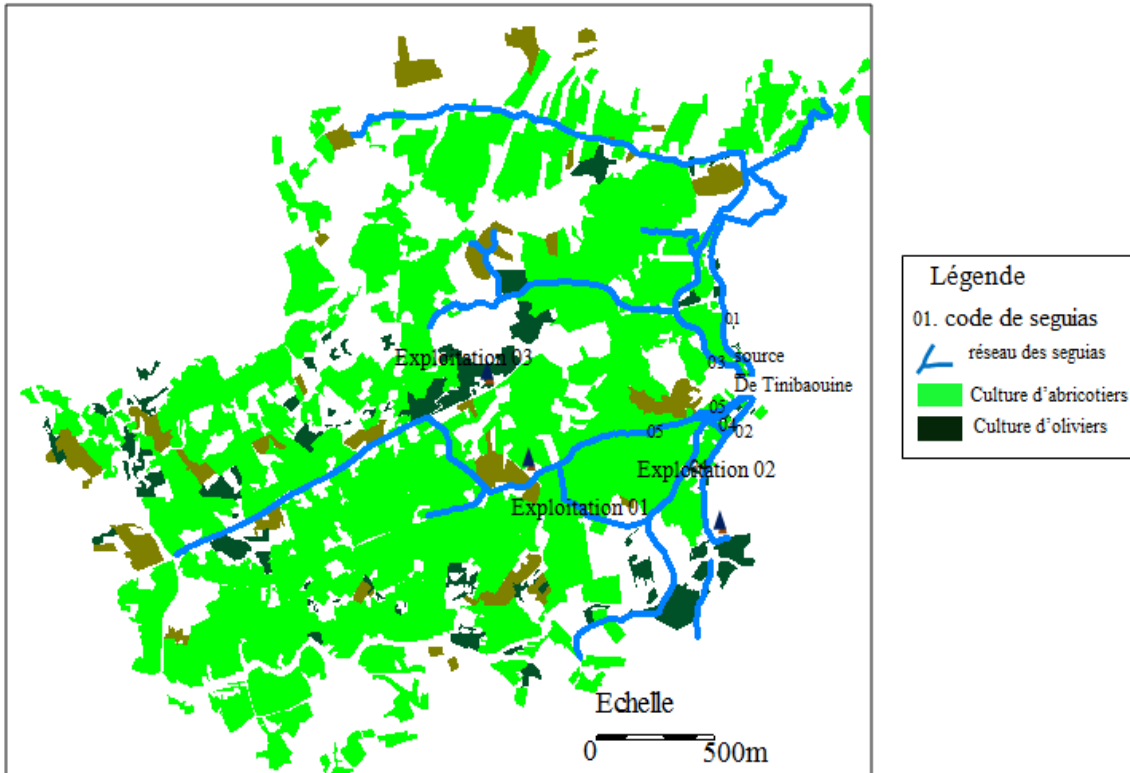


Figure 64: les 03 exploitations reportées sur la carte.

Exploitations agricoles à Tinibaouine :

Exploitation 01 : exploitant : TAABACHE

Exploitation 02 : exploitant : MECHAALA.

Exploitation 03 : exploitant : GHENFOUD frères

La détermination de la dose réelle d'irrigation repose sur:

1. Mesure de débit
2. Mesure de la surface arrosée.
3. Calcul de la dose brute pour une irrigation.

Les mesures réalisées sont résumées dans le tableau 29.

**Tableau 29:** Estimations des doses d'irrigation sur terrain (m<sup>3</sup>/ha).

			EXP1	EXP2	EXP3
Mesures effectuées	Mesure de débit		QHemada=13,6l/s QForage=15l/s	Q Sidhoum =25,9l/s QTabourit=11,7l/s QHemada=13,6l/s Qtotal=51,2l/s	QTaldo=9,93l/s
	Mesure de la surface arrosée		750000 m <sup>2</sup> abricotiers 50000 m <sup>2</sup> oliviers	360000 m <sup>2</sup> abricotiers, 40000 m <sup>2</sup> oliviers	30000 m <sup>2</sup> abricotiers, 10000 m <sup>2</sup> oliviers.
Volume Brut	Durée (heures)	Abric.	258	14	48
		Oliv.	2	2	12
Dose brute	Abricotiers		28,6x928800/750000 =35,4 mm ou 354 m <sup>3</sup> /ha	7,168 mm ou 71,68 m <sup>3</sup> /ha	171,07 mm ou 1710,7m <sup>3</sup> /ha
	Oliviers		4,11mm ou 41,1m <sup>3</sup> /ha	9,21mm ou 92,16m <sup>3</sup> /ha	14,29 mm ou 142,9m <sup>3</sup> /ha
Estimation des besoins d'irrigation par cycle	Début d'irrigation	abric	20-juin	20-juin	20-juin
		Oliv	10-juil	10-juil	10-juil
	Fin	abric	15-oct	15-oct	15-oct
		Oliv	Juillet	Juillet	Juillet
	Nb d'irr	abric	7	9	5
		Oliv	2	2	1
Besoin d'irri	abric	354,8 ×7 = 2478 m <sup>3</sup> /ha	645,12 m <sup>3</sup> /ha	8553,5 m <sup>3</sup> /ha	
	Oliv	82,22 m <sup>3</sup> /ha	184,32 m <sup>3</sup> /ha	142,9 m <sup>3</sup> /ha	

Les besoins en eau calculés dans le tableau 30 sont pratiquement quatre fois supérieurs à ceux estimés sur terrain pour la culture d'abricots et huit fois pour les oliviers et traduisent le grand déficit hydrique dont souffrent ces cultures.

**Tableau 30:** les besoins d'irrigations des 3 trois propriétaires estimées sur terrain (m<sup>3</sup>/ha) et par Cropwat.

Cultures	les besoins en eau d'irrigation estimés par Cropwat	Les besoins en eau d'irrigations estimées sur terrain (m <sup>3</sup> /ha)
Abricots	20100.8	12957.1
Olives	6980	695.58

## 5. Mesures techniques pour l'économie de l'eau de la source:

### 5.1. Les conduites en polyéthylène haute densité:

L'utilisation de canalisations PEHD (basse pression) enterrées permet de diminuer considérablement les pertes en eau occasionnées par le transport, le temps d'irrigation, l'évaporation et l'infiltration ; ces dernières sont naturellement plus importantes dans les seguias (rigole en terre) à parois fissurées. D'autre part, les pertes par évaporation sont importantes surtout dans les seguias de distribution à faibles débits avec un plan d'eau large et une faible hauteur.

Plusieurs méthodes permettent d'estimer les pertes dans les réseaux d'adduction.

Le diamètre de la conduite principale du réseau de distribution sera calculé par la formule (24) de Bonnin (Bacharou et al., 2012):

$$D = Q^{1/2} \quad (24)$$

Le calcul de perte de charge dans le réseau de distribution est effectué selon la formule (26) de Darcy (Weisbach, 1845).

Calcul de la vitesse (formule 25) :

$$V = 4Q/\pi D^2 \quad (25)$$

Avec Q : débit en l/s et D : diamètre en m.

$$J = (\gamma V^2)/D 2g = 8\gamma q / (\pi^2 g D^5) \quad (26)$$

J: perte de charge (en m de charge fluide par m de tuyau)

$\gamma$ : coefficient de perte de charge.

V : vitesse en m/s.

D : diamètre intérieur de la conduite en m.

q : débit en m<sup>3</sup>/s.

g : accélération de la pesanteur en (m/s<sup>2</sup>).

Calcul de  $Q_2$  et  $J_2$  : formule 27 et 28.

$$J_2 = J_1 X L \quad (27)$$

$$Q_2 = \sqrt{Q_1^2 \times (J_2 / J_1)} \quad (28)$$

L=longueur de la conduite.

Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau 31 :

**Tableau 31** : Calcul des pertes de charges et des débits en conduite.

État des Arcs du Réseau							
	Longueur	Diamètre	Débit Q1	Vitesse	Pert.Charge Unit.	Débit Q2	Pert.Charge Unit.
Seguias	m	mm	l/s	m/s		l/s	
Hmadda	2170	116	13,6	1,29	0,0312719313	20,01	0,06770445
Sidhom	3230	172	29,9	1,29	0,0165835315	46,55	0,05356480
Tabourite	1070	108	11,7	1,27	0,0363560601	12,10	0,03890098
Taljoustin	2452	99,6	9,93	1,27	0,0423444414	15,55	0,103825703

Les Pertes d'eau lors du trajet entre la source et les parcelles sont occasionnées par infiltration dans la conduite en terre et par évaporation (INRA, 2007).

La comparaison des débits livrés par séguias en terre et ceux qui le seraient par conduite en PEHD est résumée dans le tableau 32.

**Tableau 32**: Comparaison des débits livrés par séguias et par conduite en PEHD.

Seguias	Distance de la source(m)	Q(l/s) conduite en terre	Q(l/s) Conduite étanche en PEHD	Economie m <sup>3</sup> /J
Hemada	2170	13,6	20,01	353,82
Sidhoum	3230	25,9	46,55	1784,16
Tabourit	1070	11,7	12,10	34,56
Taldjoustyan	2452	9,93	15,55	485,56

Il apparait clairement que l'investissement dans une canalisation étanche se traduira par une grande économie d'eau, qui pourrait se traduire par une extension des surfaces agricole.

**5.2. Importance du mode d'irrigation:**

L'efficience d'application en irrigation correspond au rapport de la dose théorique nécessaire à la culture (dose utile) à la dose réelle apportée par l'irrigant. Nous avons estimé cette efficience pour les systèmes gravitaire et goutte-à-goutte à partir du débit du forage utilisé et du temps d'arrosage. L'irrigation gravitaire dans les périmètres de Tinibaouine constitue le seul système d'irrigation utilisé. D'après (Messaitfa, 2007), une efficience moyenne de 84% serait obtenue dans le cas où le système goutte à goutte serait utilisé.

En tenant compte du coefficient d'efficience dû à la technique d'irrigation et celle du réseau sous pression, le débit :  $Q = Q1 / e$ .

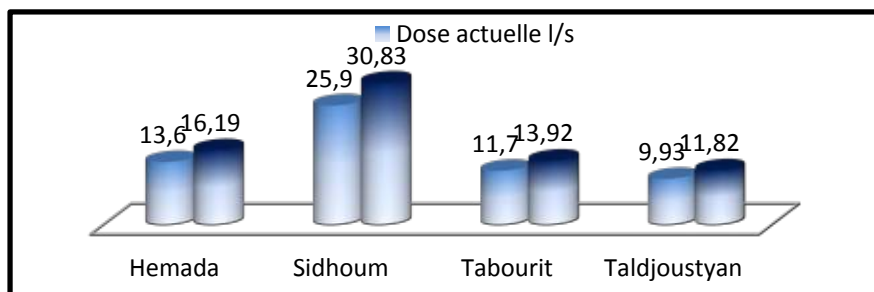
Q1 : débit actuel (l/s).

e: efficience.

Lors l'utilisation du système d'irrigation sous pression engendre une économie d'eau moyenne de 30 à 60 % par rapport aux systèmes gravitaires (fig. 65 et tableau 33).

**Tableau 33:** Comparaison des doses actuelles et par conduite en PEHD (goutte à goutte) .

Seguias	Distance de la source(m)	Q (l/s) conduite en terre	Q (l/s) Conduite étanche en PEHD	Economise m <sup>3</sup> /J
Hemada	2170	13,6	16,19	223,77
Sidhoum	3230	25,9	30,83	425,95
Tabourit	1070	11,7	13,92	191,80
Taldjoustyan	2452	9,93	11,82	163,29



**Figure 65 :** Demande en eau d'irrigation en l/s.

### **5. Conclusion:**

Nous avons essayé d'estimer les besoins en eau des cultures d'abricotes et d'olives de la région de Tinibaouine. La comparaison des doses d'irrigation réelles aux besoins calculés par Cropwat montre un déficit hydrique énorme, qui freine considérablement la mise en valeur des terres agricoles. Néanmoins, le recours au système d'irrigation par goutte à goutte et le remplacement des séguias par des conduites pleines en PEHD, permettrait une relative économie d'eau

Les enquêtes de terrain que nous avons menées ont montré que les agriculteurs ignorent les besoins en eau des cultures et les doses apportées. La conduite d'irrigation se fait le plus souvent par expérience sur la base d'outils traditionnels.

Les mesures que nous avons effectuées nous ont permis d'avoir un ordre de grandeur sur les quantités d'eau que peut apporter l'agriculteur pour les abricotiers et les oliviers,

Le volume total qu'il faut mobiliser en moyenne pour couvrir les besoins d'irrigation de ces cultures est de 13652,68 m<sup>3</sup> /ha d'eau pour une superficie irriguée de 124 hectares.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

## Références bibliographiques :

**Adomon D**, Évaluation et allocation des ressources en eau pour le développement agricole et économique dans le bassin du fleuve Bandama : contribution du modèle WEAP, mémoire stage master, direction des ressources en eau, 2010, pp. 31-58.

**Ammar Boudjellal A, et Bammoun R**, Détermination des besoins en eau des cultures à l'aide de logiciel cropwat 4.3 dans la wilaya de Tipaza, Mémoire. Ingénieur d'état, École nationale supérieure agronomique EL- Harrah, Algérie, 2006, pp.164-208.

**ANRH**, Agence national des ressources hydrique, Données pluviométriques, Algérie, 2013, pp. 3-23.

**Aubouin J**, Méditerranée orientale et Méditerranée occidentale : esquisse d'une comparaison du cadre alpin, Bull. Soc. Géol. Fr. (7), n°3, 1977, pp. 486-495.

**Ayers R S, Westcot D W**, Water quality for agriculture FAO irrigation and drainage paper, Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 1985, FAO. <http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E00.htm>.

**Bacharau T, Gossou H, et Edmond C**, Régime de consommation en eau et son utilisation dans le calcul des réseaux d'alimentation en eau potable, Rev. Ivoir. Sci. Technol, vol. 19, 2012, pp. 159 – 174.

**Bagnouls F, Gaussen H**, saison sèche et indice xérothermique, Bull soc.H.Nat. Toulouse, 88, 1953, pp. 193-239.

**Bagnouls F, Gaussen H**, Les climats biologiques et leur classification, Ann. Géogr. Fr. LXVI, 335, 1957, pp. 193-220.

**Bellion Y J**, Étude géologique et hydrogéologique de la terminaison occidentale des Monts de Bellezma (Algérie), Thèse Doct.3eme Cycle Univ, Paris, 1972, pp. 145-169.

**Ben Nouna B, Zairi A, Ruelle P, Slatni A, Yacoubi S**, “Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée”, Morocco. 3rd séminaire. 2004.

**Bendjamaa F**, Étude géomorphologique de la terminaison occidentale des monts de Bellezma (Algérie de Nord). Mémoire de Magister, Université de Constantine, 2005, pp. 273.

**Ben Yahia S**, minéralogie des argiles et phénomène de gonflement dans la région de N'GAOUS, Mémoire. Magister, Univ. Jijel, 2014, pp. 6-105.

**Bertraneu J, et Cruys H**, Contribution à l'étude géologique des monts du Hodna, Pub. Serv. Carte géol. Algérie. Bull. n° 4, 1955, pp.98-139.

**Bertraneu J**, Les diapirs triasiques du boutaleb occidental (Algérie), geol. En mijnbouw (N. Ser), 19e jaargang, 1957, pp. 337-382.

**Blaney H F, Rich L R, Criddle W D**, Consumptive use of water, Trans. Am. Soc. Civ. Engr, vol. 12, 1952, pp.948-1023.

**Bouillin J P**, Géologie alpine de la petite Kabylie dans la région de "Collo" et "d'EI Milia" (Algérie), Thèse SC., Paris VI, 127 fig., 2 pl.h.t, 1977, 551 p.

**Bouillin J P**, Le bassin maghrébin une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'Ouest des Alpes, Bull. Soc. Géol. Fr., (8), t. II, n° 4, 1986, pp. 547-558.

**Bouillin J P**, Un modèle de l'évolution tectonique alpine anté-burdigalienne du Nord du Constantinois, sur la transversale du Moule ed Demamène (Algérie). B. S. G. F., (7), XVII, n°4, 1975, pp.582-592.

**Boyadgiev T G**, Cartes pédologiques du Hodna au 1/100.000è", Projet PNUDFAO, MARA, Algérie, 1972.

**Brinis N et al**, Classification statistique et hydrochimique des eaux souterraines de la plaine d'El-Outaya (W) de Biskra Algéri, publication au courrier du savoir- N°11, Mars 2011, pp.41-46.

**Brinis N, Boudoukha A**, qualité des eaux souterraines dans l'atlas saharien cas du bassin néogène D'el-Outaya (sud Algérien), Algerian journal of arid environment,2013, pp. 89-97.

**Bureau D**, Esquisse géologique des Monts du Bellezma (Aurès, Algérie), Bul. Serv. Géol. Alg, n° 45, 1972, pp.73-92.

**Chadi M**, Cadre géologique et structurale des séries crétacées néritiques du Constantinois (Est -Algérien), Doctorat d'état Université, Constantine, 2004, 219 p.

**Chadi M**, Etude géologique de monts d'Ain Mlila (Algérie orientale), Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy1, 1991, 191p.

**Charoy J, et Torrent H**, Origine, gestion de l'eau, évaluation des aquifères dans les oasis, Revue options méditerranéennes, vol.11, 2007, pp. 229- 235.

**Christiansen J E**, evaporation and evapotranspiration from climatic data, J.Irrig. and Drain. Div., vol. 4, 1968, pp. 243-256.

**Coiffait P E**, Un bassin post-nappe dans son cadre structural l'exemple du bassin de Constantine (Algérie Nord Orientale), Thèse Sciences, Nancy I, 1992, 502p.

**Corwin D L, Lesch S M**, Apparent soil electrical conductivity, Computers and Electronics in Agriculture, vol. 46, 2005, pp.11-43.

**Dehimi H, Smail Z**, évaluation du risque d'érosion dans la zone de Oued El Ma (Parc de Belezma) approche quantitative et qualitative, Mémoire d'ingénieur d'Etat. Univ, Batna, 2006, pp. 65-115.

**Dib Imene**, l'impact de l'activite agricole et urbaine sur la qualite des eaux souterraines de la plaine de gadaine - ain yaghout (Est Algerien), Mémoire. Magister, universite hadj lakhdar batna , 2013, pp. 85-144.

**Doorenbos J et Pruitt W**, Les besoins en eau des cultures, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage 24, 3ème Ed, Rome, Ed. 1975, pp. 3-60.

**Djebaili S**, Recherche phytoécologique et phytosociologiques sur la végétation des hautes plaines steppique et de l'atlas saharien algérien, Thèse doct. Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, 1978, 299p.

**DSA**, Direction d'Agriculture et du Développement Rural, Rapports de la DSA, Algérie, 2015, pp.8-16.

**DSA**, subdivision des services agricoles, rapport sur les superficies irriguées, nombres des propriétaires, Oules Si Slimane, Batna, 2015.

**Durand Delga M**, Etude géologique de l'Ouest de la chaine Numidique, Publ. serv. Carte géol. Algérie, Bull. n° 24, 143 fig., 16 pl., 10 pl.h.t, 1955, 533 p.

**Durand Delga M**, Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie, Publ. Serv. Carte géol. Algérie, N. S., Bull. n°39, 9 fig, 1969, pp 89-131.

**Durand-Delga M**, La Méditerranée occidentale: étapes de sa genèse et problèmes structuraux liés à celle-ci, Mém. h. s. Soc. Géol. Fr., n°10, 7, 1980, pp.203-224

**Durand-Delga M**, Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berberie, Publ. Serv. Carte géol. Algérie, nouv. Série, n°39, 9,1969, pp.89-131.

**Emberger L**, La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux, Rev. Gén. Bot, 42, 1930, pp. 641-662

**Fabeiro C**, Martin S, Olalla F, and Lopez-Urea R, Production of garlic under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate, Agric. Water Manag, vol. 59, 2003, pp. 155-167.

**Feuillette S, Bousquet F, Goulven P**. SINUSE: a multi-agent model to negotiate water demand management on a free access water table, Environmental Modelling & Software 18(5), 2003, pp. 413-427.

**Foster S, Chilton J, Moench M, et al.**, Groundwater in rural development: facing the challenges of supply and resource sustainability. World Bank Technical Paper n°463, 2000.

**Gelard J P**, Les flyschs kabyles dans le Djurdjura et le col de Chellata, 1969.212p.

**Glacon G**, Recherche sur la géologie et les gîtes métallifères du Tell sétifien, Thèse Sci. Montpellier, Pub. S.G.Alg., n.s, n° 32, 2 tomes, 372 fig., 1967, 751 p.

**Glacon G**, les monts du Hodna (partie orientale), XIXe congr. Géol.interr. Aiger, Monogr.rég.1ère sim. Algérie. n°7, 1952.

**Guiraud R**, Aperçu sur les principaux traits structuraux du Hodna et des régions voisines. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, (N.S) 41, Alger, 1970, pp. 41-50.

**Guiraud R**, Esquisse géologique du Dj Guetiane-Tachirt (monts du Hodna).pub. serv. géol. Algérie. bull. n°39, 1967, pp.159-170.

**Guiraud R**, Évolution post-Triasique de l'Avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines, Thèse Sci. Univ. Nice, 114 fig., 12 pl. h.t., 1973, 270 p.

**Guiraud R**, Évolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines, Mémoire 3, Service Géologique de l'Algérie, Alger, 1990, pp.187-271.

**Hanson BR et May D M**, Crop coefficients for drip-irrigated process in tomato, Agricultural management water, Vol. 4, 2005, pp. 11-16.

**INRA**, Institut national de la recherche agronomique algérien, Rapport de gestion des ressources naturelles et amélioration du bien-être des populations en zone de montagne, Algérie, 2007, pp. 5-19.

**ITCMI**, l'institut technique des cultures maraichères et industrielles, Brochures des cultures, Algérie, 2002, pp.15-18.

**Kadi K, Chergui M, Hamli Boukeria M, Yahia A**, Besoins en eau de la culture de l'ail par différentes formules, European Scientific Journal, vol. 10, 2007, pp. 6-19.

**Landreau A**, La réutilisation des eaux usées épurées par le sol et le sous sol : adéquation entre la qualité de l'eau, l'usage et la protection du milieu naturel, Séminaire sur les eaux usées et le milieu récepteur, Casablanca 9-11 avril, 1987, pp.1-13.

**Masmoudi – Charfi C, Masmoudi MM, Ben Mechlia N**, Irrigation de l'olivier : cas des jeunes plantations intensives, Revue Ezzaitouna, vol. 10, 2004, pp. 8-15.

**Menani M R**, Étude hydrogéologique de la plaine d'El-Madher (Algérie orientale) : Géologie, climatologie, hydrogéologie et modélisation des écoulements souterrains de l'aquifère Moi-Plio-Quaternaire : Thèse de doctorat, univ de Nancy I G.E.S., 1991, 409p.

**Messous N**, Caractérisation de l'état du milieu et évaluation numérique de la vulnérabilité à la désertification par les outils de la géomatique (Le piémont méridional des monts de Belezma), Mémoire Magistère, Univ. Batna, Algérie, 2013, pp. 12-192.

**Ollier CH and Poirée M**, Irrigation: les réseaux d'irrigation théorique, technique et économie des arrosages, 6ème édition, Eyrolles, Paris, 1983, pp. 5-45.

**Paço T A, Ferreira M I, et Conceição N**, Peach orchard evapotranspiration in a sandy soil: Comparison between eddy covariance measurements and estimates by the FAO56 approach, Agricultural Water Management, vol. 85, 2006, pp. 305-313.

**Penman H L**, Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London, Series A, vol. 3,1948, pp.120-146

**Pnue S**, Évaluation environnementale post-conflit. Rapport de synthèse. PNUE Editons, Nairobi, Kenya,2007, 16p.

**Raoult J F**, Géologie de centre de la chaine numidique (Nord du constantinois, Algérie), Thèse Sc. Paris. Mém. Soc. Géol. Fr., N-S., LIII, mém. n°121, 62 fig., 9 pl.h.t., carte géol.h.t., Paris, 1974, pp.1-163.

**Raoult J F**, Nouvelles données sur les flyschs du Nord du Kef Sidi Dris et dans la zone du Col des Oliviers (Nord du Constantinois, Algérie), Bull. Soc. Géol. Fr., (7), t. XI, 1969, pp 516-543.

**Rodier J**, L'analyse de l'eau, 7eme Ed, 1984, pp.1353.

**Sahraoui A**, Érosion éolienne et risqué d'ensablement dans la région de Barika: Approche quantitative et cartographie automatique, Thèse de Magister, Algérie, 2008, pp. 46-85.

**Sahraoui S**, Étude des discontinuités litho-stratigraphiques et relation tectonosédimentaire à travers l'intervalle Santonien-Maastrichtien dans la région de Batna (Aurès), Mémoire. Magister, Univ. Batna, 2014, pp.10-162

**Savornin J**, Étude géologique de la région du Hodna et du plateau sétifien. Doctorat ès Sciences, Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2e série, n° 7, 94 fig., 1 carte 1/800 000, 1920, pp. 502.

**Savornin J**, Sur la tectonique du SW du Chott El Hodna, C. R. Acad. Sci. Paris, t.141, 1905, pp. 784-786.

**Savornin J**, Étude géologique de la région du Hodna et du plateau sétifien, Bull. du S.C.G.A., 2 ème série stratigraphie, descriptions régionales N° 7,1920.

**Schoeller H**, Les eaux souterraines: Géochimie, eaux du gypse et des terrains salifères, Masson et Cie édition Paris IV, 1962, pp. 362.

**Seltzer P**, Le climat de l'Algérie, Inst. Météor et de phys. Du globe, Univ. Alger. p cartes. h. t , 1946, 219p.

**Smail H, Derghal A, et Smati A**, Contribution a l'étude hydrogéologique de la région de Biskra (zone de Tolga et doucen), mémoire. Ingenieur, algérie, 1995, pp. 95-185.

**Thorntwaite C W**, An approach toward a rational classification of climate, Geographical Review, vol.38, 1948, pp.55-94.

**Tiwari R N, Umesh Mishra**, Groundwater quality and pollution potential studies around Baikunthpur area, International Journal of Water and Environmental Engineering, Vol.4, 2012, pp. 377-385.

**Trabelsi S, Bouri S, et Ben Dhia H**, Contribution des approches hydrochimiques et géothermométriques à l'étude des eaux thermales de la province fluorée tunisienne (Nord-Est Tunisien), Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda, vol.4, 2007, pp. 85 – 88.

**Turc L**, Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formule climatique simplifiée et mise à jour (English: Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: A simple climatic formula evolved up to date), Ann. Agron, vol.12, 1961, pp.13-49.

**Vila JM**, Carte géologique de l'Algérie au 1/50 000, feuille n°172 Merouana, avec notice explicative détaillée (levés de S. Guellal)", Serv. Carte geo, Algérie, 1977.

**Vila J M**, La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, Thèse ès Sci. Paris VI, 2 t, 1980, 665 p.

**Weisbach J**, Lehrbuch der Ingenieur und Maschinenmechanik. Brunswick, Germany, 1945, pp. 16-83.

**Wilcox LV**, The quality of water for irrigation use, Technical bulletin, vol 962 U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, 1948, pp. 15-40

**Wildi W**, La chaîne tello rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène, Rev. Géol. Dyn. géog. Phys., vol.3, 1983, pp 201-297.

**Williams LE et Ayars JE**, Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy, Agric. For. Meteorology, vol. 2, 2005, pp. 201-211.

**Sites :**

Chapitre 2. Le bassin versant et son complexe echo 2. [Epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2.html](http://Epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2.html).

Cours bassin versant, medhycos. [Mpl.ird.fr/data/hyd/drobat/1C.html](http://Mpl.ird.fr/data/hyd/drobat/1C.html).

Le systeme karstique de la source du Lez (Hérault)-persée, [www.persee.fr/doc/medit\\_0025\\_8296\\_1978\\_num\\_32\\_1\\_1771](http://www.persee.fr/doc/medit_0025_8296_1978_num_32_1_1771).

# A N N E X E S

**Annexe 01 :**

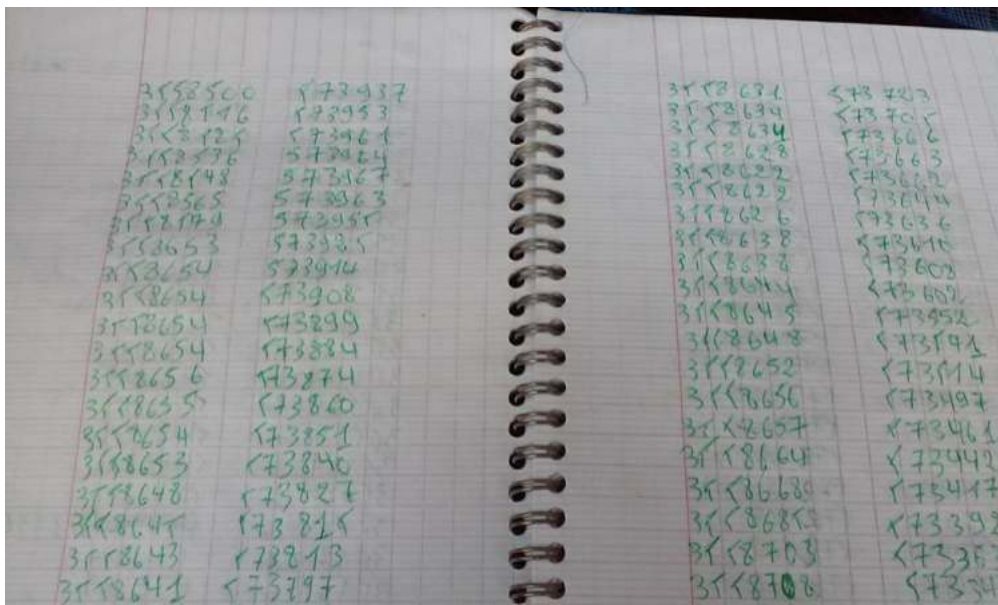


Figure 01 : Identification du système seguias.

**Annexe 02 :**

Années	sep	oct	nov	déc	jan	fev	mar	avr	mai	jun	jul	Aou	
1998	48.1	19.4	9.2	4.5	47.6	4.2	10.8	19.8	0	2.7	2.1	0	168
1999	65.4	4.24	30.1	48.2	0	0	0	4.2	36.8	0	0	0	189
2000	11.5	10.1	2.3	32.8	35.4	4	0	3.5	14.3	0	0	2.4	116
2001	15.5	0	33.7	16.3	11.8	4.5	8.5	15.9	0	13.9	0	20.3	140
2002	4.5	28.3	32.2	28.3	69	19.1	12.2	123	27.5	0	2.3	11.9	358
2003	42.8	133	10.9	29.4	10.3	0	54.6	85.4	52.2	15.3	0	15.9	450
2004	7.4	62.2	22.5	86.1	0	13.8	29.6	13.9	0	23.6	1.9	0	261
2005	31.9	13.1	40.1	27.4	65.1	26.3	4.4	90.6	166	0	0	0	465
2006	45.5	20.6	47.8	23.3	9.7	19	37.1	21.6	20.9	0	0	0	246
2007	72.4	6	5.5	1.8	3.5	8.1	14.5	0	51.5	8.7	53.2	0	225
2008	89.7	102	2.2	52.8	87.8	28	17.5	58.1	9.5	0	3.1	0	451
2009	120	52.4	12.7	33.9	10.3	50.9	36.6	87	9.8	23.9	0	4.2	441
2010	20.8	12.9	17.8	11.6	14.9	29.6	76.7	47.5	35.8	56.5	0	17.3	341

Tableau 01 : Données des précipitations de la station N'gaous (1998-2010).

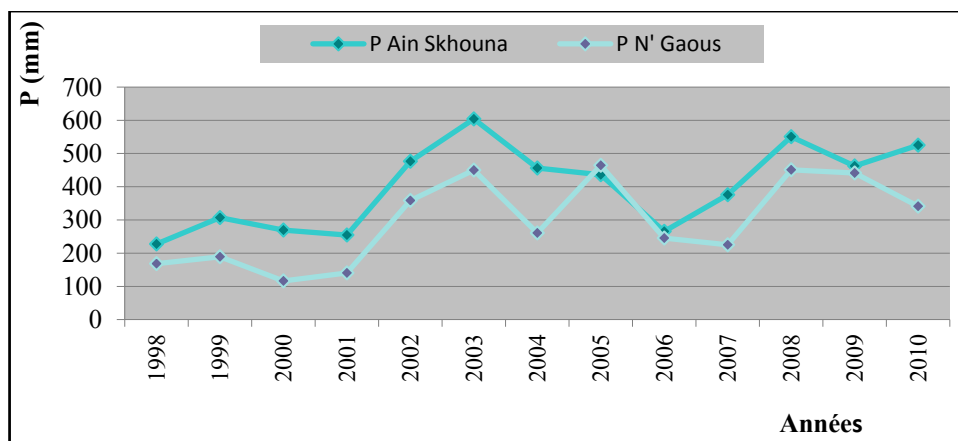


Figure 01 : Les précipitations de la station N'gaous, Ain Skhouna (1998-2010).

Années	Ain Skhona	Y	1995	510.5	364.8
1977	358.3	133.6	1996	191.8	194.3
1978	438.8	169.2	1997	476.2	342.9
1979	216.26	232.5	1998	227.5	260.3
1980	337.4	257.9	1999	306.8	329.5
1981	378.4	361.1	2000	269.4	168.7
1982	336	149.9	2001	254.7	136.7
1983	307.7	193.2	2002	476.2	347.8
1984	412.3	302.02	2003	603.8	481.2
1985	435.8	233.2	2004	456.3	353.2
1986	338.8	292.9	2005	435.8	376.8
1987	238.1	178.9	2006	265.4	254.3
1988	432.1	368.4	2007	375.7	338.7
1989	499.2	251	2008	550.64	383.5
1990	462.7	352.2	2009	462.3	319.6
1991	383.4	374.7	2010	524.9	387.8
1992	317.7	248.3	2011	328.1	387.8
1993	185.8	150.1	2012	207.2	215
1994	352	276.8	Annuel	370.944	

Tableau 02 : Données des précipitations de la station Ain Djasser, Ain Skhouna (1977-2012).

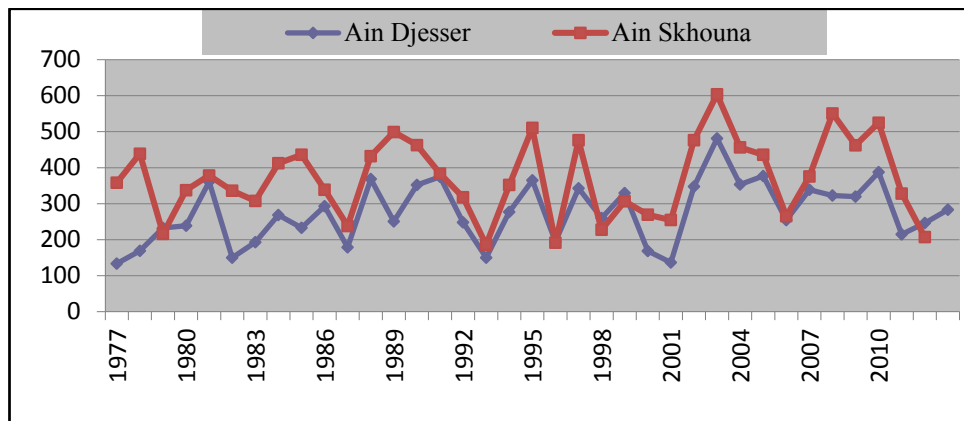


Figure 02 : Les précipitations de la station Ain Djasser, Ain Skhouna (1977-2012).

Années	Ain Skhona	Y	1995	510.5	517.8
1977	358.3	178.7	1996	191.8	201.5
1978	438.8	319.7	1997	476.2	432.22
1979	216.26	304.2	1998	227.5	238.3
1980	337.4	313.2	1999	306.8	335.7
1981	378.4	323.9	2000	269.4	221.4
1982	336	318.52	2001	254.7	222.3
1983	307.7	295.84	2002	476.2	502.9
1984	412.3	380.4	2003	603.8	582.6
1985	435.8	399.5	2004	456.3	371.7
1986	338.8	300.5	2005	435.8	419.5
1987	238.1	239.12	2006	265.4	292.1
1988	432.1	325	2007	375.7	420.8
1989	499.2	355	2008	550.64	596
1990	462.7	279.3	2009	462.3	420.955
1991	383.4	401.9	2010	524.9	593.9
1992	317.7	287.4	2011	328.1	270.8
1993	185.8	215.4	2012	207.2	319.6
1994	352	296.7	ANNUEL	370.944	

Tableau 03 : Données des précipitations de la station Merouana, Ain Skhouna (1977-2012).

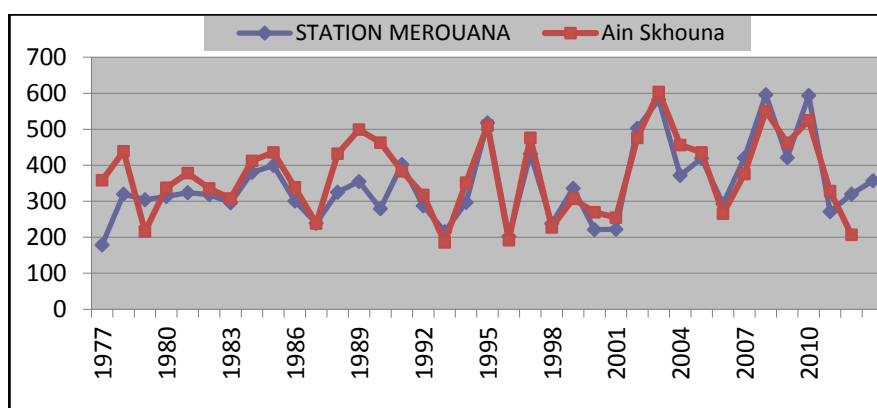


Figure 03 : Les précipitations de la station Merouana, Ain Skhouna (1977-2012).

Années	Ain Skhouna	Y	1995	510.5	438.8
1977	358.3	146.3	1996	191.8	154.57
1978	438.8	229.5	1997	476.2	437.83
1979	216.26	178.93	1998	227.5	235.8
1980	337.4	299.59	1999	306.8	336.9
1981	378.4	247.9	2000	269.4	170.9
1982	336	204.1	2001	254.7	217.22
1983	307.7	270.01	2002	476.2	497.5
1984	412.3	374.19	2003	603.8	775.5
1985	435.8	397.59	2004	456.3	373.6
1986	338.8	300.98	2005	435.8	458.8
1987	238.1	278	2006	265.4	251.1
1988	432.1	401.8	2007	375.7	391.6
1989	499.2	460.74	2008	550.64	478
1990	462.7	467	2009	462.3	303.4
1991	383.4	376.2	2010	524.9	478.1
1992	317.7	372.1	2011	328.1	263.5
1993	185.8	200.2	2012	207.2	163.9
1994	352	358.3	ANNUUEL	370.944	

Tableau 04 : Données des précipitations de la station Oued El Ma, Ain Skhouna (1977-2012).

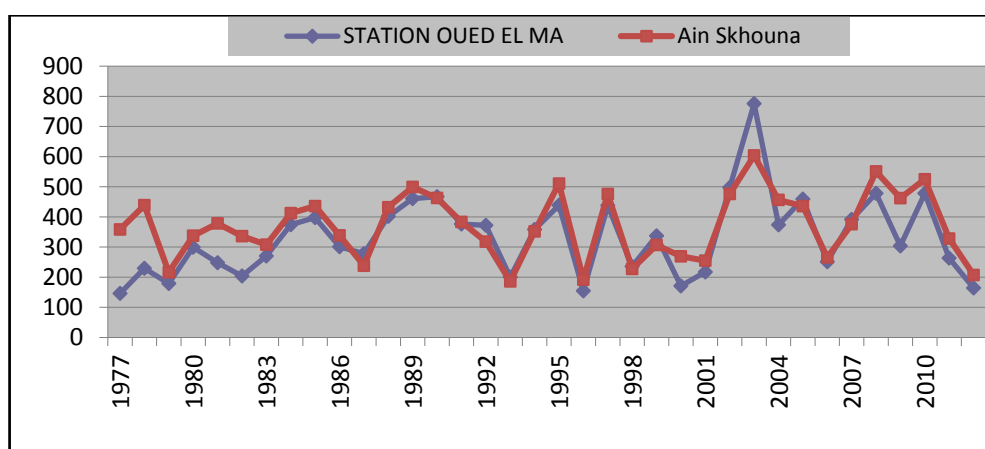


Figure 04 : Les précipitations de la station Oued El Ma, Ain Skhouna (1977-2012).

Années	Ain Skhona	Y	1995	510.5	308.9
1977	358.3	107.8	1996	191.8	163.15
1978	438.8	270.1	1997	476.2	293.21
1979	216.26	165	1998	227.5	231.7
1980	337.4	238.3	1999	306.8	255.7
1981	378.4	258	2000	269.4	198.5
1982	336	199.5	2001	254.7	156.3
1983	307.7	171.7	2002	476.2	297
1984	412.3	243.4	2003	603.8	351.6
1985	435.8	280.2	2004	456.3	218.3
1986	338.8	309.6	2005	435.8	351.3
1987	238.1	184.17	2006	265.4	129.9
1988	432.1	234.7	2007	375.7	247.19
1989	499.2	303.75	2008	550.64	327.31
1990	462.7	287.03	2009	462.3	274.6
1991	383.4	391.4	2010	524.9	315.5
1992	317.7	265	2011	328.1	225.38
1993	185.8	160.21	2012	207.2	170.01
1994	352	236.33	ANNUEL	370.944	308.9

Tableau 05 : Données des précipitations de la station Houara, Ain Skhouna (1977-2012).

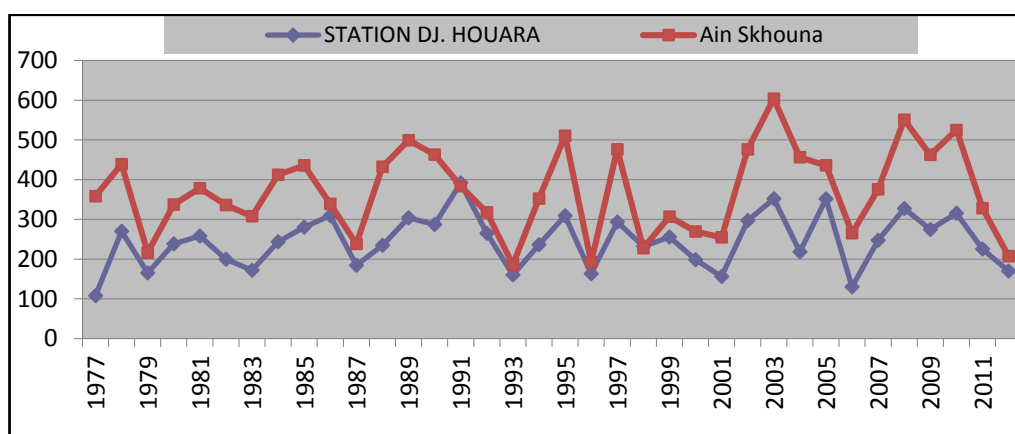


Figure 05 : Les précipitations de la station Houara, Ain Skhouna (1977-2012).

Années	Ain Skhona	Y	1995	510.5	324.7
1977	358.3	126	1996	191.8	177.51
1978	438.8	231.2	1997	476.2	308.9
1979	216.26	201.7	1998	227.5	192.1
1980	337.4	195.8	1999	306.8	249.5
1981	378.4	257.1	2000	269.4	186.8
1982	336	246.5	2001	254.7	250.6
1983	307.7	223.1	2002	476.2	425.1
1984	412.3	243.7	2003	603.8	468.6
1985	435.8	339.6	2004	456.3	328.2
1986	338.8	295.8	2005	435.8	433.3
1987	238.1	172.7	2006	265.4	324
1988	432.1	313.4	2007	375.7	334.7
1989	499.2	312.4	2008	550.64	467.3
1990	462.7	331.3	2009	462.3	348.1
1991	383.4	405.4	2010	524.9	246.4
1992	317.7	276.6	2011	328.1	241.9
1993	185.8	165.9	2012	207.2	207.5
1994	352	330.8	ANNUEL	370.944	

Tableau 06 : Données des précipitations de la station Cherf El Ain, Ain Skhouna (1977-2012).

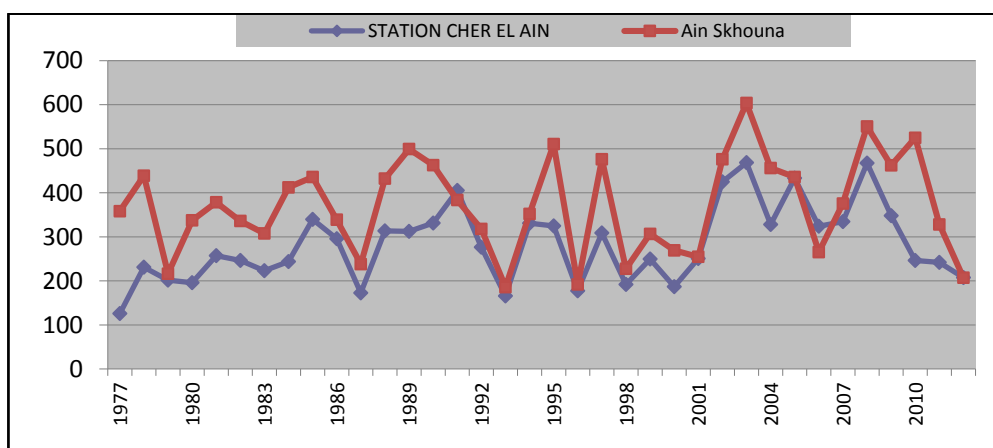


Figure 06 : Les précipitations de la station Cherf El Ain, Ain Skhouna (1977-2012).

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre	Nov,	Déc,
1989	38	83	175	196	235	256	319	317	191	137	162	122
1990	37	100	97	142	142	302	329	246	266	205	102	57
1991	42	70	150	89	170	265	372	323	203	120	85	47
1992	48	67	103	164	184	268	268	321	257	237	92	67
1993	52	45	117	182	220	299	443	358	313	282	84	63
1994	73	122	104	188	367	291	338	383	247	119	83	57
1995	61	93	104	143	259	298	355	289	195	111	128	88
1996	108	80	106	115	154	202	366	343	211	168	172	149
1997	92	92	125	154	298	409	365	315	161	106	94	76
1998	53	56	118	203	146	336	415	329	280	135	106	55
1999	69	65	100	195	301	330	312	412	205	176	94	42
2000	43	86	147	230	221	218	313	298	204	143	123	82
2001	68	81	205	150	210	282	366	294	150	145	63	49
2002	47	80	129	177	211	305	308	235	185	154	104	44
2003	52	45	69	91	132	217	296	263	145	137	60	35
2004	38	87	85	75	105	138	227	259	135	142	35	34
2005	33	43	92	103	172	222	291	254	155	92	74	36
2006	35	50	113	144	129	259	249	241	156	158	60	28
2007	44	54	66	72	148	291	273	286	144	110	66	44
2008	52	66	99	165	176	196	296	233	163	78	77	46
2009	42	64	88	84	122	229	311	272	121	97	86	94
2010	74	92	98	97	125	197	261	268	180	88	82	70

Tableau 07 : l'évaporation de la station Ain Shouna (1998-2010).

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre	Nov.	Déc.
1989	6.6	13.3	17.3	21.8	25.8	27.1	30.6	34.4	31	21.2	17.7	14.5
1990	10.2	12	13.7	20.6	25.9	30.8	29.3	27.5	28.5	24.8	19.4	9.8
1991	7.8	11.1	21	20.9	21.4	27.7	29.8	27.9	25.8	25.9	14.4	8.3
1992	8	8.6	15.3	19.7	28.1	28.1	26	27.9	26.6	23.2	17.3	10.3
1993	5.9	8.4	16.1	18.1	30.1	28.8	35.7	33.6	29.8	26.9	17.3	11
1994	11.7	15.4	15.1	20	31	33	30.5	33.5	29.4	20.3	17.2	10.8
1995	14.8	14.4	14.5	18.4	24.1	32.1	31.9	30.3	26.9	19.6	18	16
1996	13	9.8	20.1	18.2	26	28.9	35.9	32.7	24.7	20	20.3	17.1
1997	12.6	13.8	11.5	18.8	25.5	33.8	32.7	33.3	26.5	22.1	18.6	14.4
1998	9.2	12.2	15	23.1	22.4	30.7	35.2	30.2	33.4	21.1	21.1	8.5
1999	9.1	12.9	13.4	26.6	29.4	31.6	32.2	36	27.9	23.2	15.7	12.1
2000	6.2	9.8	16.7	27.4	25.5	28.5	32	30.4	28.4	23.5	17.3	13.2
2001	13.1	9.7	24.3	19	28.5	31.1	35.4	31	27.2	25.5	16.2	10.3
2002	9.4	12.6	16.4	23.7	26.7	30	33.3	32.4	26.7	25.5	21.5	11.6
2003	12.7	10.6	12.7	21.9	22.7	33.8	33.6	34.6	28.8	30.5	13.7	10.8
2004	9.7	17.7	15.3	15.9	19.2	27.7	29.2	34.1	26.5	23.5	14.5	15.8
2005	8.8	9.7	22	24.1	24.1	29.1	33.9	35.8	26.9	21.3	17.3	10.7
2006	10.6	9.2	17.2	24.7	27.6	33.5	29.1	32.8	24.5	24.9	15.9	10.7
2007	11.6	12.3	14	18.2	26.5	35.2	30.3	31.5	25.8	24.7	16	9.8
2008	10	11.6	15.7	23.7	29.2	29.6	34	32.6	29.3	19.7	16.7	10.3
2009	11.1	11.8	16.8	20.9	23.4	26.9	33.5	33.8	28	21.1	15	16.6
2010	11.4	22.5	20.6	19.5	24	32.2	32	32.9	29.3	15.7	18.2	21.5

Tableau 08 : La température maximum de la station Ain Skhouna (1989-2010).

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre	Nov.	Déc.
1989	-0.7	2.3	6	6.6	6.8	11.8	21.4	16.8	15	12	8	4.5
1990	3.1	3.3	4.8	6.6	11.4	17	19	18.8	18.6	12.9	3.7	1.5
1991	0.8	-0.9	6.7	5.8	8	15.8	21.1	17.5	17.6	9.4	3.1	-0.3
1992	-0.9	3.1	3.9	3.3	5	14.1	19.3	21.2	18.1	9.8	8	1.4
1993	0.3	0.1	1.9	5.3	9.8	19.5	20.4	19.8	13.5	9	4.5	2.9
1994	2	2	7.5	2	12	16	23.2	23	15.4	11.3	7.3	1.9
1995	-0.9	3.6	4.2	4.3	12.8	14.1	21.5	18.9	12.8	12.7	5.6	2.8
1996	5.4	0.6	3.9	6.5	11.5	14.9	20.4	19	13.6	9.9	4.8	2.2
1997	3.7	5.1	5.1	6.6	11.2	18	21.3	21.6	16.8	8.5	5.8	3.6
1998	1.2	4.4	4.8	9.6	9.3	17.6	21.6	18	18.1	10.9	1.9	2.5
1999	-2.3	-3.1	4.3	7.3	14.8	18.1	20	23	18.7	15.1	2.5	1.8
2000	1.1	4.3	5.2	9.8	13.3	16.1	22.3	19	14.9	10.6	4.8	2.2
2001	2.3	3.2	6.1	7.7	10.8	18.4	23.8	22.2	18.1	15.7	5.3	-0.2
2002	0.5	2.6	6.7	8.1	12	15.8	18.2	20.3	14.2	11.5	6.2	3.5
2003	1	0.4	3.6	6.1	12.1	20.4	24.9	22	15.6	12.5	7.1	0.8
2004	2.2	3.1	1.7	6.7	11.5	13.6	20.2	21	12.8	12.9	5.7	0.5
2005	-2.1	-0.5	1.5	3.8	12	18	22.1	20.5	17.6	14.2	1.5	2
2006	0.4	4.3	3.1	9.4	14	12.4	22.9	20.3	14.4	14.1	8.7	3.2
2007	4.4	5.2	1.2	9.5	10.6	12.1	21.7	21.5	17.3	9.1	3.2	0.2
2008	3.1	3.8	0.6	5.7	11.6	15.7	23.2	21.6	14.4	8	5.5	1.8
2009	3.1	2.2	3	5.6	10.6	19.6	24.2	20	15.1	10.6	6.8	3.4
2010	2	2.5	5	9.8	10.5	17.9	20.5	21.9	15.3	9.3	6.3	1.1

Tableau 09 : La température minimum de la station Ain Skhouna (1989-2010).

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
1989	3.5	6.4	10.6	12	17.6	20.6	25.5	25.9	21.6	15.6	12.7	10.3
1990	6	9.1	10.1	12.2	16.9	24.6	24.6	22.7	23.9	17.6	11.1	4.5
1991	4.2	5.7	10.8	10.1	13.4	21.8	25.7	24.9	22	15.8	9.5	4.4
1992	3.7	5.7	8.3	11.1	15.9	20.2	23	24.8	21.6	16.9	10.9	6.5
1993	3.3	5	7.8	11.7	17.7	23.9	26.1	26.1	21.4	18	9.9	6.4
1994	6.6	7.7	10.6	10.8	21.6	23.8	26.6	28.3	22.7	16.2	11	6.3
1995	5	8.9	8.5	11.3	18.7	22.6	26.4	24.1	20.5	15.7	10.5	9.2
1996	8.6	6.2	9.8	11.9	16.8	20	25.4	26.2	19.1	13.7	11.5	9.5
1997	7.5	8.1	8.5	12.3	20.3	25.9	26.6	25.3	20.4	15.8	11.1	7.4
1998	5.7	7	8.6	14.2	16.6	24	27.1	25.4	22.6	14.1	9.9	4.9
1999	6.2	4.9	9.3	13.9	21.8	25.7	26	29.2	23.1	18.7	9.8	6.4
2000	3	6.7	10.9	15.3	20.4	22.7	27.2	26.1	21.7	15.2	11	7.7
2001	6.8	6.2	14.6	12.8	18.5	24.4	27.8	26.7	21.7	19.9	10.2	5.5
2002	4.7	7.6	11.2	14.6	19	24.9	26.4	24.9	21	16.8	11.6	7.9
2003	5.9	5.8	9.9	13.9	18	24.8	28.9	27	21	18.5	11.1	5.9
2004	5.6	8	10.2	11.7	15.2	21.3	25.7	27.4	20.5	18.7	8.9	6.6
2005	3.4	4.2	10.7	13.4	19.8	23.8	28.1	25.4	21.3	16.8	10.6	6
2006	4.5	6.3	10.9	15.7	20.1	24.7	26.5	25.8	20.4	18.6	11.2	6.8
2007	6.6	8.4	8.8	13.5	17.8	25.4	27.1	26.9	21.1	16.6	9.4	5.4
2008	6.4	7.7	9.7	14.4	19.1	22.6	28.2	26.6	22	16	9.2	5.6
2009	6.2	6	9.1	11	17.5	23.6	28.7	26.6	20.4	15.1	10.7	9.4
2010	7.5	9.4	11.6	14.5	16.1	22.9	27	26.7	21.5	17	9.7	10.1

Tableau 10 : La température moyenne de la station Ain Skhoua (1989-2010).

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept,	Octobre	Nov,	Déc,
1989	77	69	56	57	50	53	42	46	59	66	58	67
1990	83	66	68	65	68	45	46	60	53	58	73	79
1991	75	73	65	73	62	53	44	42	55	68	71	78
1992	75	70	72	62	64	50	50	45	52	51	71	76
1993	77	79	70	60	59	48	36	39	46	50	72	78
1994	74	59	67	59	41	38	32	32	52	70	70	74
1995	77	69	66	56	48	51	39	49	60	69	60	73
1996	69	72	69	69	63	58	40	43	54	57	53	59
1997	69	63	58	58	41	38	40	44	65	72	73	73
1998	75	74	63	55	65	41	32	44	50	64	67	78
1999	77	75	64	52	40	39	39	34	52	56	68	78
2000	77	64	56	47	55	51	36	38	51	61	59	68
2001	70	64	45	54	55	38	33	37	62	57	74	76
2002	74	63	56	53	45	36	42	50	53	54	67	75
2003	75	71	67	68	62	46	36	41	61	62	70	78
2004	76	62	64	67	64	60	44	42	58	51	79	80
2005	74	71	61	61	48	45	37	44	54	64	63	75
2006	74	69	56	55	63	39	39	46	57	49	67	80
2007	72	71	69	68	57	40	35	40	62	64	65	71
2008	71	62	61	52	56	52	44	46	55	73	67	73
2009	76	65	65	67	61	43	35	45	67	67	59	62
2010	67	61	61	65	58	53	42	46	56	61	67	73

Tableau 11 : Humidité relative de la station Ain Skhoua (1989-2010).

### Caractéristiques des courbes :

Dénivelée simple « D » :  $D = H_{5\%} - H_{95\%} = 780m$ .

Altitude moyenne :

L'altitude de moyenne est obtenue par la forme suivante :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum H_i S_i}{A}$$

$H_i$  : l'altitude moyenne entre les deux courbe de niveau.

$S_i$  : Surface partielle et tranche d'altitude ( $\text{km}^2$ )

Les pentes : Sont les indices rendant compte de l'influence de la pente sur le régime hydrologique du bassin versant.

L'indice de pente global ( $I_g$ ) : Cet indice prend en compte la dénivelée  $D$  entre  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  par rapport à la longueur du rectangle équivalent  $L$ .

$$I_g = \frac{D}{L} (m/km)$$

$D$  : dénivelée utile entre  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$

$L$  : la longueur du rectangle équivalent (km)

L'indice de pente de M. Roche ( $I_p$ ) : ( $I_p$ ) est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent et procédées par la surface :

$$I_p = \sqrt{\frac{I_g}{0.8}} = 0,115$$

La dénivelé spécifique ( $D_s$ ) :

Il est déterminé l'état du relief du bassin versant :

$$D_s = I_g \sqrt{A} (m)$$

$A$  : la surface totale de BV.

$I_g$  : indice de pente globale.

Classe de relief	DS (m)	Type
R1	DS < 10	Très faible
R2	R <sub>2</sub> 10 < DS < 25	Faible
R3	R <sub>3</sub> 30 < DS < 50	Assez faible
R4	R <sub>4</sub> 60 < DS < 100	Modéré
R5	R <sub>5</sub> 110 < DS < 250	Assez fort
R6	260 < DS < 500	Fort
R7	DS > 500	Très fort

Tableau 12 : l'indice de relief.

D'où : le relief est assez fort d'après la classification de l'ORSTOM.

-Longueur et largeur du rectangle équivalent «  $L$  » et «  $l$  » :

C'est la longueur et la largeur d'un rectangle de même superficie «  $A$  », même périmètre «  $P$  ». Même indice de compacité «  $K_c$  » et même hypsométrie Que le bassin versant étudié.

Elles sont calculées par les formules suivantes :

Longueur du rectangle équivalent :

$$\text{La longueur (L)} : L = \frac{K_c \sqrt{A}}{0,28} \left[ 1 + \sqrt{1 + \left( \frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] = 127,4 \text{ Km}$$

Largeur du rectangle équivalent( $l$ ) :

$$\text{Ou : } A = L.l \quad \leftrightarrow \quad l = \frac{A}{L} = 7,96 \text{ Km}$$

**Annexe 03 :**

X	Y	Niveau piézométrique
769400	241675	71.4
765000	241000	56.8
765850	256500	23.5
759700	255780	154
798100	282100	40.5
777400	264000	51.5
776200	254500	95
777400	264000	51.9
767750	241550	70.5
765000	241100	54
798100	282100	40
761300	243500	9.5
765858	254500	19
762550	242800	98
766850	255600	35
776200	254000	94
776150	256400	42

Tableau 01 : le niveau piézométrique.

	Le 16 /04/2014		Le 22 /04/2014	
	Seguiet Rhaouat	Seguiet Rhaouat	Seguiet Sidhoum	Seguiet Sidhoum
Hauteur d'eau	18cm	18cm	17	14cm
Déplacement (flottant)	3m	3m	3cm	3m
Largueur de seguia	96cm	78m	96cm	78m
Temps de déplacement	7sec	6s	8sec	5s

	Le 30/04/2014						
	Seguiet Taboutit	Seguiet Sidhoum	Saguiet Rhaouat	Seguiet Tamtalt	Seguiet Hmada	Seguiet Taldjousetin	Seguiet Bala
Hauteur d'eau	16cm	13cm	19cm	34cm	15cm	13cm	16cm
Déplacement (flottant)	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m
Largueur de seguia	45cm	93m	50cm	40cm	45cm	53cm	83cm
Temps de déplacement	18sec	5sec	17sec	18sec	15sec	8sec	10sec
	Le 29/05/2014						
	Seguiet Taboutit	Seguiet Sidhoum	Saguiet Rhaouat	Seguiet Tamtalt	Seguiet Hmada	Seguiet Taldjousetin	Seguiet Bala
Hauteur d'eau	11,5cm	10,5cm	17,5cm	7,5cm	13cm	4cm	13cm
Déplacement (flottant)	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m
Largueur de seguia	35cm	1,7m	78cm	50cm	65cm	58cm	49cm
Temps de déplacement	13sec	5s	3sec	6sec	5sec	10sec	4sec

	Le 4/6/2015		12/06/2015	
	Seguiet Rhaouat	Seguiet Sidhoum	Seguiet Tamtalt	Seguiet Tabourit
Hauteur d'eau	19cm	5cm	18cm	13cm
Déplacement (flottant)	3m	1m	3m	2m
Largueur de seguia	96cm	69m	44cm	35cm
Temps de déplacement	9sec	2min	17sec	8sec

Tableau 02 : les mesures des hauteurs d'eau dans les seguias.