



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure de la Recherche Scientifique
Université de Tébessa



Faculté des Sciences Exactes, des Sciences de la Nature et de la vie
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

Mémoire de Master en Géologie

Option : Hydrogéologie

Thème

**Quantification des Apports Liquides et Solides pour
l'Alimentation du Barrage de Chebabta. Meskiana.
Wilaya d'Oum El-Bouaghi. Nord-Est Algérien.**

Présenté le 07 juillet 2020 Par

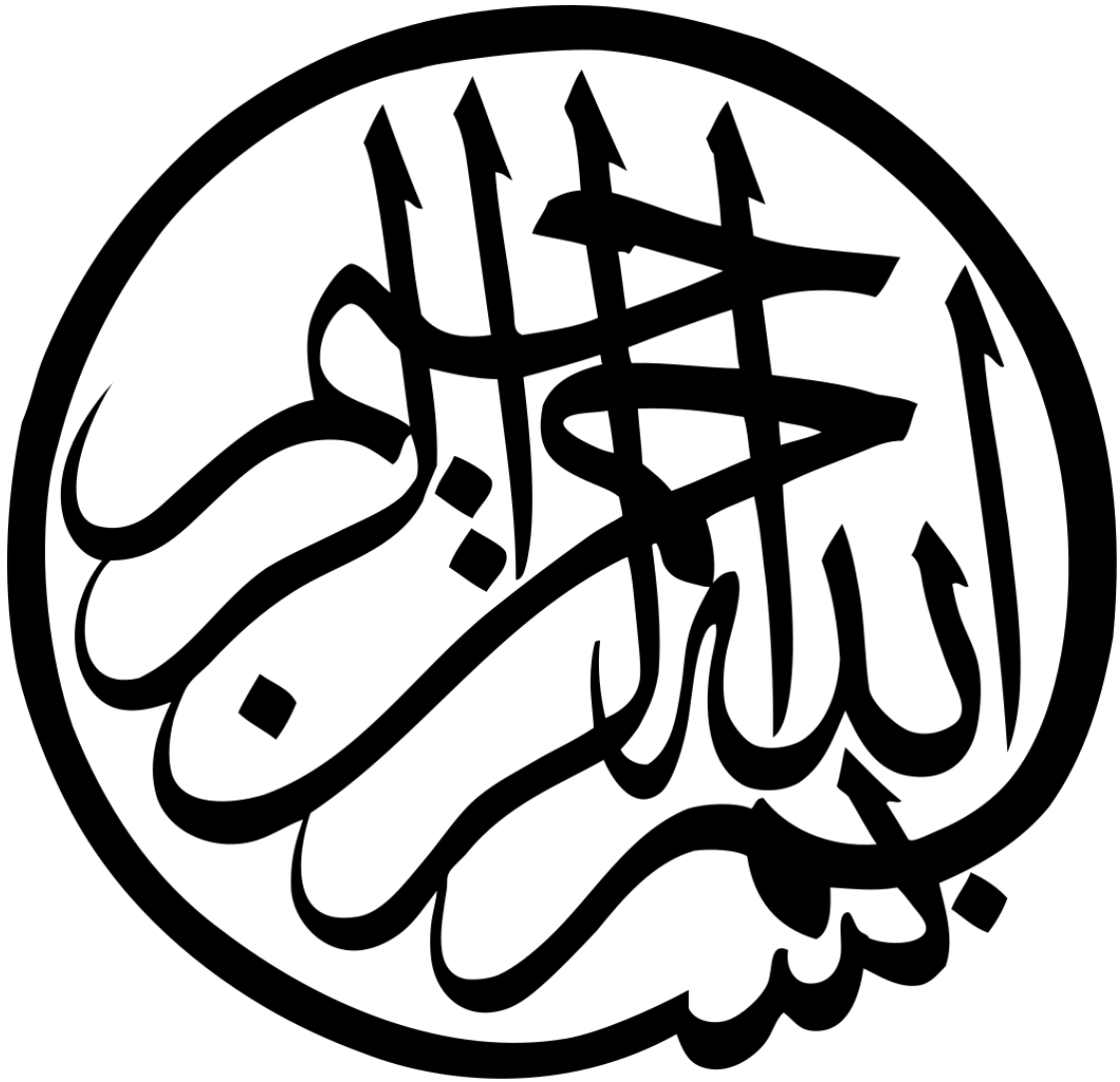
Azizi Marwa

Hichour Douaa

Les membres du jury

AOUN Mounira	Présidente	(MCB) Univ. Larbi Tébessi
BAALI Fethi	Rapporteur	(Prof) Univ. Larbi Tébessi
MOUCI Ridha	Examineur	(MCB) Univ. Larbi Tébessi
BOUBAYA Djamel	Examineur	(MCA) Univ. Larbi Tébessi

2019/2020



Remerciements

Nous remercions avant tout le Dieu de nous avoir gardés en bonne santé afin de mener à bien ce projet de fin d'études. Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que nous terminions nos études.

*Nous souhaitons exprimer, tout particulièrement, nos vifs remerciements et notre profonde reconnaissance nos encadreur **Mr Baali Fethi** pour leur précises conseils et motivations qui nous est gardés sur le droit chemin afin de réaliser ce modeste travail et de nous avoir fait confiance et accepté de diriger ce mémoire et qui, malgré leur multiple obligation, n'est jamais ménagé aucun effort pour suivre cette étude de près pendant toute la durée du travail, nous le remercions chaleureusement.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs intervenants (**Mr Mouici Rhida, Mr Fahdi Naoufel, Mr Hadjla Ali, Mr Guefaïfia Omar, Mr Boubaya Djamel, Mr Soufi Belgacem et Mr Hemaïdia Hacem**) et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nos rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.*

*Nos remerciements s'adressent **Mme Aoun mounira**, d'avoir accepté de présider notre jury.*

Enfin, Nos plus vifs remerciements s'adressent aussi à tous ceux qui nous ont aidés, encourager et nous ont soutenus.

Hichour & Azizi

Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail aux personnes les plus chères à mon cœur : mon père El Djemai, ma mère Hadda et ma deuxième mère Canadi que dieu les garde et les protège, qui ont été le guide affectueux et attentif, la source de confiance et sérénité. En reconnaissance pour leur soutien moral et pour toutes les charges assurées au cours de ces longues années.

A ma chère Sœur : Ikram

Toute la famille : Hichour

Mon binôme Marwa

Une spéciale dédicace pour mes meilleures amies : Amina, Marwa, Najla, Sawsen, Kamilia, Souad, et Ikhlal

Toutes les personnes qui me connaissent de loin ou de près.

A toute la promo Hydrogéologie 2019/ 2020.

Hichour Douaa

Dédicace

Je dédie ce mémoire A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mon frère Aymen et mes sœurs Radhia et Hadil, pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral,

Sans oublier mes cousines et mes cousins

Un dédicace spécialement à H.Salah et ma chère binôme Douaa et mes amies Souad, Ikhlas , Mariem , Chaïma , Kaouther et Bouthaina et tous la promo d'hydrogéologie 2019/2020

A mes amis, ma famille, et toutes les personnes que J'aime

Azizi Marwa

Résumé

La Meskiana fait face actuellement à une demande en eau sans cesse croissante du fait de l'évolution démographique de la région ainsi que l'évolution des besoins en eau de la population, de l'agriculture et de l'industrie.

Les moyens de mobilisation classiques de la ressource en eau ont toujours été orientés vers l'hydraulique notamment les barrages. Toutefois, les délais de concrétisation de ces ouvrages sont trop longs (études, réalisation, transfert, ...etc).

La présente étude a pour objectif d'étudier la quantification du barrage de Chebabta wilaya d'Om El Bouaghi. Les transports liquides et solides sont des phénomènes complexes. Les quantités de matières transportées sont très importantes et sédimentent dans les retenues d'eaux. Une méthode basée sur les Apports moyens, facile à mettre en œuvre, a été mise au point pour la quantification des apports liquide et transports solides. Elle est basée sur les données hydrométriques donc Nous avons utilisé les données hydrométriques relatives aux débits et la satisfaction de future barrage au droit de la station de Meskiana.

Le traitement de ces données a été réalisé, par le rapport débit liquide débit solide, le rapport est établi par l'utilisation de modèle régressif puissance. Sur la base de cette relation, nous avons estimé le débit liquide et solide moyen, on a trouvé un apport liquide 20.4 Hm^3 , un volume mort de l'ordre de 3 Hm^3 pour une durée d'exploitation du barrage de 21 ans.

Mots Clés : Barrage. Chebabta. Oued Meskiana. Quantification. Apport liquide. Apport Solide. Eau de surface.

Abstract

Meskiana is currently facing an ever-increasing demand for water due to the demographic evolution of the region as well as the changing water needs of the population, agriculture and industry.

The classic means of mobilizing water resources have always been oriented towards hydraulics, in particular dams. However, the completion times for these works are too long (studies, production, transfer, etc.).

The present study aims to study the quantification of the Chebabta wilaya dam of Om El Bouaghi. Liquid and solid transports are complex phenomena. The quantities of materials transported are very large and sediment in reservoirs. A method based on average Intakes, easy to implement, has been developed for the quantification of liquid in takes and solid transport. It is based on the hydrometric data therefore we used the hydrometric data relating to the flows and the satisfaction of futures dam at the right of the station of Meskiana.

The processing of these data was carried out, by the ratio liquid flow rate solid flow; the report is established by the use of regressive power model. On the basis of this relationship, we estimated the average liquid and solid flow, we found a liquid supply 20.4 Hm^3 , a dead volume of the order of 3 Hm^3 for a period of operation of the dam of 21 years.

Key words: Dam. Chebabta. Oued Meskiana. Quantification. Liquid intake. Solid intake. Surface water .

ملخص

تواجه مسكيانة حاليًا طلبًا متزايدًا على المياه بسبب التطور الديموغرافي للمنطقة بالإضافة إلى الاحتياجات المائية المتغيرة للسكان والزراعة والصناعة.

كانت الوسائل التقليدية لتعبئة الموارد المائية موجهة دائمًا نحو السدود. ومع ذلك ، فإن أوقات الانتهاء لهذه الأعمال طويلة جدًا (الدراسات والتنفيذ والنقل وما إلى ذلك).

هدفت الدراسة الحالية إلى تحديد حجم سد شبابتة بولاية أم البواقي. التدفقات الصلبة والسائلة هي ظواهر معقدة، كميات المواد المنقولة لها أهمية في تجميع المياه، طريقة التدفقات المتوسطة سهلة التنفيذ، اعتمدت من أجل حساب التدفقات السائلة والصلبة المبنية على البيانات الهيدرومترية المتعلقة بالتدفقات وإشباع السد المستقبلي على يمين محطة مسكيانة.

تم تنفيذ معالجة هذه البيانات ، من خلال معدل التدفق الصلب لمعدل التدفق السائل ، تم إنشاء التقرير باستخدام نموذج طاقة انحداري. على أساس هذه العلاقة ، قدرنا متوسط التدفق السائل والصلب ، وجدنا إمدادات سائلة 20.4 هـم³ ، حجم الصلب من أجل 3 هـم³ لفترة تشغيل السد لمدة 21 عامًا.

الكلمات المفتاحية: سد. شبابتة. واد مسكيانا. تحديد الكميات. تناول السائل. كمية صلبة. سطح الماء.

Liste des abréviations et ses paramètres :

A : surface du bassin versant (km^2)

ACP : Analyses en composants principales

AEP : Alimentation en eau potable

ANBT : Agence National des Bagarres et Transferts

ANRH : Agence National des Ressources Hydraulique

BV : Bassin versant

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

D : Dénivelée entre H5% et H95% (m)

DA : Déficit agricole (mm)

DAO : Data Access Object

Dd : Densité de drainage (Km/km^2)

DE : Déficit d'écoulement (m/an)

Ds : Dénivelé spécifique

DSA : Direction de services agricole

E : lame écoulé annuelle

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm)

ETR : Evapotranspiration Réelle (mm)

EX : Excédent en eau di sol (mm)

FNRDA : Fonds National de Régulation et de Développement Agricole

GIS : Géographique Information System

H : Humidité

He : Humidité équivalente du sol (%)

Hmax/moy/min : Altitudes maximal / moyen / minimum

i : Indice thermique mensuel

I : Infiltration

Ig : Indice de pente globale ($\text{cal}/\text{cm}^2/\text{jour}$)

K : facteur de correction

Kc : Indice de compacité de GRAVELIUS

l : largeur du rectangle équivalent (km)

L : longueur du rectangle équivalent (km)

Li : Somme des longueurs de tous les Thalwegs y compris le Thalwegs principal

ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre - Mer

P : périmètre du bassin versant (km)

P : Précipitations (mm)

Pa : pluie annuelle

R : Ruissellement

RFU : Réserve facilement utilisable (mm)

T : Température ($^{\circ}\text{C}$)

Tc : Temps de concentrations

V : variable thermique

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	I
Liste d'abréviation	IV
Table de matière	VI
Liste des tableau	IX
Liste des figures	X
INTRODUCTION GENERALE	1
Cadre générale	2
1- Situation géographique	2
2- Réseau hydrographique	2
3- Couverture Végétale	2
4- Géomorphologie	3
4-1- Topographie	3
4-2- La plaine	3
5- Aperçu socio-économique	3
Chapitre 1 : Géologie	
1.1. Introduction	6
1.2. Description lithostratigraphiques des formations	7
1.2.1. Trias	7
1.2.2. Cretace	9
1.2.3. Paleogene	9
1.2.4. Neogene	11
1.2.5. Quaternaire	11
1.3. Stratigraphie et Hydrogéologie	11
1.3.1. Formation perméable	11
1.3.2. Formation imperméable	12
1.4. Aperçu Tectonique	12
1.5. Conclusion	14
Chapitre 2 : Hydroclimatologique	
2.1. Introduction	16
2.2. Caractéristiques morphométriques du BV	18
2.2.1. Délimitation et périmètre du bassin	18
2.2.2. Indice de compacité	18
2.2.3. Rectangle équivalent	18
2.2.4. Réseau hydrographique et caractères morphométriques	19
2.2.5. Indices de pente	20
2.2.5.1. Pente moyenne des sous bassin Im	20
2.2.5.2. Indice de pente globale Ig	20
2.2.5.3. Dénivelée spécifique Ds	21
2.2.5.4. La densité de drainage	21
2.2.6. Profil en long de l'oued meskiana	22
2.2.7. Temps de concentration	24
2.3. Caractéristiques Climatiques	25
2.3.1. La température	25
2.3.1.1. Variations des températures moyennes annuelles	25

2.3.1.2. Variations de la température moyenne mensuelle	26
2.3.2. La pluviométrie	26
2.3.2.1. Variations interannuelles des précipitations	27
2.3.2.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations...	28
2.3.3. Le régime des vents	28
2.3.4. L'Humidité (H %)	29
2.3.5. L'évaporation	29
2.3.6. Bilan hydrologique	30
2.3.6.1. Estimation des paramètres du bilan hydrologique	30
2.3.6.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)	30
2.3.6.1.2. Calcul de l'évapotranspiration réel (ETR)	32
2.3.6.2. Calcul du bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite	33
2.3.6.2.1. Estimation du bilan d'eau	34
2.3.6.2.2. Les différences composent du bilan	35
2.3.6.3. Commentaire sur le bilan hydrologique	36
2.4. Conclusion	37
Chapitre 3 : Hydrologie - Hydrogéologie	
3.1. Introduction	39
3.2. Hydrogéologie générale	40
3.3. Géométrie de l'aquifère	40
3.3.1. Géophysique	42
3.3.2. Matériaux de rencontré	43
3.4. Les apports liquides	45
3.4.1. Demande en eau	47
3.4.2. Les formules d'évaluation des apports liquides	47
3.4.2.1. Formule de Sogreah	47
3.4.2.2. Formule de Samie	48
3.4.2.3. Formule de Turc	48
3.4.2.4. Formule de Medinguer	48
3.4.2.5. Formule de dit Algerienne	48
3.4.2.6. Formule de l'A.R.N.H	49
3.4.2.7. Formule de l' Dery 1	49
3.4.2.8. Formule de l'A.R.N.H (1977)	49
3.4.2.9. Formule de Mallet- Gautier	50
3.4.3. Evolution annuelle des apports liquides	50
3.4.4. Evolution mensuelle des apports liquides	51
3.4.5. Evolution annuelle du volume d'eau du barrage	52
3.5. Les apports solides	55
3.5.1. Erosion	55
3.5.2. Types d'érosion	55
3.5.2.1. Erosion en nappe	55
3.5.2.2. Erosion linière	55
3.5.3. Les principaux facteurs de l'érosion hydrique	56
3.5.4. Quantification de l'érosion hydrique	57
3.5.4.1. Formule de Tixeront(1960)	58
3.5.4.2. Formule de fournier (1960)	58
3.6. Transport Solides	59
3.6.1. Modes de transport solide	59


3.6.2. Volume mort	59
3.7. Conclusion	61
Chapitre 4 : Aperçu Géologique et Hydrogéologique	
4.1. Introduction	63
4.2. Géologie du Site	64
4.3. Chimie des eaux	64
4.3.1. Détermination des principaux facies hydrochimique de l'eau de surface de site de Chebabta	64
4.4. Site du barrage	69
4.4.1. Carrier	70
4.4.2. Zone d'emprunt	71
4.5. Variabilité spatio-temporelle des apports liquides et solides	71
4.6. L'enjeu de l'érosion hydrique sur l'environnement	71
4.6.1. Effets visibles sur l'environnement	71
4.6.2. Conséquence socio-économiques négatives	72
4.7. Conclusion	73
CONCLUSION GENERALE	
Références bibliographique	
Annexes	

Liste des Tableaux

Tableau 2.1 : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du bassin versant	23
Tableau 2.2 : Caractéristique hydro_morpho_métrique de bassin versant	24
Tableau 2.3 : Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite	32
Tableau 2.4 : Tableau récapitulatif des valeurs de l'ETR et de l'ETP à la station de Chebabta (1999-2019)	33
Tableau 2.5 : Bilan d'eau selon Thornthwaite pour la station de Chebabta (1999-2019)	34
Tableau 2.6 : Les composantes du bilan hydrogéologique de la station du Barrage Chebabta (1999-2019)	36
Tableau 3.1 : Caractéristiques hydrogéologiques et géophysiques des formations	41
Tableau 3.2 : Caractéristiques géophysiques des formations	43
Tableau 3.3 : Répartition de la demande mensuelle	47
Tableau 3.4 : Apports liquides mensuels du bassin versant (Hm ³)	51
Tableau 3.5 : Volumes annuels régularisés en fonction de la cote de la retenue normale	53
Tableau 3.6 : Appellation des lignes d'écoulement (d'après Roose, 1994)	56

Liste des Figures

Figure 1.1 : la carte topographique au 1/50000	4
Figure 1.2 : Coupes géologiques dans le bassin de Meskiana.	8
Figure 1.3 : Esquisse tectonique de la région de Meskiana, J.M.VILA (1980).	13
Figure 2.1 : Bilan des entrées/sorties	17
Figure 2.2 :Photo du logiciel MNT pour la délimitation du Bassin Versant d'Oued Meskiana et ses affluents	20
Figure 2.3 : Courbe hypsométrique et profil en long ajusté	22
Figure 2.4 : Evolution de la température moyenne annuelle à la station de Meskiana pour la période (1998/1999-2018/2019).	26
Figure 2.5 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station de Meskiana pour la période (1998/1999-2018/2019).	26
Figure 2.6 : Carte des précipitations annuelles médianes de l'Est algérien (1972/1973- 1983/1984).	27
Figure 2.7 : Evolution de la précipitation moyenne annuelle à la station de Meskiana pour la période (1998/1999-2018/2019).	27
Figure 2.8 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Meskiana pour la période (1998/1999-2018/2019)	28
Figure 2.9 : Evolution du régime des vents mensuelle interannuelle à la station de Meskiana pour la période (1998/1999-2018/2019).	28
Figure 2.10 : Evolution mensuelle interannuelle du Taux d'humidité (%) à la station de Meskiana pour la période (1998/1999-2018/2019).	29
Figure 2.11 : Pertes nettes par évaporation (en mm) – site de Chebabta – Chronique mensuelle.	30
Figure 3.1 : Débit massif des calcaires	40
Figure 3.2 : Débit tectonique	40
Figure 3.3 : Esquisse hydrogéologique du bassin versant de la Meskiana, Chebabta dans le cercle noir.	42
Figure 3.4 : Division lithologique des alluvions	44
Figure 3.5 : Aperçu sur l'organisation régulière des alluvions	44
Figure 3.6 : Site de Chebabta – Carte Clairefontaine feuille n°150	45
Figure 3.7: Réseau hydrométrique dans le bassin de l'Oued Meskiana para port de la station de Chebabta	46
Figure 3.8 : Apports liquides annuels (Hm3)	50
Figure 3.4 : Apports liquides mensuelle (Hm3)	
Figure 3.10 : Volumes annuels régularisés en fonction de la retenue normale	53
Figure 3.11 : future digue du barrage Chebabta	54
Figure 3.12 : Types d'érosion hydrique	58
Figure 3.13 : Transport Solides	60
Figure 4.1 : Diagramme de Schoëller-Berkaloff, des eaux de surface mars 2020	65
Figure 4.2 : Diagramme de Piper, campagne de mars 2020 (eau de surface).	67
Figure 4.3: Diagramme de Wilcox des eaux de surface de Meskiana mars 2020	68
Figure 4.4 : Localisation de la carrière Mesloul / site.	70



Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

L'importance de l'eau en tant que support de vie et de facteur régulateur du développement d'un pays est universellement reconnue. Elle est nécessaire de la quantifier et de la gérer aussi rigoureusement que possible.

Les bassins versants de l'Algérie en général, et le bassin versant du Meskiana en particulier, souffrent d'un manque d'eau. Les différents aménagements hydriques réalisés jusqu'à maintenant sont des progrès incomplets car ils ont été confrontés aux problèmes liés aux conditions naturelles du milieu (érosion hydrique, évaporation, couvert végétal médiocre,). Le barrage du Chebabta est le premier ouvrage hydraulique dans le bassin versant du Meskiana, il est constitué d'un barrage réservoir et d'un périmètre d'irrigation.

L'objectif de ce travail est de quantifier l'apport liquide et solide du bassin afin de satisfaire la demande en eau distillé à la potabilité, l'irrigation ainsi que l'industrie

À travers les études des retenues d'eau et des barrages (les études hydrologiques), l'ingénieur concepteur est tout le temps confronté au problème d'évaluation des apports liquide et solide. Dans la majorité des bassins algériens souvent non jaugés, ces apports sont estimés par des formules empiriques développées dans des conditions et pour des régions différentes en plus des limites d'utilisation de ces équations.

Le but de cette étude est de contribuer dans l'amélioration de quantifications des apports liquides et solides par les modèles empiriques. Pour cela, on récapitule les formules les plus utilisées dans le contexte algérien avec leurs sources, leurs domaines de validité et leurs conditions d'application. Les formules ainsi référencées, font l'objet d'une étude de Satisfaction du barrage sur leur utilisation dans le bassin versant du Meskiana en se basant sur les données mesurées au niveau du site de barrage.

Ainsi, notre travail a nécessité la collecte des données auprès des organismes et administrations concernés, il est scindé en quatre chapitres :

- Le 1er chapitre est consacré à une étude stratigraphie et lithologie de la région de la Meskiana (Géologique) ;
- Le 2ème chapitre illustre les caractéristiques morphométriques et Climatiques du BV (Hydroclimatologique) ;
- Le 3ème chapitre présent les résultats des apports liquide et solide (Hydrogéologique) ;
- Le 4ème chapitre expose l'Aperçu Géologique et Hydrochimique point de vu géologique et hydrochimique.

CADRE GENERALE

1- Situation géographique

Le bassin de Meskiana s'étend sur une superficie de 1680 km² et se localise au Nord Est du territoire Algérien, à 80 km de la frontière Algéro-Tunisienne et à 250 km au Sud de la ville d'Annaba. Plusieurs agglomérations y siègent, à savoir Bellala, Dalâa, Meskiana, Rehia et Zebar, comptant plus de 37000 habitants selon un recensement fait en 1998. Cette population serait estimée à 48000 en 2004.[1]

Les limites géographiques du bassin de Meskiana sont présentées comme suit :

- Au Nord : Djebel Mesloula, Argoub El Mnachir et Djebel Khannaga ;
- Au Nord-Ouest : Djebel Chettaya, Djebel Bou Thokhma, et Djebel Ahmar ;
- Au Nord-Est : Djebel Belkfif ;
- Au Sud-Est : Djebel Gouriguer, Djebel Es Stih, et Djebel Khemalal ;
- Au Sud-Ouest : Djebel Boutoukhma et Chott Esbikha.

2- Réseau hydrographique

Le bassin versant de Meskiana est traversé par un seul cours d'eau principal, qui est l'Oued Meskiana. Il est considéré comme un collecteur des eaux de ruissellement qui affluent sur ses deux rives. Sur la rive droite, les principaux affluents (temporaires) prenant naissance à partir des montagnes et se déversant dans l'Oued Meskiana sont : l'Oued Rbâa, l'Oued Hmadjra, l'Oued Smar El Houd et l'Oued El Mallah. Sur la rive gauche, on compte l'Oued Djrida et l'Oued Ain Sedjra.[1]

3- Couverture végétale

La zone en question appartient au domaine sub-saharien, qui bénéficie d'un climat semi-aride ce qui limite la végétation de la région. La faible pluviométrie explique la pauvreté de la couverture végétale, les précipitations moyennes interannuelles enregistrées ne dépassent pas 340 mm, accompagnées d'une évapotranspiration réelle de l'ordre de 315 mm. [2]

4- Géomorphologie

4-1- Topographie

En se basant sur l'assemblage des cartes topographiques au 1/50000 (Meskiana feuille n°177, El Aouinet feuille n°150), on a pu délimiter le bassin versant de l'Oued Meskiana.

4-2- La plaine

Le bassin versant de l'Oued Meskiana est généralement formé par : des massifs de bordures limitant la plaine, d'une vallée se situant en bordure Nord d'un anticlinal crétacé. En général, les sols des régions à climat semi-aride sont caractérisés par :

- La présence d'accumulation calcaire réduisant la profondeur de sol utile ;
- La faible teneur en matière organique et en éléments biogènes ;
- Une forte sensibilité à l'érosion.

Parmi les sols les plus rencontrés on y trouve : Le sol squelettique, sol argileux calcaire, sol brun forestier. [3]

5- Aperçu socio- économique :

Les agglomérations n'ont été dotées d'aucune infrastructure industrielle, à l'exception d'une usine de laines et textiles actuellement à l'arrêt, alors que l'agriculture et l'élevage se sont bien développés.

En effet, cette région appartient, agro-écologiquement, aux hautes plaines intérieures orientales céréalières, qui ont des microclimats généralement contraignants (hiver froid à très froid, été chaud à très chaud et sec). La pluviosité est généralement limitée et l'eau constitue l'élément clé du système de culture mis en place. Durant les années pluvieuses où l'eau d'irrigation est disponible, on rencontre les cultures maraîchères, les cultures fourragères et les céréales avec un assolement biennal et parfois triennal, alors que durant les années de sécheresse, les cultures maraîchères et fourragères seront réduites et on se contente des céréales pour seulement équilibrer les revenus des agriculteurs. Ces dernières années, le secteur de l'agriculture et de l'élevage a connu un épanouissement important suite au lancement des programmes de PNDA en 2000 et celui du FNRDA en 2001. Ces programmes ont provoqué l'extension des terres irriguées et multiplié les cycles culturels. [1]

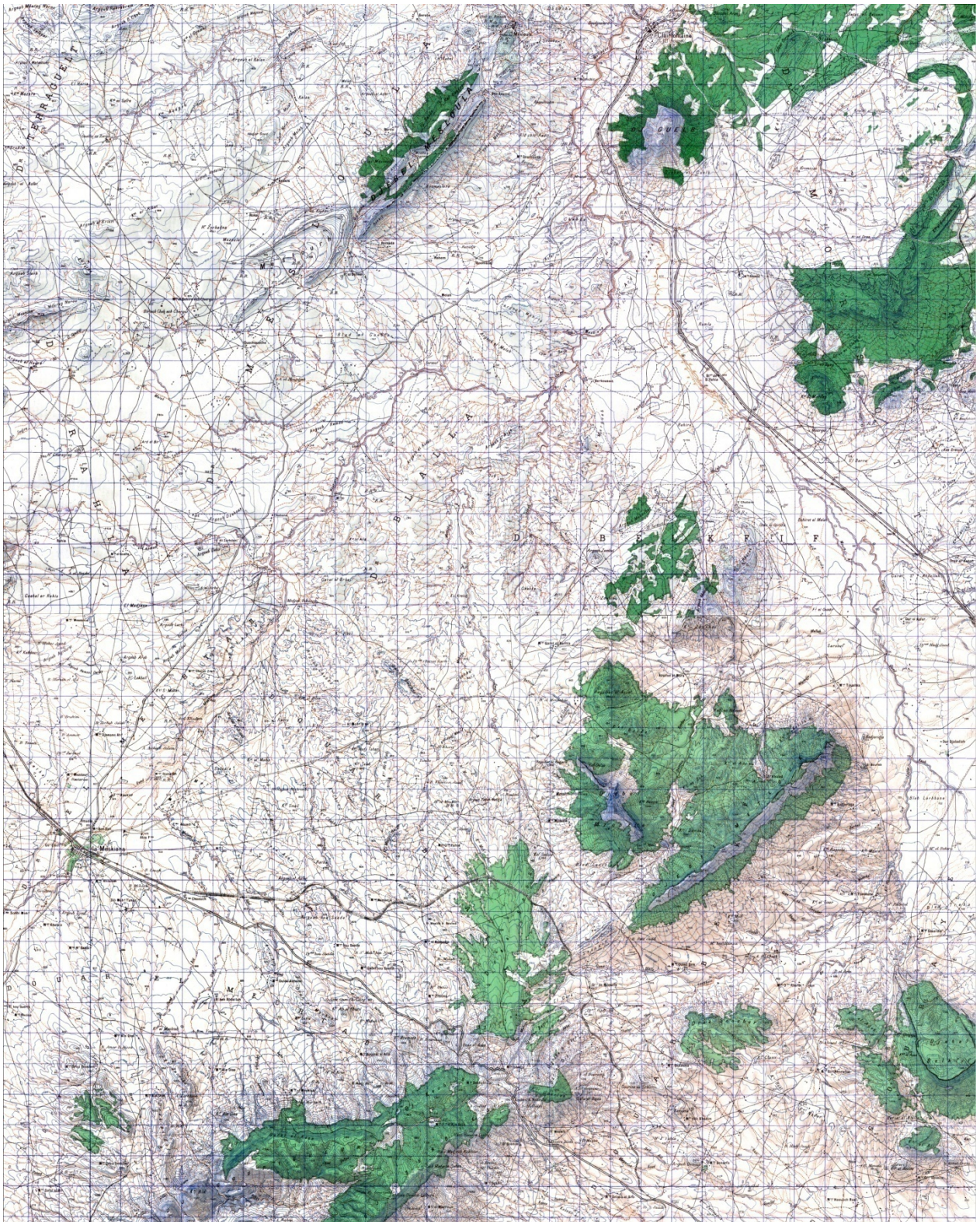


Figure 1.1 : la carte topographique au 1/50000
(Meskiana feuille n°177, Clairefontaine feuille n°150)



Chapitre 1 : **Géologie**

1.1. INTRODUCTION

La géologie du bassin de Meskiana a été étudiée par de nombreux géologues chercheurs. Ces travaux sur le bassin de Meskiana ont montré qu'il s'agit des terrains sédimentaires autochtones Nord-Aurésiens, qui se trouvent dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises. Ces formations sont constituées de terrains anciens représentés par le Trias à faciès lagunaire apparaissant en diapirs très importantes assises d'âge crétacé (marnes et calcaires), des grès et des calcaires gréseux marins formant la base du Miocènes, divers recouvrements continentaux d'âge Mio-Plio-Quaternaire.

1.2. DESCRIPTION LITHOLOGIQUE DES FORMATIONS

Deux grands ensembles représentent la lithostratigraphie du bassin de Meskiana :

- Le premier est constitué essentiellement par les formations crétacées et tertiaires qui affleurent dans les bordures ;
- Le second est formé, en général, par un recouvrement Mio-Plio-Quaternaire qui se dépose dans la plaine (Figure 1.2).

Ces deux ensembles constituent une série stratigraphique complète que nous allons décrire ci- après :

1.2.1. TRIAS

Le Trias est représenté par des masses chaotiques sans stratification (J.M. VILA, 1977), des cargneules jaunâtres, des dolomies noires, des calcaires, des gypses marneux et fibreux. Tous ces éléments sont couverts par des argilites vertes, marquant ainsi le Trias du constantinois. Ces roches triasiques forment des diapirs, qui sont partout en contact anormal avec les couches plus récentes. :

- Au Nord, à proximité d'El Aouinet, au niveau de Mesloula, Argoub Ezzitoun et Argoub El Houra.
- Au Nord-Est (Djebel Belkefif).

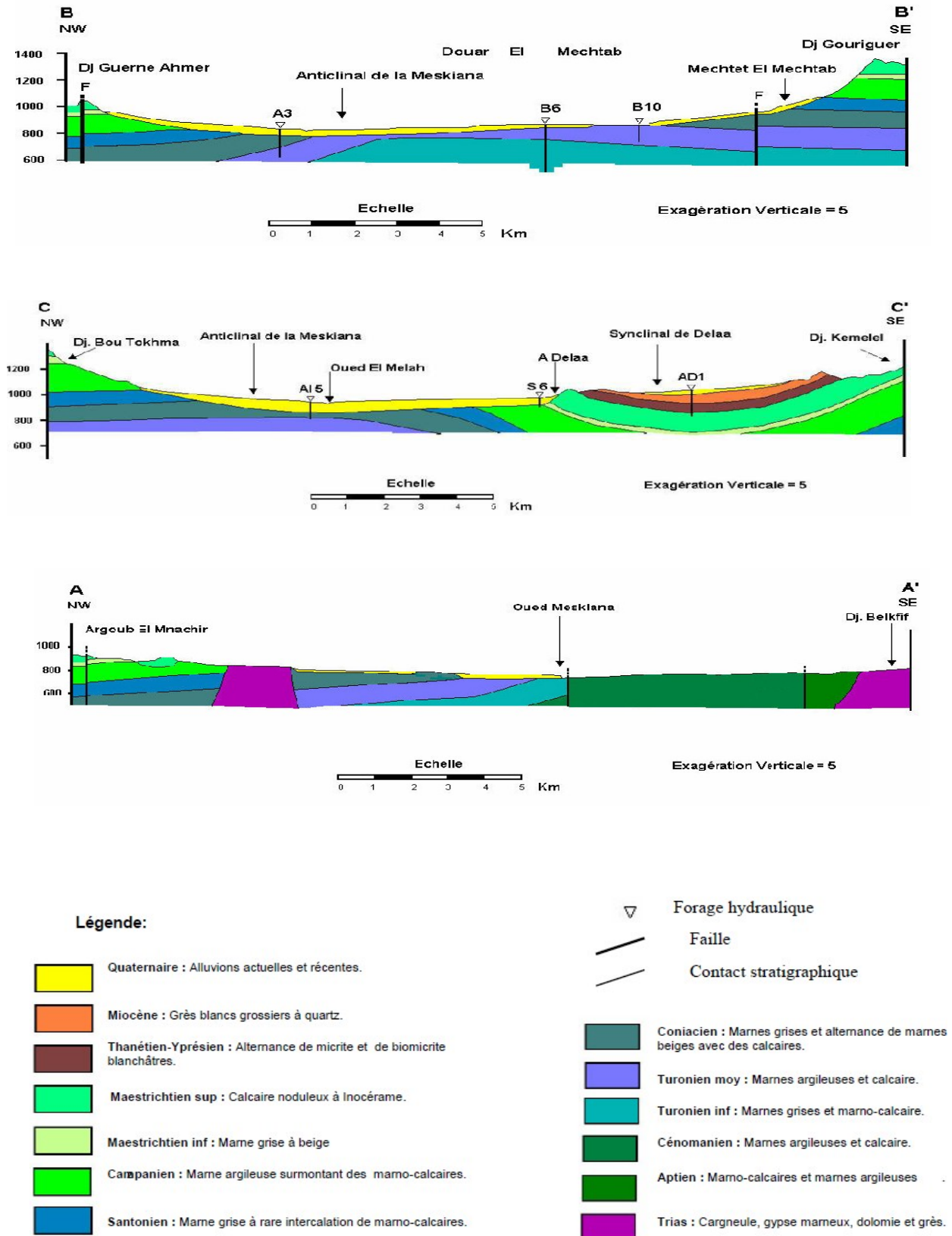


Figure 1.2 : Coupes géologiques dans le bassin de Meskiana. [1]

1.2.2. CRETACE

1.2.2.1. Aptien

Il s'agit de formations de dimensions assez réduites affleurant au Nord, qui sont en contact anormal avec des pointements triasiques, au niveau de Mesloul, Djebel Belkefif, Argoub Ezzitoun et Kodiat El Hadjel.

Les formations aptiennes comprennent deux faciès, le premier marno-calcaro-gréseux et le second à calcaires récifaux (DOZET, 1985). Les couches de l'Aptien sous récifal ne sont nulle part entièrement exposées. Les couches de l'Aptien post récifal de Mzouzia ont une puissance de 55 m.

Le faciès des calcaires récifaux comprend des calcaires gris à grains fins. La puissance des calcaires récifaux est de 10 m à 180 m.

1.2.2.2. Albien et Cénomaniens inférieurs

Ces formations sont observées au Djebel Belkefif et à Mesloul avec des épaisseurs très réduites, n'excédant pas 100 m. Ces formations : calcaires noirs en plaquettes, marnes argileuses gris (DOZET, 1985).

1.2.2.3. Cénomaniens moyens et supérieurs

Cet étage se présente à la limite Nord-Est de la plaine (région de Bellala), sous forme d'une série très puissante dont l'épaisseur varie de 600 m à 1000 m. Cette série est formée de marnes argileuses gris verdâtres et jaunâtres à plaquettes de calcite fibreuse.

1.2.2.4. Turonien

Il est observé au Nord-Est à Douar El Machtab et il est représenté par :

- Turonien basal : marnes grises, des marnes calcaires en plaquettes, des marno-calcaires, des calcaires marneux brunâtres avec une épaisseur pouvant atteindre 270 m.
- Turonien moyen et supérieur : sont représentés par des marnes beiges à grises, qui alternent avec des calcaires zoogènes noduleux.

1.2.2.5. Emschérien (Coniacien – Santonien)

Le long des bordures Est et Ouest, l'Emschérien se présente sous forme de marnes argileuses verdâtres à calcite fibreuse et des intercalations de marnes grises et de calcaires marneux.

- Le Coniacien est formé par des alternances de marnes beiges ou grises et des calcaires gris biodétritiques et grumeleux. L'épaisseur du Coniacien est de 90 m.
- Le Santonien se compose de marnes grises et de calcaires marneux à inocérames, avec une épaisseur d'environ 100 m.

1.2.2.6. Campanien

Il affleure sur les deux bordures occidentales, à Djebel Bou Thokma, et orientale, à Djebel Gourigueur.

- Le Campanien inférieur : composées essentiellement de marnes argileuses, calcaires crayeux gris et biomicrites, bien stratifiée avec de nombreuses intercalations de marnes. Les couches constituant le sommet du Campanien inférieur ont une épaisseur qui varie entre 45 m et 100 m.
- Le Campanien supérieur : Ces dernières sont surmontées par une série d'environ 130 m d'épaisseur constituée de marnes argileuses gris verdâtres.

1.2.2.7. Maestrichtien

Les calcaires maestrichtiens forment les monts du Djebel Gourigueur, Djebel Bou Tokhma et Djebel Garne Lahmar.

- Le Maestrichtien inférieur est marqué par une dominance marneuse : Ce sont des marnes gris-beiges. La série ne dépasse pas 40 m d'épaisseur.
- Le Maestrichtien supérieur est représenté par une formation calcaire. Signalons que l'épaisseur du Maestrichtien à Djebel Gourigueur est de l'ordre de 460 m.

1.2.3. PALEOGENE

1.2.3.1. Paléocène

Il est observé seulement à la limite orientale, entre Djebel Guerigueur et Djebel Serdies. Il est représenté par une série de 50 m de puissance, constituée de marnes gris foncées qui sont parfois argileuses.

1.2.3.2. Eocène

Il a été reconnu sur les flancs Est et Ouest du vaste anticlinal de Meskiana, notamment à Djebel Gourigueur et au synclinal d'Ain Dalâa. Il est caractérisé par :

- Des formations montiennes, constituant la base de l'Eocène. Se composent de marnes gris verdâtres ;
- Des formations thanétio-yprésiennes qui se disposent au dessus des formations précédentes. Elles se composent d'alternances de marnes gris beiges et de biomicrites finement gréseuses et noduleuses et en bancs

décimétriques. L'épaisseur des couches thanétio-yprésiennes est d'environ 200 m.

1.2.4. NEOGENE

1.2.4.1. Miocène

Les affleurements du Miocène sont de dimensions réduites et se répartissent dans la partie Nord de la plaine surtout à Mesloulâ, Argoub El Manchar, Argoub Ezzitoun, Kodiat El Agab, Kodiat Rehia et Kodiat Naga.

- Le Miocène inférieur : conglomérats avec des galets de calcaires maestrichtiens à ciment sableux.
- Le Miocène supérieur est représenté par le Tortonien qui affleure particulièrement à Kodiat Mami. Constituées de grès quartzeux malcementé à grains grossiers.

1.2.5. QUATERNAIRE

- Villafranchien : L'aspect le plus fréquemment rencontré est celui des croûtes calcaires massives et blanches.
 - Glacis polygéniques nappant les reliefs : Ces glacis s'étendent sur de grandes surfaces de la plaine en pente douce, il est constitué de croûtes calcaires massives.
 - Alluvions actuelles et récentes : Ces alluvions ont une extension limitée à la vallée de Meskiana. Elles sont constituées de limons et sables fins, de graviers et d'alluvions argileuses qui se déposent des deux côtés de cet Oued.
- [1]

1.3. HYDROGEOLOGIE ET STRATIGRAPHIE

L'examen de la série lithostratigraphique décrite plus haut permet d'identifier quelques formations perméables susceptibles d'être aquifères, présentant un intérêt hydrogéologique, et d'autres imperméables pouvant jouer le rôle de substratum imperméable :

1.3.1. Formations perméables

On peut citer :

- Les calcaires turoniens ;
- Les calcaires du Maestrichtien supérieur ;
- Les calcaires de l'Eocène, qui constituent le synclinal perché de Zoui- Ain Dalâa ;

- Les formations plio-quaternaires qui sont très perméables et se rapprochent progressivement de la surface du sol du Sud-Ouest au Nord-Est, suite à la remontée du substratum. [1].

1.3.2. Formations imperméables

On peut citer :

- Les marnes aptiennes-albiennes ;
- Les marnes cénomaniennes ;
- Les marnes emscheriennes ;
- Les marnes campaniennes ;
- Les marnes du Maestrichtien inférieur ;
- Les marnes montiennes ;
- Les marneux calcaires. [1]

1.4. Aperçu Tectonique

La plaine de Meskiana appartient à l'Atlas saharien (J.M. VILA, 1980). Tels que les plis de direction NE-SW et les dislocations qui ont souvent un cours transversal à la direction de ces plis, qui se sont survenues sous l'influence de la tectonique diapirique. La période crétacée a été. On cite une subsidence continue au Sud du bassin et les soulèvements relatifs de quelques parties septentrionales de ce dernier. (Figure 1.4)

Entre le Crétacé et le Miocène, deux principales phases tectoniques ont eu lieu pour former de nombreuses structures :

- La première phase, de vastes plissements se sont produits en donnant naissance aux anticlinaux et synclinaux suivants : les plis de l'Oued Smara, El Houd, le synclinal de Djebel Belkefif, le synclinal de KodiatZennbaï, le synclinal de Reguibet El Assel, le synclinal de Djebel Gourigueur et l'anticlinal de Kessar El Tir.
- La phase des plissements fut suivie de la phase de la tectonique cassante où de nombreuses fortes failles et dislocations longitudinales et transversales sont survenues, telles que celle de Djebel Gourigueur Ain Dalâa, dont le rôle du point de vue hydrogéologique semble très important.

Le fossé tectonique de Morsott est d'âge post-Miocène, il a un cours perpendiculaire à la direction des plis.

Les diapirs forment les noyaux des anticlinaux et peuvent également remplir les fractures les plus importantes. Ils ont été en action au Crétacé, au Miocène, au Pliocène et probablement au Quaternaire ancien. [1]

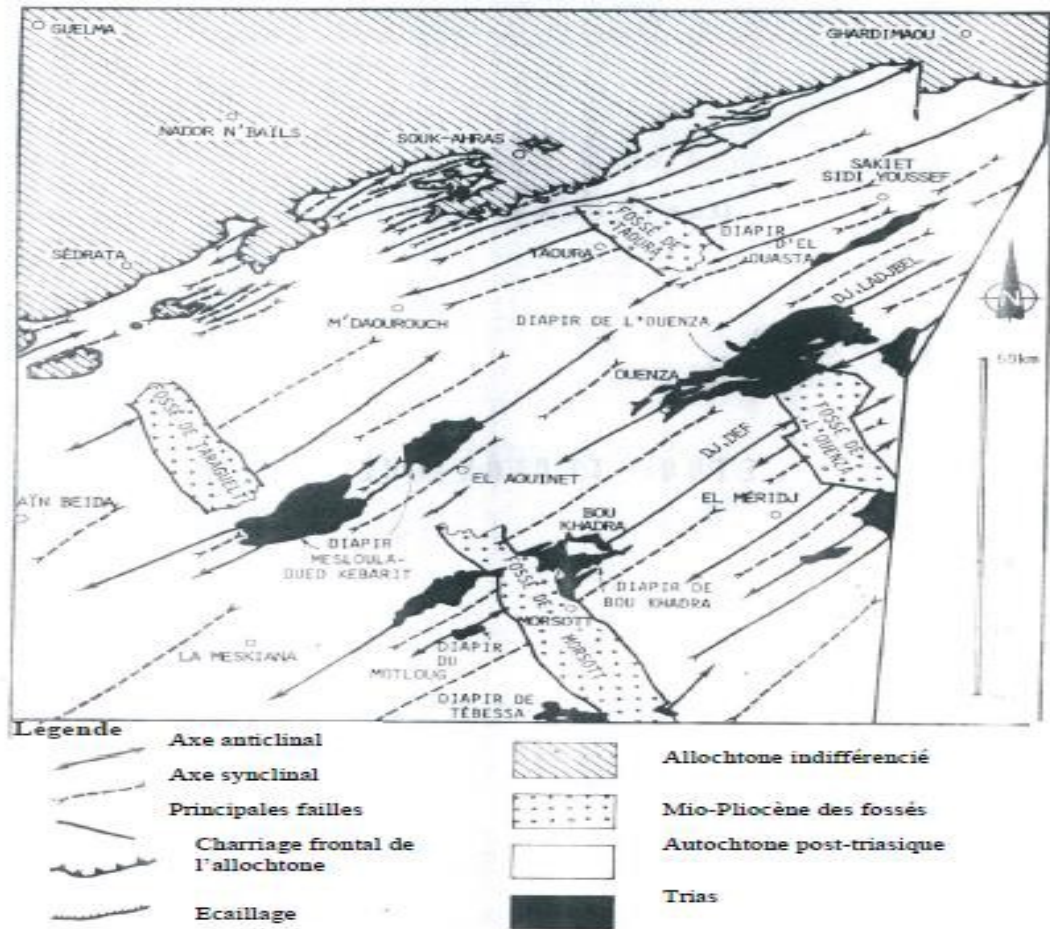


Figure 1.3 : Esquisse tectonique de la région de Meskiana, J.M. VILA (1980).

1.5. CONCLUSION

D'après l'aperçu général et l'étude géologique du bassin de Meskiana nous a permis de dégager les constatations suivantes. Le bassin de Meskiana est constitué de formations sédimentaires autochtones nord-aurésiennes qui se trouvent dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises. Des terrains anciens représentés par le Trias apparaissant en diapirs (ex : Djebel Mesloula et Djebel Blkfif), d'importantes assises d'âge crétacé (Aptien et Maestrichtien) formées des marnes et des calcaires.



Chapitre 2 :
Hydroclimatologie

2.1. INTRODUCTION

Le Bassin versant d'alimentation pour une section droite d'un cours d'eau est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et tous ses affluents en amont de la dite section. Tous les écoulements qui prennent naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée.

Le bassin versant de l'Oued Meskiana jusqu'à la section du barrage de Chebabta a une surface de 1353.76 km².

L'Oued Meskiana dont la direction d'écoulement est SW-NE. Le bassin se caractérise par une grande dissymétrie entre la partie amont sud constituée de montagnes et l'altitude dépasse les 1539.59 m, avec des pentes longitudinales et transversales très fortes et la partie aval ces reliefs laisse la place à une vaste plaine d'épandage à cotes au-dessus de 691.9 m.

L'Oued Meskiana draine toute la partie Sud du bassin et il est le plus important affluent.

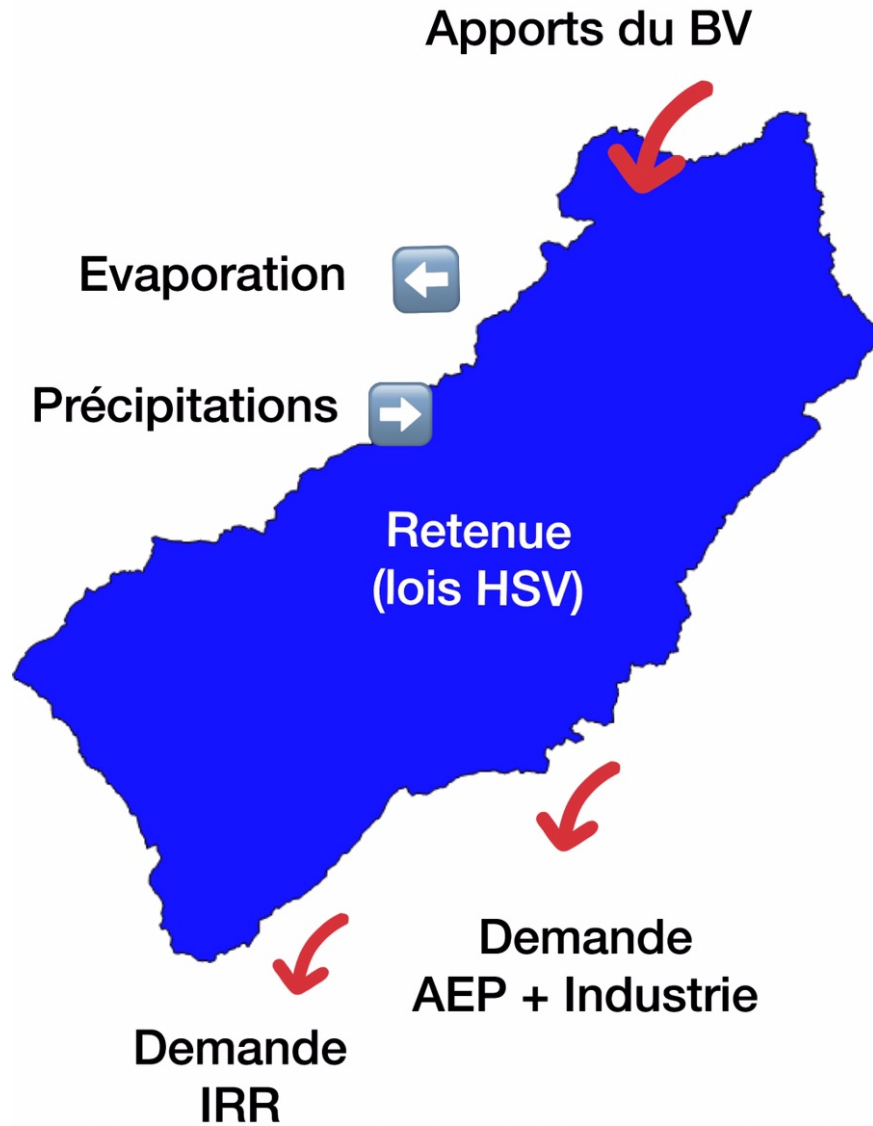


Figure 2.1 : Bilan des entrées/sorties

- (Lois HSV) : Lois Hauteur-Surface-Volume
- Demande AEP et industrie,
- Demande agricole (irrigation).

2.2. Caractéristiques morphométriques du BV

L'utilisation des différents types de paramètres morphologiques a pour but la quantification des facteurs caractéristiques du milieu physique du bassin.

2.2.1. Délimitation et périmètre du bassin

L'exactitude du périmètre du bassin versant dépend de l'échelle de la carte et de la densité du réseau hydrographique. Ces derniers s'obtiennent directement sur la carte topographique par planimétrie des surfaces et curvimétrage des longueurs. Actuellement, des logiciels de CAO, DAO et de GIS permettent de gagner en temps et en précision.

L'utilisation de la carte topo de la Meskiana El Aouinet (1/50000) et le logiciel informatique Autocad ont permis l'estimation de la surface et le périmètre du bassin qui sont respectivement 1353.76 Km² et 221.88 km.

2.2.2. Indice de compacité de GRAVELIUS (Kc)

La forme d'un bassin influence l'écoulement global et l'allure de l'hydrogramme d'une pluie donnée.

Le coefficient ou indice de compacité de GRAVELIUS exprime l'allongement ou la concentration d'un bassin versant, il est égal au rapport du périmètre à celui d'un cercle qui aurait la même surface. [7]

$$Kc = \frac{0.28 \times P}{\sqrt{A}}$$

$$Kc = \frac{0.28 \times 221.88}{\sqrt{1353.76}} = 1.69$$

D'où le bassin versant à une forme allongée.

2.2.3. Rectangle équivalent

C'est une notion introduite pour pouvoir comparer les bassins entre eux de point de vue de l'influence de la forme sur l'écoulement. On suppose que l'écoulement sur un bassin donné est le même que sur un rectangle de même superficie, de même indice de compacité, même répartition hypsométrique, etc... [7]

Soit : l : largeur du rectangle équivalent (km);
 L : longueur du rectangle équivalent (km) ;
 A : surface du bassin versant (km²);
 P : périmètre du bassin versant (km).

$$L = \frac{Kc \times \sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right)$$

$$L = 97.14 \text{ Km}$$

$$l = \frac{Kc \times \sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right)$$

$$l = 13.32 \text{ Km}$$

2.2.4. Réseau hydrographique et caractères morphométriques

De cet ensemble, on peut déterminer les caractéristiques de la forme du réseau hydrographique, dont les principales sont :

- La densité du drainage ;
- Le profil en long ;
- Rapport en long ;
- Rapport de confluence. [7]

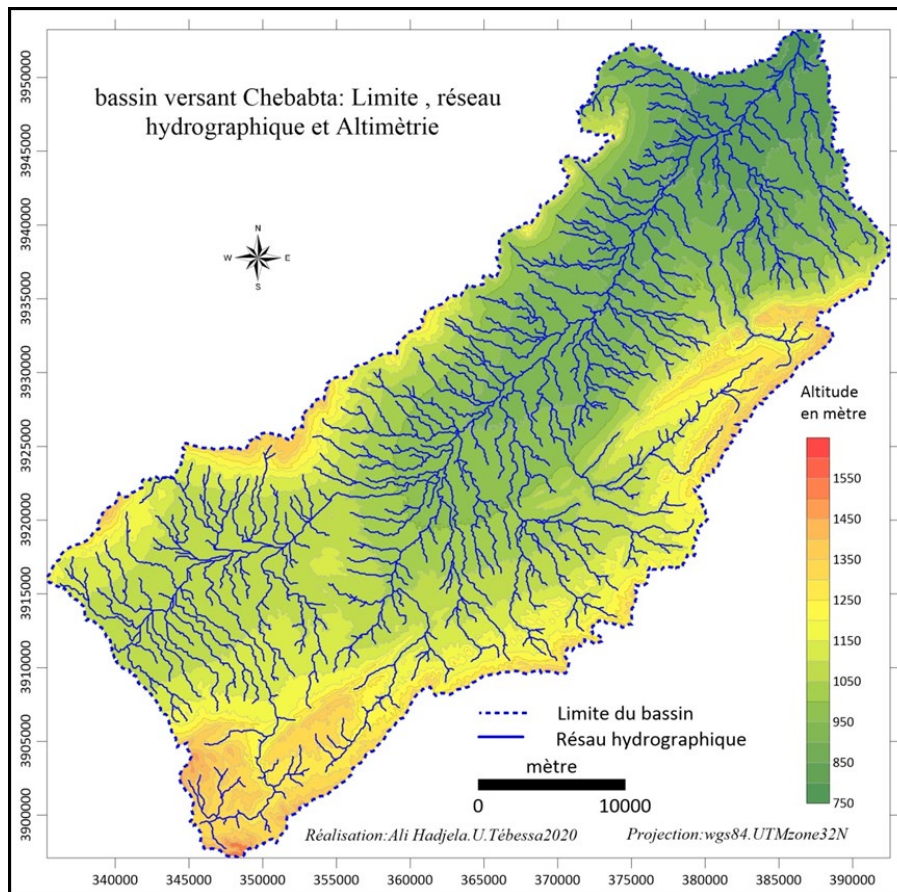


Figure 2.2 : Photo du logiciel MNT pour la délimitation du Bassin Versant d'Oued Meskiana et ses affluents

Ce MNT est une expression numérique de la topographie, sous forme matricielle ou vectorielle. Les fichiers qui le constituent sont les pentes, l'orientation et l'éclairage simulé.

2.2.5. Les indices de pente

2.2.5.1. Pente moyenne des sous bassins I_m

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante.

$$I_m = \frac{\Delta H (0.5I_1 + I_2 + I_3 + \dots + 0.5I_n)}{S}$$

$$I_m = 0.0851$$

2.2.5.2. Indice de pente globale I_g

Cet indice permet de déduire la nature du relief en se référant à la classification de L'O.R.S.T.O.M (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre - Mer).

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_5 - H_{95}}{L}$$

Avec :
 D : Dénivelée entre H5% et H95% (m) ;
 L : longueur du rectangle équivalent (Km) ;
 H5% et H95% : sont respectivement Les altitudes correspondantes à S5% et S95%

$$I_g = 5.14\text{m/Km}$$

Cela n'implique que le relief du bassin versant est un relief très fort ($0.1 < I_g$ –selon O.R.S.T.O.M), (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre - Mer).

2.2.5.3. Dénivelée spécifique D_s

$$D_s = I_g \times \sqrt{S}$$

Avec :
 I_g : Indice de pente globale ; (m/km)
 S : superficie du bassin versant ;(km²)
 D_s : Dénivelée spécifique (m)

$$D_s = 189.10\text{m}$$

Cela n'implique que le relief du bassin versant est un relief assez fort ($100\text{m} < D_s < 250\text{m}$ –selon O.R.S.T.O.M), (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre - Mer).

2.2.5.4. La densité de drainage

Elle est définie comme étant le rapport de la longueur totale (de tous ordres) à la surface drainée, soit :

$$Dd = \frac{L}{A} = \frac{\sum Li}{A}$$

Avec :

- Dd : densité de drainage [km/km^2];
- Li : Somme des longueurs de tous les thalwegs y compris le thalweg principal [km];
- S : superficie du bassin versant [km^2].

$$Dd = 0.071 \text{Km}/\text{Km}^2$$

2.2.6. Profil en long de l'Oued Meskiana

Le profil en long de la cour d'eau principal de l'Oued Meskiana et ses principaux affluents permet d'apporter des éléments complémentaires à la densité de drainage, (Figure 2.3) Pour tracer le profil en long d'un cours d'eau, on porte sur un graphique, en abscisse la distance d'un point de la rivière à l'exutoire et en ordonnée l'altitude de ce point. [7]

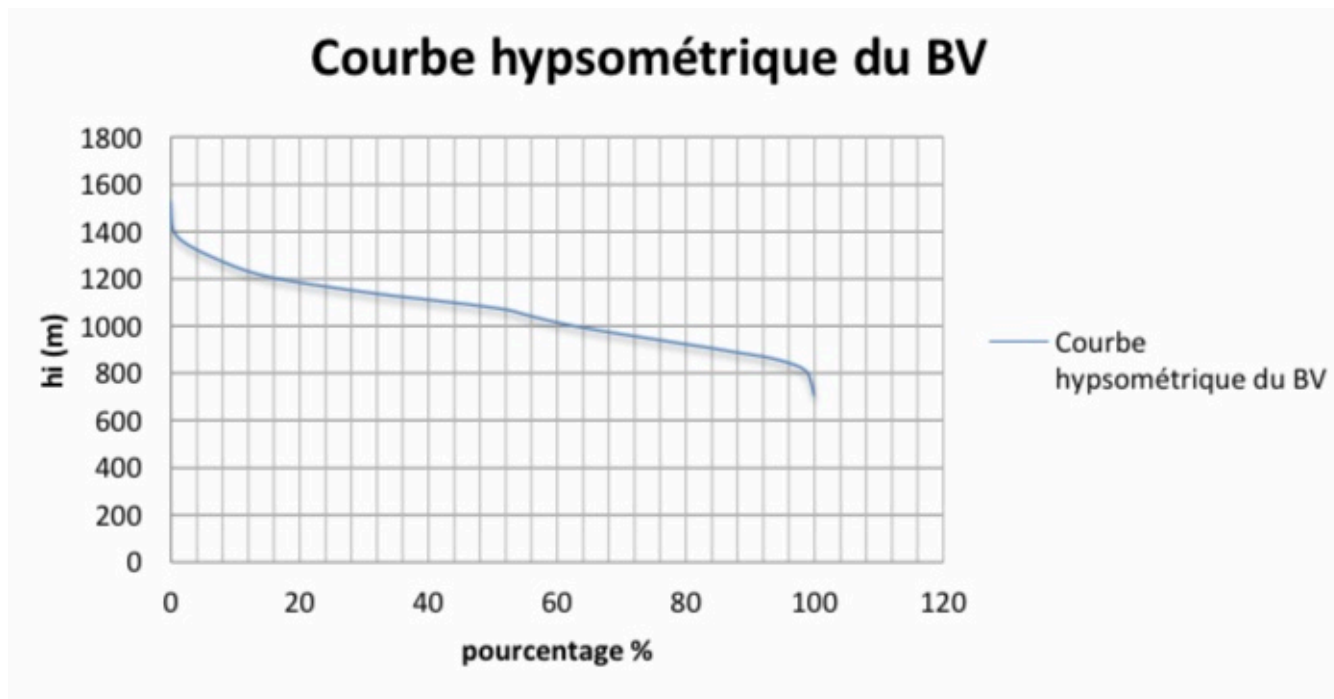


Figure 2.3 : Courbe hypsométrique et profil en long ajusté

Tableau 2.1 : Répartition en pourcentage de la surface élémentaire du bassin versant. [8]

Tranche d'altitude		Δhi	Hi	S(Km ²)	23Surfa ce Partielle %	Cumulé %	Pourcentage au-dessus de la limite inférieure
691.9	720	28.1	705.95	6.12	0.2082	0.2082	100
720	740	20	730	5.48	0.1864	0.3947	99.7918
740	760	20	750	5.49	0.1867	0.5814	99.6053.
760	780	20	770	6.75	0.2296	0.8109	99.4186
780	800	20	790	14.44	0.4915	1.3024	99.1891
800	820	20	810	34.28	1.1665	2.4689	98.6976
820	840	20	830	63.17	2.1496	4.6185	97.5311
840	860	20	850	89.72	3.0531	7.6716	95.3815
860	880	20	870	134.58	4.5794	12.2511	92.3284
880	900	20	890	126.59	4.3077	16.5588	87.7489
900	920	20	910	142.62	4.8532	21.4120	83.4412
920	940	20	930	136.22	4.6354	26.0474	78.5880
940	960	20	950	139.01	4.7302	30.7776	73.9526
960	980	20	970	128.09	4.3585	35.1361	69.2224
980	1000	20	990	113.29	3.8550	38.9910	64.8639
1000	1020	20	1010	93.16	3.1700	42.1610	61.0090
1020	1040	20	1030	84.64	2.8802	45.0412	57.8390
1040	1060	20	1050	83.16	2.8296	47.8708	54.8390
1060	1080	20	1070	152.97	5.2051	53.0760	52.1292
1080	1100	20	1090	183.34	6.2387	59.3147	46.9240
1100	1120	20	1110	188.07	6.3996	65.7143	40.6853
1120	1140	20	1130	165.09	5.6176	71.3319	34.2857
1140	1160	20	1150	148.89	5.0663	76.3982	28.6681
1160	1180	20	1170	139.72	4.7545	81.1527	23.6018
1180	1200	20	1190	110.26	3.7520	84.9047	18.8473
1200	1220	20	1210	82.45	2.8056	87.7103	15.0953
1220	1240	20	1230	62.11	2.1133	89.8236	12.2897
1240	1260	20	1250	53.82	1.8313	91.6549	10.1764
1260	1280	20	1270	49.28	1.6770	93.3319	8.3451
1280	1300	20	1290	48.00	1.6334	94.9652	6.6681
1300	1320	20	1310	41.94	1.4271	96.3923	5.0348
1320	1340	20	1330	37.04	1.2606	97.6529	3.6077
1340	1360	20	1350	28.77	0.9790	98.6319	2.3471
1360	1380	20	1370	19.23	0.6545	99.2864	1.3681
1380	1400	20	1390	11.16	0.3796	99.6660	0.7136
1400	1420	20	1410	4.92	0.1674	99.8334	0.3340
1420	1440	20	1430	2.34	0.0797	99.9131	0.1666
1440	1460	20	1450	1.37	0.0465	99.9596	0.0869
1460	1480	20	1470	0.66	0.0224	99.9821	0.0404
1480	1500	20	1490	0.31	0.0104	99.9924	0.0179
1500	1520	20	1510	0.13	0.0045	99.9969	0.0076
1520	1539.6	19.59	1529.795	0.09	0.0031	100	0.0031

Avec :

 Δhi : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives en(m) ;Si : surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives en (km²).

2.2.7. Temps de concentration

C'est le temps que met une particule d'eau tombant sur le point le plus éloigné à l'exutoire, il s'exprime par la formule empirique de Giandotti (Italie) [8] :

$$T_c = \frac{(4\sqrt{A} + 1.5 \times L)}{0.8\sqrt{H}}$$

Soit : A : Surface du bassin versant = km²

L : Longueur du talweg principal = km

H = H_{moy} - H_{min} = m

Donc :

$$T_c = 19 \text{ Heures } 21 \text{ min}$$

Tableau 2.2: caractéristiques hydro-morpho-métriques de bassin versant

Paramètre	Symbole	Valeur
Superficie (Km ²)	S	1353.76
Périmètre (Km)	P	221.88
Indice de compacité	Kc	1.69
Longueur du rectangle équivalent (Km)	L	97.14
Largueur du rectangle équivalent (Km)	L	13.32
Altitude max (m)	H _{max}	1539.59
Altitude min (m)	H _{min}	691.9
Altitude moy (m)	H _{moy}	1054.99
Dénivelée spécifique (m)	Ds	189.10
Indice de pente globale (m/Km)	Ig	5.14
Densité de drainage (Km/Km ²)	Dd	0.071
Temps de concentration (h)	Tc	19h 21min

2.3. Caractéristiques Climatiques

Les Données Climatiques Fondamentales & Ecoulement Fluvial de l'Oued Meskiana, sont rares et celles qui existent nous sont inaccessibles, pour plusieurs raisons :

1. Absence de stations s'observation proches du site ;
2. La station la plus proche, celle de Meskiana, présente plusieurs lacunes ;
3. Et l'état de siège, lié à la pandémie de COVID-19 a encore compliqué l'accès au service concernés et ainsi, l'acquisition des données.

On attire, tout d'abord, l'attention que les données climatiques sont rares et qui ont fait retarder ce travail énormément, et ce par le manque des stations d'une part, des ruptures d'enregistrement, et la période de corona virus (quarantine).

Les données de la station météorologique de la Meskiana gérée par l'office national de la météorologie, (dont les coordonnées sont : $X = 949.7$ et $Y = 271$ et Altitude = 860m.) a servi pour l'évaluation des facteurs du bilan.

2.3.1. La température

Les données disponibles (Tableaux 2.2), malgré leurs brièvetés font ressortir des oscillations thermiques très significatives, présentant un climat semi aride avec un été chaud et un hiver froid.

2.3.1.1. Variations des températures moyennes annuelles

La figure (2.4) représente la variation annuelle de la température, sur une période de 21 ans (1998/1999-2018/2019), montre que l'année la plus chaude est l'année (2018/2019) avec une moyenne de 17.08°C , et l'année la plus froide est l'année (2009/2010), avec une moyenne de 14.5°C .

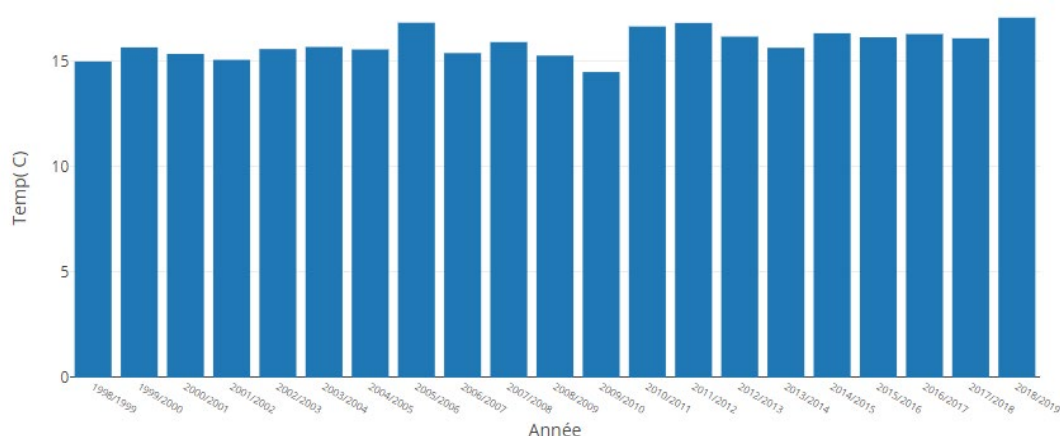


Figure 2.4 : Evolution de la température moyenne annuelle à la station de Meskiana pour la période (1998/1999-2018/2019).

2.3.1.2. Variations de la température moyenne mensuelle

L'analyse de la courbe de variation de la température moyenne mensuelle, sur une période de 21 ans (1998/1999-2018/2019), montre que les valeurs les plus élevées sont observées pendant l'été (juin - septembre) avec des températures allant de 21.81 à 23.38°C. Les valeurs les plus basses, qui varient de 7.64 à 13.48°C, sont observées durant la période hivernale (décembre – avril), avec un minimum pendant le mois de janvier (6.3°C) et le maximum dans le mois de juillet (26.54°C).

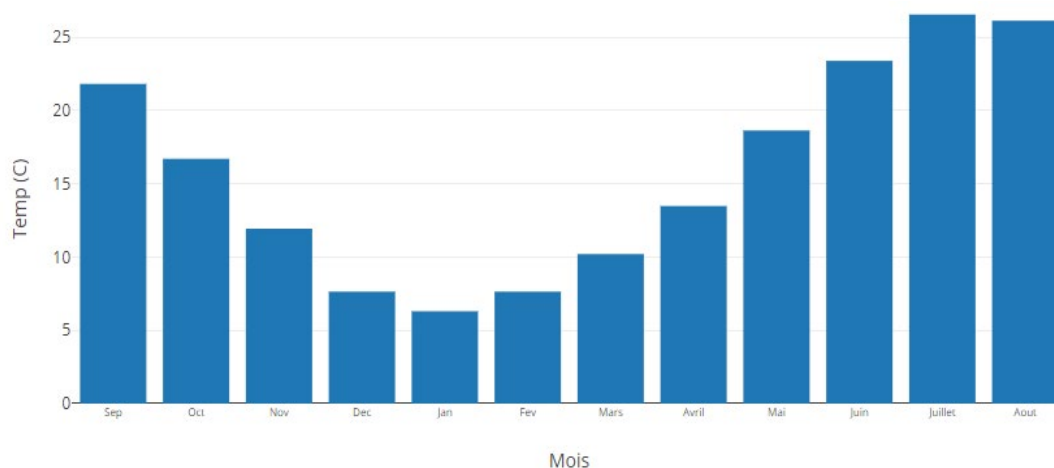


Figure 2.5 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station de Meskiana pour la période (1998/1999-2018/2019).

2.3.2. La pluviométrie

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable en hydro climatologie, car elle nous donne une description du régime pluviométrique d'une

part et le régime d'écoulement d'autre part, elle nous renseigne également sur l'alimentation des eaux souterraines.

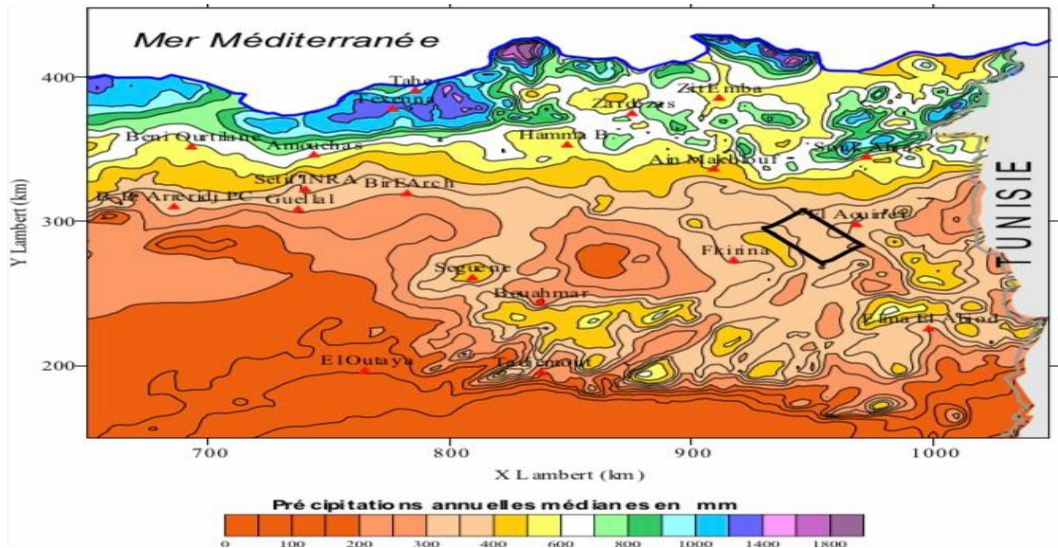


Figure 2.6 : Carte des précipitations annuelles médianes de l'Est algérien (1972/1973- 1983/1984). [9]

2.3.2.1. Variations interannuelles des précipitations

Les apports liquides du bassin versant sont issus du rapport hydrologique. Ils sont présentés en (Figure 2.7) sous la forme d'apports annuels.

L'analyse de l'histogramme des variations interannuelles des précipitations, sur une Période de 21 ans (1998/1999 - 2018/2019), montre que l'année (2007/2008) est la plus pluviale avec 444.85 mm et l'année (2011/2012) est la plus sèche avec 269 mm.

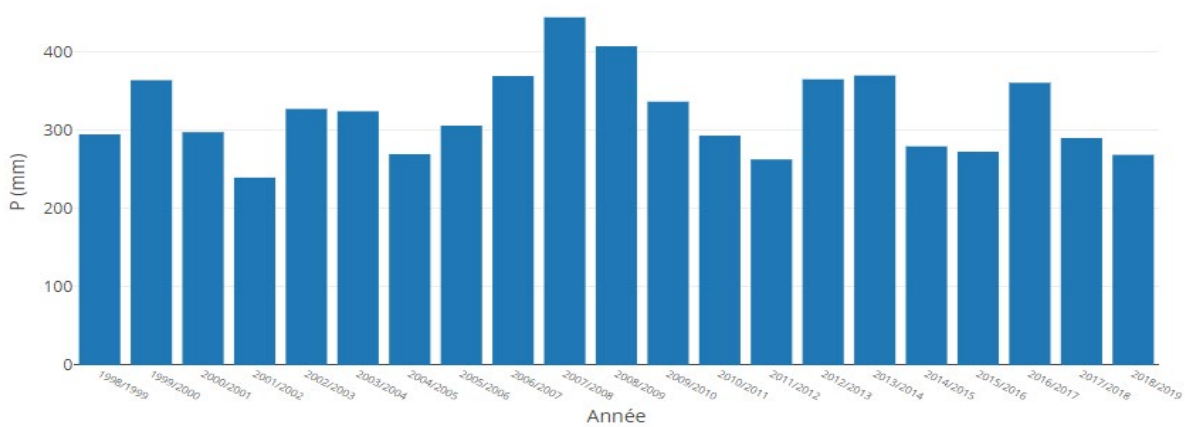


Figure 2.7 : Evolution de la précipitation moyenne annuelle à la station de Meskiana pour la période (1998/1999-2018/2019).

2.3.2.2. Variations mensuelles des précipitations

La figure (2.8) des variations des moyennes mensuelles des précipitations, sur une période de 21 ans (1998/1999-2018/2019), montre que le mois de Septembre est le plus pluvieux, avec 38.72 mm, alors que le mois de juillet est le plus sec, avec 10.07mm.

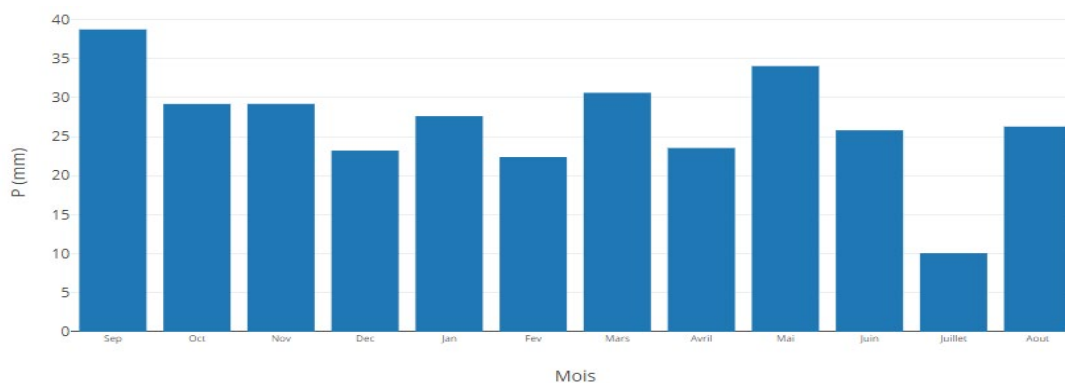


Figure 2.8 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Meskiana pour la période (1998/1999-2018/2019)

2.3.3. Le régime des vents

Du fait de l'absence totale des stations anémométriques dans le bassin versant. La figure (2.9) présenté l'évolution du régime des vents avec direction SW-NE, montre que le mois d'avril le plus élevé des vents.

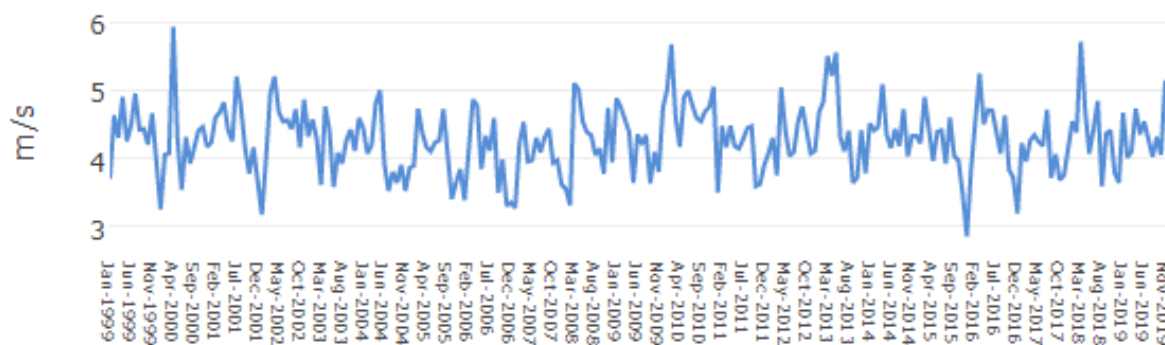


Figure 2.9 : Evolution du régime des vents mensuels interannuelle à la station de Meskiana pour la période (1998/1999-2018/2019).

2.3.4. L'Humidité (H %)

Elle est assez importante dans les régions élevées du sud du bassin couvert et décroît progressivement au nord du bassin dénudé. Montre que les mois septembre-janvier les plus élevés du taux d'humidité.

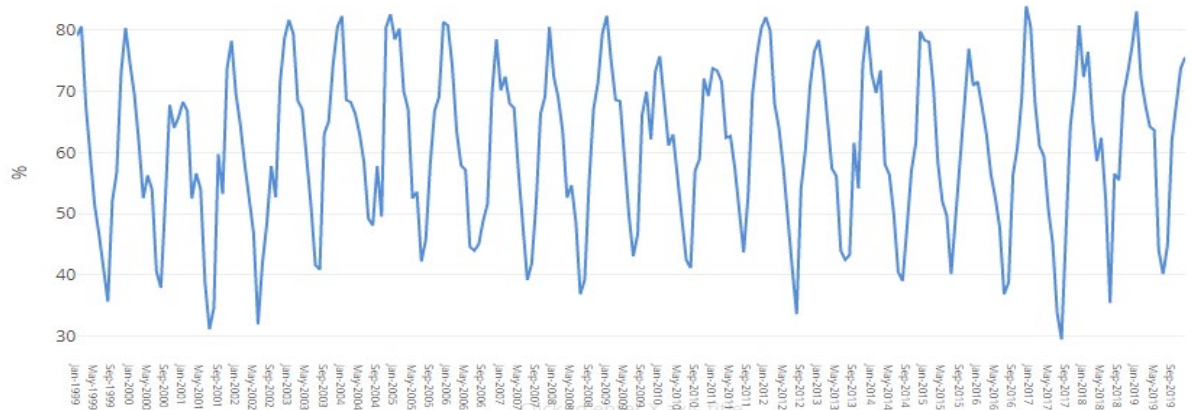


Figure 2.10 : Evolution mensuelle interannuelle du Taux d'humidité (%) à la station de Meskiana pour la période (1998/1999-2018/2019).

2.3.5. L'évaporation

La construction d'une retenue exige la connaissance de l'évaporation à la surface libre de l'eau. Les observations sur l'évaporation dans le bassin versant de l'oued Meskiana n'ont pas eu lieu.

Les pertes par évaporation ont été définies à l'aide des données d'observations fournies par les postes évaporimétriques à l'aide de bacs de Colorado au voisinage du bassin.

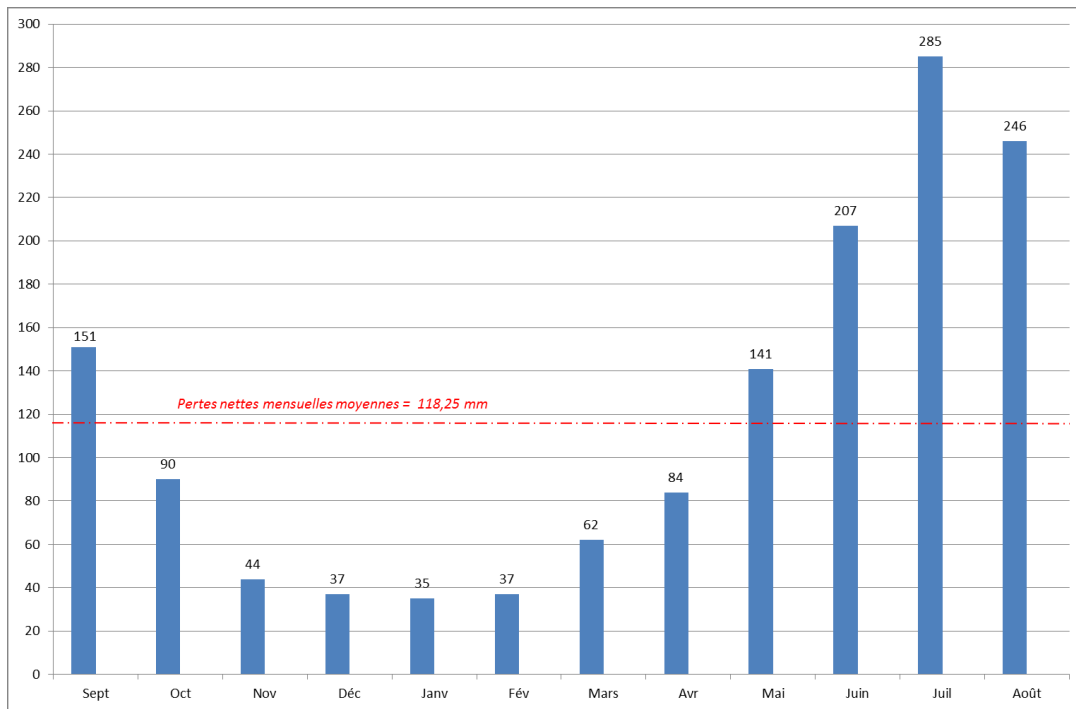


Figure 2.11 : Pertes nettes par évaporation (en mm) – site de Chebabta – Chronique mensuelle. [6]

2.3.6. Bilan hydrologique

Le bilan Hydrologique exprime le processus que suit une quantité d'eau arrivant au sol par précipitation ou neige avant retourner à l'atmosphère. Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante [10] :

$$P = ETR + R + I + (\pm \Delta W)$$

Où : ETR : l'évapotranspiration annuelle (mm),

I : infiltration (mm),

P : précipitation (mm),

R : ruissellement (mm),

ΔW : La variation des réserves d'eau (mm).

2.3.6.1. Estimation des paramètres du bilan hydrologique

2.3.6.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)

L'ETP correspond à l'évaporation au niveau d'un plan d'eau qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale

permise par les conditions climatiques [11]. Il est fonction de la température et de l'altitude du lieu considéré, calculé par plusieurs formules et la plus utilisée est celle de Thornthwaite (1948) [12] :

$$ETP = 16 \left[10 \frac{t}{I} \right]^a$$

Où : ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle en (mm) ;

t : température moyenne mensuelle en (°C) ;

I : Indice thermique annuel ;

$$\text{Avec : } I = \sum i$$

Où : i : indice thermique mensuel

$$i = \left[\frac{t}{5} \right]^{1.514}$$

Où : a : exposant climatique donné par serra en 1954 [13].

$$a = 0.016I + 0.5$$

Les valeurs de l'ETP calculées par la méthode de C.W. THORNTHWAITE sont pour plusieurs auteurs surestimées dans les régions tropicales humides et équatoriales et sous estimées dans les régions arides et semi-arides, est multipliée par un facteur de correction K, qui est en fonction du temps, du mois et de la latitude du lieu. Le calcul est reporté sur le (Tableau 2.3).

$$ETP_c = K \times ETP$$

Où : ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle (mm),

ETP_c : évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée (mm),

K : facteur de correction (climat semi-aride).

Tableau 2.3: Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T (°C)	21.81	16.7	11.93	7.64	6.3	7.64	10.2	13.48	18.63	23.38	26.54	26.12	15.86
i	9.30	6.20	3.73	1.90	1.41	1.90	3.34	4.48	7.33	10.33	12.52	12.21	/
$I = \sum i$	74.65												/
A	1.69												/
ETP (mm)	97.55	62.13	35.19	16.57	11.96	16.57	27.12	43.26	74.75	109.72	135.93	132.32	/
K	1.03	0.97	0.85	0.83	0.87	0.84	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	/
ETPc (mm)	100.47	60.26	29.91	13.75	10.40	13.92	27.93	47.59	90.45	133.86	168.55	153.49	850.58

2.3.6.1.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Les pertes d'eau d'un sol atteignent l'ETP si elles sont supérieures ou égales au stock d'eau de la réserve facilement utilisable (RFU) par les plantes. En cas d'insuffisance elles sont limitées à une quantité plus petite, cette limite est appelée l'évapotranspiration réelle [14]. Pour l'estimation de l'ETR, on a utilisé plusieurs formules et méthodes qui utilisent la température et les précipitations.

a. Formule de Turc [15]

Cette formule est applicable à tous les climats du globe. Elle fait intervenir les précipitations et les températures moyennes annuelles.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left[\frac{P}{L}\right]^2}}$$

Où : ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T : température moyenne annuelle (°C).

$$ETR = 316.21 \text{ mm}$$

b. Formule de Coutagne

Elle tient compte de la pluviométrie et de la température également :

$$DE = P - \lambda P^2 \quad \text{avec} \quad \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T} = 0.33$$

λ : paramètre dépendant de la température ;

Où : DE : Déficit d'écoulement en (m/an) ;

P : précipitation moyenne annuelle en (m) = 0.32064 m ;

T : température moyenne annuelle en (°C) = 15.86°C.

Cette formule est valable pour P (en mètre) comprise entre $1/8\lambda$ et $1/2\lambda$. Pour le cas de Chebabta, cette condition est vérifiée $0.28 < 0.321 < 1.5$

Elle donne une valeur DE = 0.287 m/an donc ETR = 287 mm, soit 78% des précipitations. Le (tableau 2.6) montre les valeurs de l'ETP et l'ETR calculés par les différentes méthodes où on remarque une nette différence entre les résultats.

Tableau 2.4: Tableau récapitulatif des valeurs de l'ETR et de l'ETP à la station de Chebabta (1999-2019).

Paramètres	Méthodes	Valeurs (mm)
ETP (mm)	THORNTHWAITE	850.58
ETR (mm)	TURC	316.21
	COUTAGUE	287
	THORNTHWAITE	308.82

2.3.6.2. Calcul du bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite

Le calcul du bilan hydrique permet de qualifier les transferts d'eau issue des précipitations, et convient de caractériser l'état du sol en humidité.

Cette méthode du bilan, établi mois par mois, est basée sur la notion de RFU. On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau qui peut être reprise par l'évaporation par l'intermédiaire des plantes. La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm, suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 26 mm). [1]

Le bilan hydrologique établi mensuellement selon la méthode de Thornthwaite (Tableau 2.5) a l'avantage d'estimer pour chaque mois : l'évapotranspiration réelle (ETR), la réserve facilement utilisable (RFU), le déficit agricole (Da) et l'excédent (Ex).

Tableau 2.5 : Bilan d'eau selon Thornthwaite pour la station de Chebabta (1999-2019).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T (°C)	21.81	16.7	11.93	7.64	6.3	7.64	10.2	13.48	18.63	23.38	26.54	26.12	15.86
P (mm)	38.72	29.18	29.19	23.21	27.62	22.38	30.61	23.54	34.03	25.81	10.07	26.28	320.64
ETPc (mm)	100.47	60.26	29.91	13.75	10.40	13.92	27.93	47.59	90.45	133.86	168.55	153.49	850.58
RFU (mm)	0	0	0	9.46	26	26	26	1.95	0	0	0	0	/
ETR (mm)	38.72	29.18	29.19	13.75	10.40	13.92	27.93	47.59	35.98	25.81	10.07	26.28	308.82
DA (mm)	61.75	31.08	0.72	0	0	0	0	0	54.47	108.05	158.48	127.21	541.76
EX (mm)	0	0	0	0	0.68	8.46	2.68	0	0	0	0	0	11.82
Ecoulement	0.021	0.01	0.005	0.002	0.34	4.23	1.34	0.67	0.335	0.167	0.084	0.042	3.016

2.3.6.2.1. Estimation du bilan d'eau

Le bilan d'eau peut être estimé à partir de l'expression générale du bilan hydrologique qui exprime l'égalité des apports et des pertes :

$$P = ETR + R + I + (\pm \Delta W)$$

Avec : P : précipitation moyenne annuelle en (mm);

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm) ;

R : La lame d'eau ruisselée en (mm) ;

I : L'infiltration en (mm) ;

ΔW : La variation des réserves d'eau en (mm).

2.3.6.2.2. Les différentes composantes du bilan

a- Le ruissellement

Le ruissellement correspond à la part des précipitations qui s'écoule directement sur le sol lors des précipitations. On peut le déterminer par l'analyse de l'hydrogramme d'un cours d'eau, ou à l'aide des méthodes empiriques. Parmi ces méthodes, il y a celle de Tixeront et Berkaloff qui permet d'étudier le ruissellement moyen annuel. Cette équation reste discutable vu qu'elle ne tient pas compte de l'influence de la perméabilité du terrain et sa nature lithologique. [10] L'équation s'écrit comme suite :

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

Où :

R : le ruissellement moyen annuel en (mm)

P : la hauteur des précipitations annuelles en (mm)

ETP : l'évapotranspiration potentielle annuelle en (mm).

$$R = 15.19 \text{ mm}$$

Une surface totale du bassin de 1353.76 km², où chaque m² de surface draine, au site du barrage, 15.19 litres / année donnent :

$$\begin{aligned} 15.19 \text{ mm} \times 1353.76 \times 10^6 \text{ m}^2 &= 20563.61 \times 10^6 \text{ L} \\ &= 20.56 \text{ Hm}^3 / \text{an} \end{aligned}$$

Le but de ce calcul est la quantification d'apport liquide que nous verrons dans la 3^{ème} partie. On a conclu que le barrage depuis 10 ans sera qu'un volume de 205.6 Hm³.

b- Estimation de la lame d'eau infiltrée

L'infiltration désigne la pénétration des eaux dans le sol et le sous-sol, sous l'action de la gravité et de la pression. [10] Elle est déduite par l'équation suivante :

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

Où :

I : L'infiltration en (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle en (mm);

ETR : Evapotranspiration réelle en (mm) ;

R : La lame d'eau ruisselée en (mm) ;

$$I = 3.37 \text{ mm}$$

Tableau 2.6 : Les composantes du bilan hydrologique de la station du barrage Chebabta (1999–2019)

Paramètres	Valeurs (mm)
ETR	308.82
DA	541.76
P	320.64
R	15.19
I	3.37

2.3.6.3. Commentaire sur le bilan hydrologique

L'examen du bilan d'eau montre que, l'ETP dépasse largement les précipitations. A l'échelle mensuelle, on distingue deux saisons : l'une humide, pendant laquelle les précipitations sont supérieures à l'ETP (novembre –mars). Pendant cette période on a les valeurs maximums des précipitations, coïncident avec les valeurs les plus faibles de l'ETP. Par contre pour la saison sèche qui s'étale de (Avril – octobre), ces paramètres évoluent inversement.

La saison humide permet la reconstitution de l'RFU, pendant le mois de novembre le stock se reconstitue où la RFU atteint son maximum (26 mm) au mois de décembre puis demeure jusqu'au mois de mars. Ensuite la valeur de la RFU diminue jusqu'à l'épuisement total au mois d'Avril. Ceci se traduit un déficit agricole. Le déficit agricole s'étale sur la période de mai à octobre avec un maximum 158.48 mm au mois de juillet.

2.4. CONCLUSION

La plaine de Meskiana caractérisée par un climat semi-aride où les précipitations moyennes interannuelles enregistrées ne dépasse pas presque 118 mm ; La répartition des précipitations et des températures influe sur la chimie des eaux par dilution pendant la période pluvieuse, ou concentration lors de l'évaporation durant la période sèche.

La surface et le périmètre du bassin de Chebabta qui sont respectivement 1353.76 Km² et 221.88 km. L'indice de compacité de GRAVELIUS est de 1.69 d'où un bassin versant de forme allongée. Le rectangle équivalent est d'une longueur L = 97.14 km et une largeur l = 13.32 km.

La pente moyenne du bassin est 8.51 % ; L'indice de pente global est de 5.14 m / km ; La dénivelée spécifique est de 189.10 m caractérisant un relief assez fort ; la densité de drainage est de 0.071 km / km². Le temps de concentration est, pour le cours d'eau le plus long est de 19 h 21 min.

L'année la plus chaude est l'année 2018/2019 avec une moyenne de 17.08°C, et l'année la plus froide est l'année 2009/2010, avec une moyenne de 14.5°C. L'année 2007/2008 est la plus pluviale avec 444.85 mm et l'année 2011/2012 est la plus sèche avec 269 mm. Le mois de September est le plus pluvieux, avec 38.72 mm, alors que le mois de Juillet est le plus sec, avec 10.7 mm.

Le bilan hydrique selon la méthode de Thorntwaite prévoit un ETR de 308.82 mm, un DA de 541.76 mm et un excédent de 11.82 mm.

Le ruissellement est de 15.19 mm. D'où un apport annuel, au site du barrage de 20.56 Hm³.



Chapitre 3 :
Hydrogéologie

3.1. INTRODUCTION

L'étude ainsi défini permet de simuler la gestion du réservoir sur une période donnée et de vérifier la satisfaction de la demande, qui est quantifiée ici sur une base mensuelle.

On retient les critères suivants :

- Satisfaction mensuelle : 90% du temps pour la demande AEP et industrie (100% du volume fourni),
- Satisfaction mensuelle : 80% du temps pour l'irrigation (100% du volume fourni).

La gestion du réservoir en cas de volume disponible inférieur à la demande : Plutôt que de stocker, on utilise le volume disponible pour satisfaire une partie de la demande. Par contre, la demande n'ayant pas été complètement satisfaite, le mois concerné est comptabilisé en tant que « mois non satisfait » dans les calculs de satisfaction de la demande. **[Les années de recensement]**

3.2. Hydrogéologie générale

La zone du site est dépourvue de réserve en eau souterraine de grande quantité. Les marnes en général sont imperméables et ne renferment qu'un aquifère très faible.

Les calcaires très fracturés sont plus propices à l'accumulation d'eau, cependant la piézométrie montre la présence d'un niveau statique peu puissant sans doute à cause de la faible épaisseur des couches calcaires.

L'essentiel des ressources en eau chez les habitants est assuré par citerne. En outre, l'eau des puits serait impropre à la consommation car trop chargée en sel minéraux.



Figure 3.1 : Débit massif des calcaires



Figure 3.2 : Débit tectonique

Le réservoir s'étend sur environ 5 km à l'amont du barrage. Il reste cantonné à la vallée principale de l'Oued Meskiana sur en moyenne 2 km de largeur. La carte ci-dessous indique l'emprise de ce réservoir sur le fond géologique régional.

3.3. Géométrie de l'aquifère

Les reconnaissances géologiques (puits, sondages et travaux géophysiques) confirment que des formations superficielles (alluvions et colluvions) recouvrent presque la totalité de la cuvette. L'épaisseur des terrasses alluvionnaires varie entre 5 à 9 m en fond de vallée jusqu'à moins de 2 m en rives.

L'étude de Monsieur Mr GOUAIDIA Layachi faite en 2008 s'est attachée à évaluer la perméabilité des formations géologiques de la structure anticlinale de l'oued Meskiana. Le tableau présenté ci-dessous tiré de son étude indique que les marnes cénomaniennes sont rangées parmi les terrains imperméables.

Tableau 3.1: Caractéristiques hydrogéologiques et géophysiques des formations. [1]

Formation	Age	Epaisseur (m)	Résistivité ($\Omega.m$)	Intérêt hydrogéologique
Sables, graviers et cailloutis	Plio-Quaternaire	5 – 145	30 - 150	perméable
Sables, graviers et cailloutis	Plio-Quaternaire	5-30	3-5	imperméable
Calcaires	Eocène	100	70-300	perméable
Marnes	Montien	70	2-5	imperméable
Calcaires	Maestrichtien sup	460	70-300	perméable
Marnes	Maestrichtien inférieur	40-50	5-20	imperméable
Marnes	Campanien	200	2-5	imperméable
Marnes	Emschérien	90-100	2-5	imperméable
Calcaires	Turonien	200-270	70-300	perméable
Marnes argileuses	Cénomaniens	600-1000	2-5	imperméable

Enfin, l'étude de Mr. GOUAIDIA indique les conditions aux limites dans le bassin versant de l'Oued Meskiana. On remarque que l'exutoire de la nappe phréatique se situe exclusivement au niveau du site et que les bordures à flux nul sont situées à une côte supérieure à celle du réservoir. Le risque de fuite au large soit vers un exutoire topographique à une cote plus basse, soit vers un « siphon » hydrogéologique apparaît donc hautement improbable.

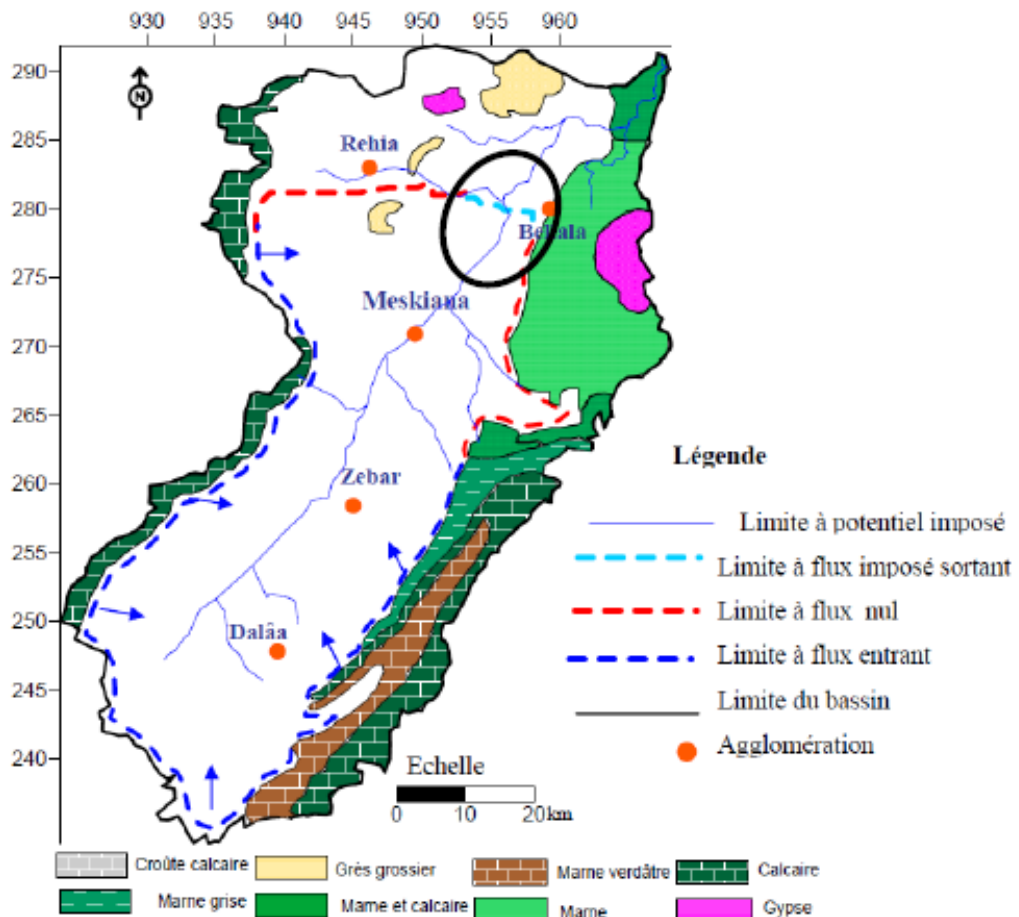


Figure 3.3: Esquisse hydrogéologique du bassin versant de la Meskiana, Chebabta dans le cercle noir.[1]

3.3.1. Géophysique

La prospection peut être définie comme une méthode globale d'appréhension de l'ensemble des traces des aménagements apportés par les sociétés humaines à leur environnement physique et vivant. Elle constitue une démarche en amont de la fouille. Les outils de la prospection sont variés et complémentaires : observations, études des documents anciens, mesures sur le terrain. Elle ne détruit pas l'objet d'étude et elle permet de répondre, sans le moindre dommage, à beaucoup des questions que se pose l'archéologue. Sur le site de Chebabta et plus particulièrement de la zone du futur ouvrage en béton, la sismique réfraction met bien en évidence les ensembles constitutifs de la fondation : alluvions, rocher décomprimé, rocher raide.

Il convient de prendre garde à ne pas entrer dans un détail excessif dans la corrélation entre V_p et lithologie. En effet s'il existe un contraste fort entre les vitesses sismiques des marnes et celles des calcaires quand ils sont sains et compacts, ce contraste s'amenuit avec le degré d'altération et la réfraction n'est plus aussi discriminante. [17]

Tableau 3.2: Caractéristiques géophysiques des formations. [6]

Formation	Vp altéré	Vp Sain
Alluvions 0A supérieure	San Objet	450-600 m/s
Alluvion 0A inférieure	San Objet	800-1000 m/s
Marnes 1M	1500 m/s	Non rencontré
Calcaires 2C	1500 m/s	2500-3000 m/s
Marnes 3M	1000-1800 m/s	2500-3000 m/s
Calcaires 4C	3000 m/s	3500-4000 m/s
Marnes 5M	Non rencontré	3000 m/s par analogie

3.3.2. Matériaux rencontrés

Les visites de site ont permis de définir l'organisation des alluvions qui combrent l'ancienne cuvette naturelle. Cette organisation est rendue dans le log général de la lithologie du site où trois unités sont distinguées du haut vers le bas : Alluvions 1, Alluvions 2 et Alluvions 3.

- Alluvions 1, l'ensemble supérieur marron beige foncé (2 à 3 m)
- Alluvions 2, l'ensemble intermédiaire marron beige clair (2 à 3 m)
- Alluvions 3, l'ensemble de base graveleux (0,5 à 2 m)
- Alluvions indifférenciées : un ensemble générique est utilisé quand le détail n'est pas possible ou pas disponible.

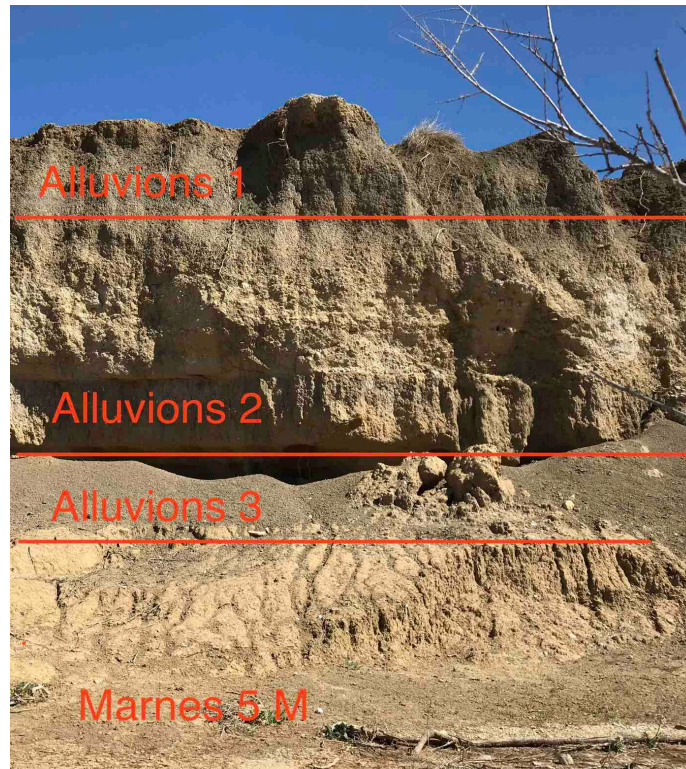


Figure 3.4: Division lithologique des alluvions



Figure 3.5 : Aperçu sur l'organisation régulière des alluvions

3.4. Les apports liquides

Le sous bassin de Chebabta, d'une superficie de 1353.76 km², est drainé par l'Oued Meskiana et ses affluents. Ce dernier s'écoule du Sud vers le Nord et traverse ainsi la bonne partie de la plaine. La confluence, au Sud d'El Aouinet, de l'Oued Ksoub constitue l'Oued Mellègue.

Le régime d'écoulement est semi-permanent, en relation avec le climat de la région. Malheureusement, ce cours d'eau n'est doté d'aucune station hydrométrique qui permet de suivre son régime d'écoulement.

Les coordonnées Topo du site sont les suivantes : (Carte Clairefontaine feuille n°150)

$$X = 955.8 \text{ m} \quad Y = 281.2 \text{ m} \quad Z = 777 \text{ m}$$

La position du site est repérée sur les figures ci-après (Carré jaune).

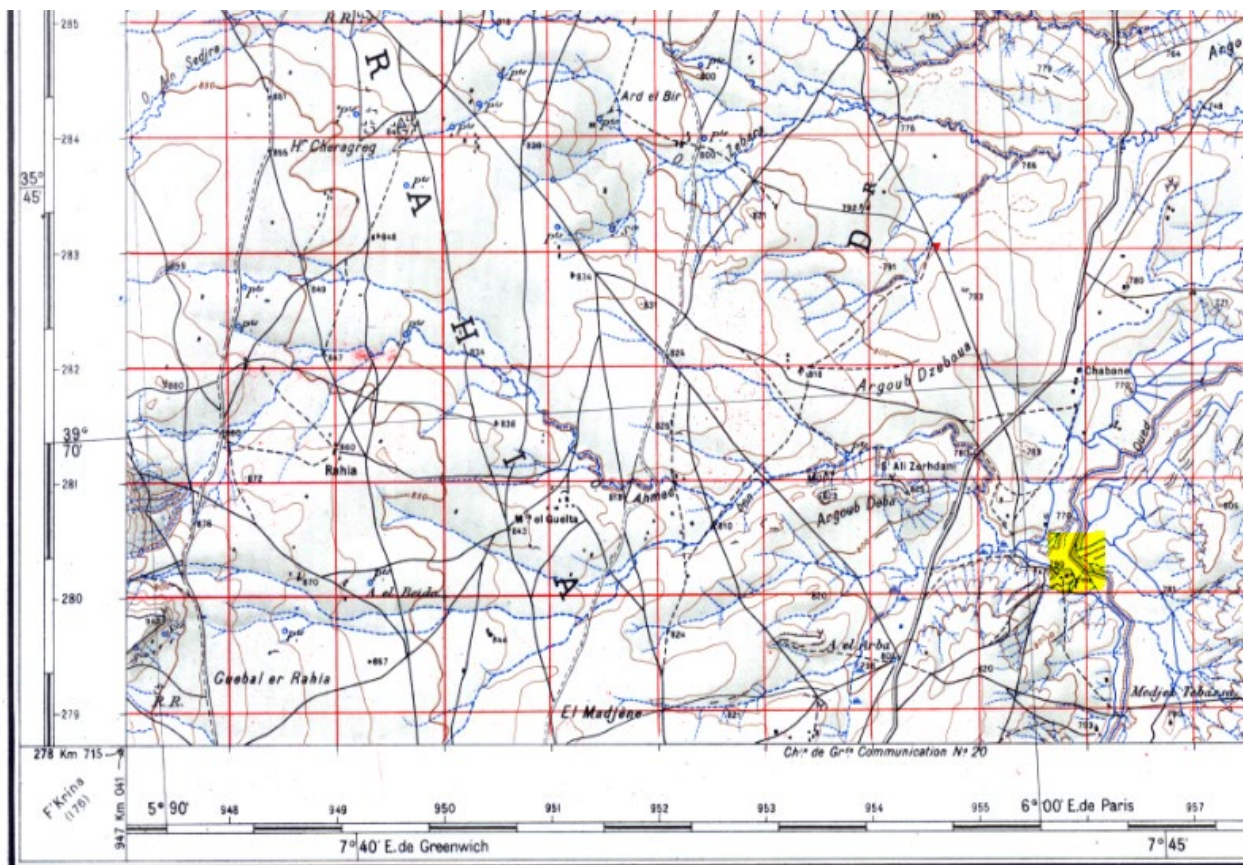


Figure 3.6 : Site de Chebabta – Carte Clairefontaine feuille n°150

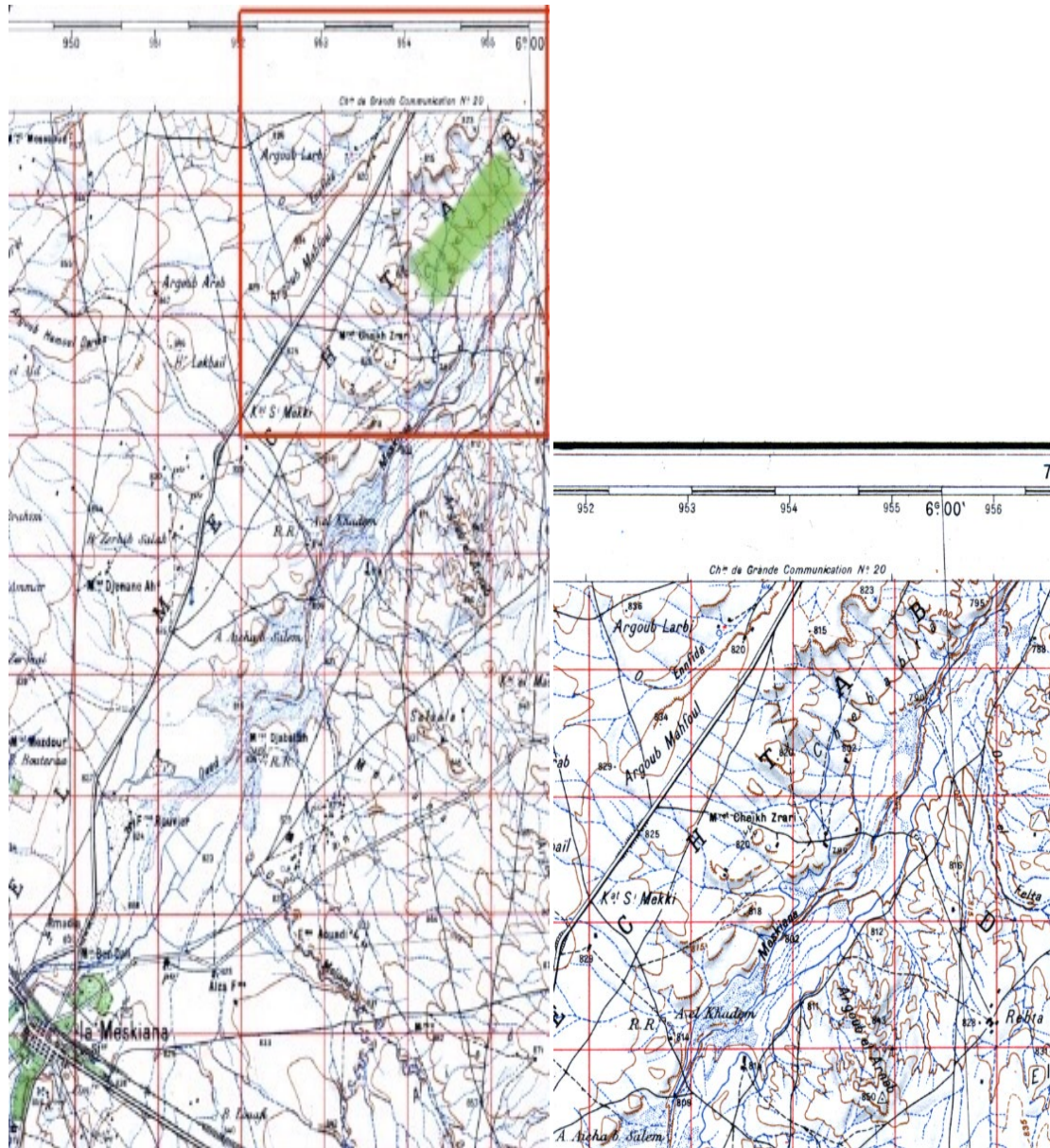


Figure 3.7: Réseau hydrométrique dans le bassin de l'Oued Meskiana par apport de la station de Chebatta

3.4.1. Demande en eau

Les données relatives à l'utilisation de la ressource en eau du futur barrage de Chebabta et les volumes alloués à l'AEP et à l'irrigation. Les volumes d'eau à satisfaire pour les différents besoins à l'horizon 2040 se répartissent comme suit :

- Alimentation en eau potable (6,199 Hm³/an) et industrie (0,269 Hm³/an), soit un volume total de 6,468 Hm³/an à garantir 90% en temps (avec un volume fourni assuré à 100%) ; [Les années de recensement]
- Irrigation (12 Hm³/an), à garantir 80 % du temps (avec un volume fourni assuré à 100%). [DSA de Oum El Bouaghi]

Tableau 3.3 : Répartition de la demande mensuelle

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Modulation AEP	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	100
Modulation irrigation	12	9	-	-	-	-	3	7	13	17	21	18	100

3.4.2. Les formules d'évaluation des apports liquides

Il existe en Algérie de nombreuses formules empiriques d'estimation des apports, quelques-unes d'entre elles sont employées pour approcher au mieux la valeur de l'apport moyen interannuel.

3.4.2.1. Formule de Sogreah

$$E = 270 \left(\frac{Pa - P0}{1000} \right)^{1.85} \quad \text{Si} \quad Pa > P0 + 68$$

$$E = 5\text{mm} \quad \text{Si} \quad Pa < P0 + 68$$

Avec :

Pa: pluie annuelle

E : lame écoulée annuelle

P0 : seuil (250 mm dans le nord, 150 mm sur les hautes plaines).

$$E = 2 \text{ mm}$$

3.4.2.2. Formule de Samie

$$\begin{aligned} Le &= \bar{P}^2 (293 - 2.2\sqrt{S}) \\ \bar{A} &= Le \times S \times 10^3 (10^6 \text{ m}^3) \end{aligned}$$

Où : P : Pluie moyenne annuelle en [m] ;
S : Surface du bassin en [km²] ;
Le : Lamme d'eau écoulée en [mm] ;
 \bar{A} : Apport liquide annuel moyenne.

$$\bar{A} = 29.57 \text{ Hm}^3$$

3.4.2.3. Formule de Turc

$$Le = \bar{P} - \frac{\bar{P}}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{V^2}}}$$

Où : Le : lame écoulée moyenne (mm)
P : pluie moyenne annuelle (m)
V : variable thermique / $V=300+25T+0.05T^3$
T : température moyenne du B.V. (°C).

$$Le = 0.10 \text{ mm}$$

3.4.2.4. Formule de Medinguer

$$Le = 1.024 (P_{\text{moy}} - 0.26)^2$$

$$\bar{A} = Le \times S$$

Où : Le : Lamme d'eau écoulée [mm] ;
P_{moy} : Pluie moyenne annuelle [m] ;
 \bar{A} : Apport liquide annuel moyenne.

$$\bar{A} = 5.09 \text{ Hm}^3$$

3.4.2.5. Formule de dite Algerienne

$$Le = \bar{P} (1 - 10^{-K \times \bar{P}^2})$$

Où :

- Le : lame d'eau écoulée en m
- P0 : Pluie moyenne annuelle en m
- S : surface du bassin versant en km².
- K : coefficient dépendant de la surface du bassin versant
- \bar{A} : Apport liquide annuel moyenne.

$$K = 0.18 - 0.01 \text{Log}_{10}(S)$$

$$K = 0.139$$

$$\bar{A} = Le \times S \times 10^{-3}$$

$$\bar{A} = 14.08 \text{ Hm}^3$$

3.4.2.6. Formule d'A.N.R.H

$$A_0 = 0.513 \times P_{\text{moy}}^{2.683} \times Dd^{0.5} \times S^{0.842} [10^6 \text{m}^3]$$

Où :

- Pmoy : Pluie moyenne annuelle [m]
- S : Superficie du bassin versant [Km²]
- Dd : Densité de drainage [km/km²]
- A₀ : Apport liquide annuel moyenne.

$$A_0 = 28.2 \text{ Hm}^3$$

3.4.2.7. Formule de l'Dery 1

$$\bar{A} = 0.915 \times P^{2.684} \times S^{0.842}$$

Où :

- P : Pluie moyenne annuelle (m).
- S : Superficie du bassin versant (Km²).
- \bar{A} : Apport liquide annuel moyenne.

$$\bar{A} = 18.72 \text{ Hm}^3$$

3.4.2.8. Formule de l'A.N.R.H (1977)

$$A_0 = M_0 \times A \times K$$

Avec : $M_0 = 11.8. P_0^{2.82}$

Où :

- M₀ : Le module spécifique moyen en l/s.km²
- P₀ : Pluviométrie moyenne annuelle en m.

A_0 : Apport moyen annuel en m^3
 A : Superficie du bassin versant en km^2 .
 K : Constante ($k=31,54.10^3$).
 $M_0 = 0.477 L/s. Km^2$

$$A_0 = 20.4 Hm^3$$

3.4.2.9. Formule de Mallet- Gautier (Pour les Oueds d'Algérie et de Tunisie)

$$Le = 0.6P_{moy}(1 - 10^{-0.36.P_{moy}^2})$$

Où : P_{moy} : Pluie moyenne annuelle en (m)
 Le : Lamme d'eau écoulée en m.

$$\bar{A} = Le. S. 10^{-3}$$

$$\bar{A} = 20.58 Hm^3$$

3.4.3. Evolution annuelle des apports liquides

Ils sont présentés en Figure 3-2 sous la forme d'apports annuels et calculée par la formule la plus couramment utilisé en Algérie (Formule de dite Algerienne ou A.N.R.H) on a trouvé :

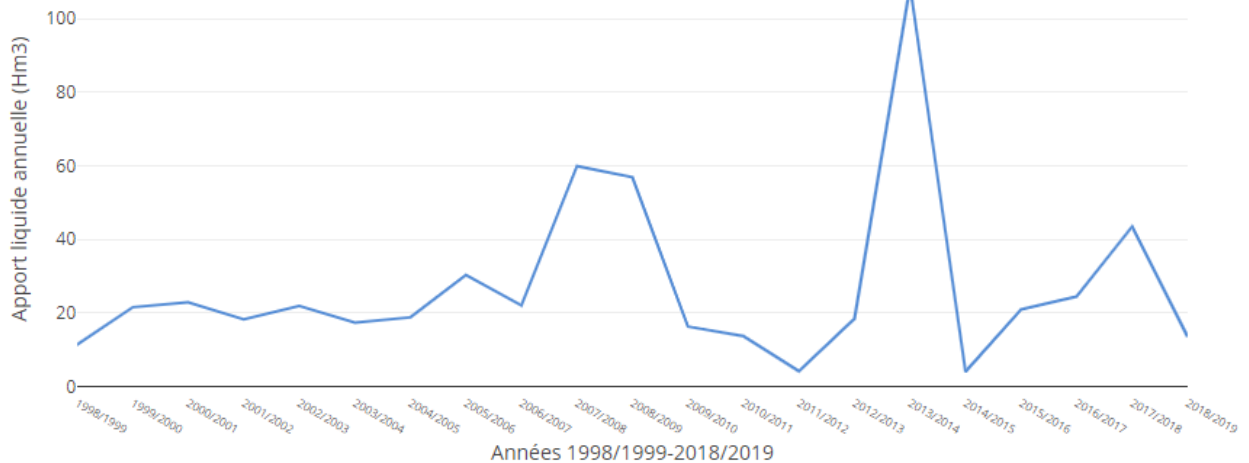


Figure 3.8 : Apports liquides annuels (Hm^3)

Sur l'ensemble de la période considérée (1998/1999-2018/2019), l'apport moyen annuel au site de Chebabta est égal à $20.4 Hm^3$.

a) Apport moyenne annuelle A_0

Les potentialités en eau du site s'évaluent à l'aide de l'apport moyenne annuel A_0 . D'après une étude faite par l'A.N.R.H en 1977, il peut être déterminé par la formule suivante :

$$A_0 = M_0 \times A \times K$$

Avec : $M_0 = 11.8. P_0^{2.82} = 11.8 \times (32064)^{2.82} = 0.477 \text{ L/s. Km}^2$

$$A_0 = 0.477 \times 1353.76 \times 31.54 \times 10^3 = 20.37.10^6 \text{ m}^3$$

$$A_0 = 20.4 \text{ Hm}^3$$

Dans ces conditions, le niveau initial est choisi de manière prudente afin de ne pas surestimer le volume initial et donc le volume annuel régularisable par la future retenue de Chebabta.

Les résultats sont présentés sur la période de simulation choisie. Elle comporte 21 années comprises entre les années hydrologiques 1998/1999-2018/2019 et présentes un apport annuel moyen de 20.4 Hm^3 .

3.4.4. Evolution mensuelle des apports liquides

La figure (2.8) des variations des moyennes mensuelles des apports, sur une période de 21 ans (1998/1999 – 2018/2019), montre que le mois de septembre est le plus élevé d'apport liquide avec 5.91 Hm^3 .

Tableau 3.4 : Apports liquides mensuels du bassin versant (Hm^3)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Moyenne	5.91	3.16	2.28	1.39	1.33	0.87	1.01	1.14	3.34	3.05	0.25	1.04	20.4
Ecart Type	14.62	4.23	5.23	2.43	3.21	1.63	1.60	1.96	6.42	3.84	0.75	3.57	23,64
Min	0.22	0	0	0	0	0	0.01	0	0.01	0.02	0	0	5,95
Max	64.45	16.87	22.74	7.93	14.9	7.21	6.24	6.83	23.1	13.78	2.68	14.30	100,90

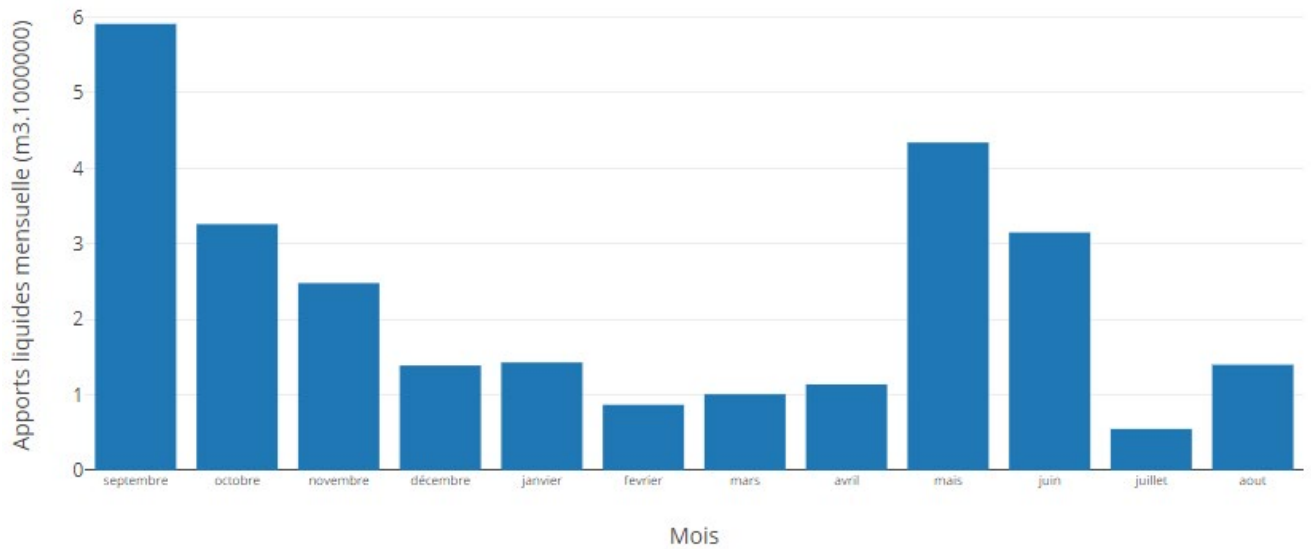


Figure 3.9 : Apports liquides mensuelle (Hm³)

3.4.5. Evolution annuelle du volume d'eau du barrage

L'étude de régularisation a donc été réalisée sur la plage de variation suivante pour le niveau de retenue normal : 787 à 807 m par le Tableau de Loi Hauteur – Surface – Volume (Annexe 3).

Tableau 3.5 : Volumes annuels régularisés en fonction de la cote de la retenue normale [6]

Cote de la retenue normale	Capacité utile de la retenue	Volume annuel régularisé		
		AEP + Industrie	Irrigation	Volume total
m	Hm ³	Hm ³	Hm ³	Hm ³
787.00	0.60	1.41	0.00	1.41
788.00	2.30	4.77	0.00	4.77
789.00	4.00	6.47	0.42	6.89
790.00	5.70	6.47	2.33	8.80
791.00	8.53	6.47	4.52	10.99
792.00	11.37	6.47	5.83	12.30
793.00	14.21	6.47	6.90	13.37
794.00	17.04	6.47	7.54	14.01
795.00	19.88	6.47	8.32	14.79
796.00	24.64	6.47	9.30	15.77
797.00	29.41	6.47	9.58	16.05
798.00	34.17	6.47	9.78	16.25
799.00	38.94	6.47	10.03	16.50
800.00	43.70	6.47	10.34	16.81
801.00	51.16	6.47	10.84	17.31
802.00	58.61	6.47	11.44	17.91
803.00	66.07	6.47	11.76	18.22
804.00	73.52	6.47	11.93	18.40
805.00	80.98	6.47	12.25	18.72
806.00	91.34	6.47	12.54	19.01
807.00	101.70	6.47	12.73	19.20

Volumes annuels régularisés en fonction de la RN

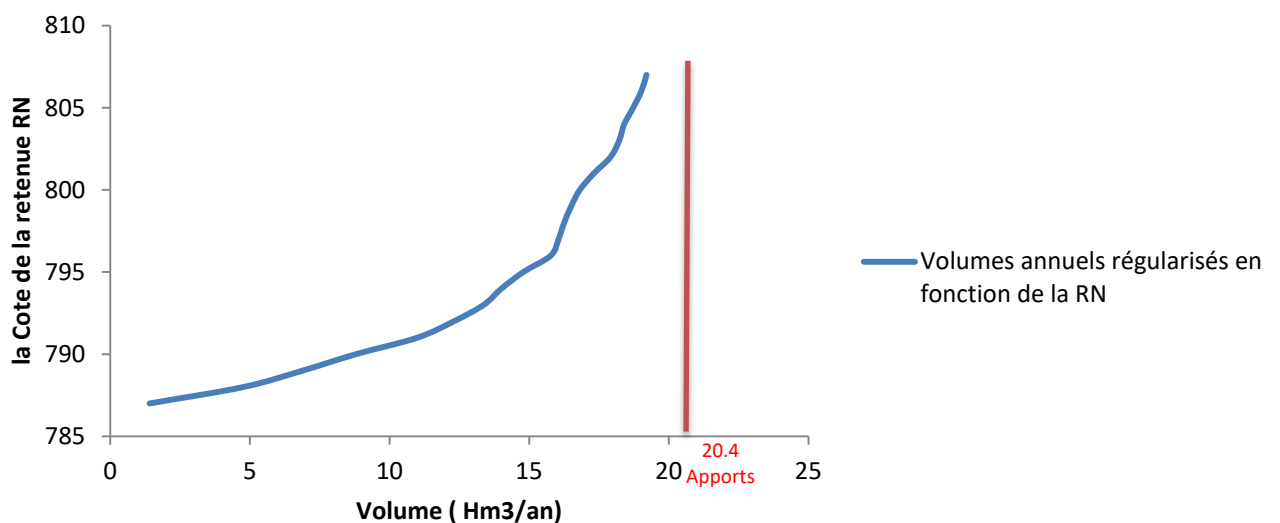


Figure 3.10 : Volumes annuels régularisés en fonction de la retenue normale

Il atteint un maximum de $19,20 \text{ Hm}^3$ (dont $6,47 \text{ Hm}^3$ pour l'AEP et l'industrie et $12,73 \text{ Hm}^3$ pour l'irrigation) pour une cote de retenue normale de 807 m, ce qui représente environ 83 % des apports interannuels au barrage de Chebabta ($20,4 \text{ Hm}^3$).

Pour des valeurs de retenue normale comprise entre 787 et 789 m, les volumes régularisés sont destinés uniquement à l'AEP et l'industrie, qui sont prioritaires.

Pour des valeurs de retenue normale supérieures ou égales à 789 m, les besoins en AEP et industrie sont couverts ($6,47 \text{ Hm}^3$) et le barrage peut satisfaire une partie des besoins en irrigation, les volumes fournis augmentant avec la hauteur du barrage.

A partir d'un niveau de retenue normale de 805 m, l'ensemble des besoins sont satisfaits par le barrage de Chebabta. Le volume total annuel régularisé est alors égal à $18,72 \text{ Hm}^3$. ce qui représente 81% des apports annuels du bassin versant.

L'étude qui suit est basée sur une cote de retenue normale de 805 m, qui correspond à une capacité utile de $80,98 \text{ Hm}^3$. Dans ces conditions, le barrage de Chebabta permet de régulariser au total $18,72 \text{ Hm}^3$, décomposés comme suit :

- Alimentation en eau potable ($6,199 \text{ Hm}^3/\text{an}$) et industrie ($0,269 \text{ Hm}^3/\text{an}$),
- Irrigation ($12,25 \text{ Hm}^3/\text{an}$),

Soit environ 81% de l'apport interannuel de l'Oued Meskiana au site de Chebabta ($20,4 \text{ Hm}^3$. Sur la période 1998/1999–2018/2019).



Figure 3.11 : future digue du barrage Chebabta

3.5. Les apports solides

3.5.1. Erosion

L'érosion en général est l'ensemble des phénomènes physiques et chimiques d'altération ou de dégradation des reliefs. L'action des agents érosifs sur les reliefs conduit à la production et au transport d'une certaine quantité de sédiments. Les processus érosifs et de déposition qui peuvent se développer sur les bassins versants sont différenciés selon l'agent érosif : vent, pluie, ruissellement, ou selon la source de sédiments : rigoles, ravines, berges, plaines d'inondation. [16]

3.5.2. Types d'érosion

L'érosion hydrique c'est l'ensemble des phénomènes complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol. Elle se définit comme la perte du sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt. Ce phénomène devient encore plus grave si l'on sait que 85% des surfaces cultivables, sont situées dans les zones les plus sensibles à l'érosion. [16]

3.5.2.1. Erosion en nappe

Elle est caractérisée par une eau de ruissellement sans griffes ou rigoles visibles. L'ensemble des gouttelettes auront une vitesse moyenne qui se dirige de l'amont vers l'aval. À partir de là, il y aura formation de flaques et débordement de l'eau non infiltrée d'une flaque à l'autre ce qui entraînera un ruissellement en nappe. L'érosion en nappe dépend de :

- L'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement.
- L'énergie cinétique des pluies qui détachent les particules.
- La durée des pluies et/ou l'humidité avant les pluies.

Les signes qui permettent de caractériser l'érosion en nappes sont l'apparition de plages de couleur claire aux endroits les plus décapés et la remontée de cailloux à la surface du sol. Les conséquences de l'érosion en nappe sont :

- le nivellement de la surface du sol.
- La squelettisation des horizons superficiels.
- Le décapage entraînant l'apparition de taches claires. [16]

En Algérie, les pertes en sol par ce type d'érosion sont de l'ordre de 0,1 à 20 t/ha/an.

3.5.2.2. Erosion linière

Ce type d'érosion succède l'érosion en nappe. Elle se manifeste par la concentration du ruissellement dans les creux en formant des lignes d'écoulement limitées dans l'espace apparaissent selon la ligne de plus grande pente : selon la profondeur de ces lignes. [16]

Tableau 3.6 : Appellation des lignes d'écoulement (d'après Roose, 1994). [16]

Profondeur	Appellation
Quelques centimètres	Griffes
>10 cm	Rigoles
10 à 20 cm	Nappe Ravinant
>50 cm	Ravines

3.5.3. Les principaux facteurs de l'érosion hydrique

Les facteurs d'érosion influencent l'intensité des processus de détachement, de transport et de dépôt. Les facteurs agissent donc sur les processus qui, eux, conduisent à des formes d'érosion spécifiques.

a) Topographie

Plusieurs chercheurs ont mis en évidence l'effet de la topographie sur l'érosion nombreux sont ceux qui ont montré que la topographie agit sur le ruissellement et les pertes en sol par deux composantes [21]. La topographie fait avant tout référence à la pente des terres : la pente accélère l'érosion car elle augmente la vitesse d'écoulement de l'eau [22]. La pente intervient dans les phénomènes d'érosion en fonction de sa forme, de son degré d'inclinaison et de sa longueur [23].

Quand :

- La longueur de la pente : car plus la pente est longue, plus les eaux ont tendance à se concentrer graduellement dans les fissures ou rainures, ce qui entraîne un apport considérable en eau et en sédiments ;
- Le degré d'inclinaison de la pente : car plus le degré d'inclinaison des versants est important, plus l'énergie cinétique de l'écoulement et la détectabilité des particules du sol sont importantes.

b) Facteur climatique (le climat)

La pluie est essentiellement à l'origine de l'érosion par son impact sur les particules des sols qu'elle détache ainsi des matériaux de surface. Le climat est un facteur important qui conditionne d'une façon directe le mécanisme de l'érosion. Certaines influences climatiques constituent une partie des processus d'altération [24]. La fréquence et l'intensité des précipitations sont les deux caractéristiques importantes du facteur climatique de l'érosion hydrique des sols. Ces caractéristiques sont à l'origine de la formation du ruissellement quand la quantité des pluies dépasse la capacité d'absorption de l'eau par le sol [25].

Le potentiel érosif de la pluie est désigné par le terme général d'érosivité. Ce paramètre est lié à l'intensité des averses se taux caractéristiques des gouttes de pluie (taille, vitesse, forme, angle d'impact) qui déterminent leur énergie cinétique [26].

c) Facteurs lithologiques (sol)

L'érosion du sol désigne sa susceptibilité face aux processus d'érosion. Elle est fonction des propriétés physico-chimiques du sol (texture, profondeur, porosité, teneur en matière organique...) et de la cohésion qui existe entre ces particules. Une faible cohésion va entraîner une forte érosion [27]. Notons que l'érosion des sols diminue avec l'augmentation de la teneur en matière organique qui réduit la mouillabilité des agrégats et diminue les risques d'éclatement lors de l'humectation [28]. Il existe trois propriétés essentielles des sols pour déterminer leur érosion et pour évaluer leur résistance à l'érosion :

- La teneur en limon et surtout en argile ;
- La matière organique qui assure la cohésion du sol ;
- Les caractéristiques minéralogiques et chimiques des sols qui ont un rapport avec la cohésion.

d) Couvert végétal

Il s'agit du facteur primordial de protection du sol contre l'érosion. Un couvert végétal est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qu'il recouvre une forte proportion du sol durant les périodes les plus agressives de l'année, qu'il ralentit l'écoulement du ruissellement et qu'il maintient une bonne porosité [23].

Le rôle du couvert végétal :

- Les plantes cultivées ou naturelles protègent le sol contre l'érosion hydrique et éolienne, en effet :
- La partie aérienne des plantes joue le rôle d'un parapluie producteur du plant
- Les plantes ralentissent les eaux de ruissellement et les vents par la rugosité qu'elles donnent au terrain ;

e) Facteurs anthropiques

Certaines activités humaines provoquent l'accélération de rythme naturel de l'érosion hydrique par l'action de surpâturage et la déforestation qui provoque le tassement des sols, diminue sa perméabilité et favorise le ruissellement de l'eau. L'intensification de l'agriculture et la croissance démographique et l'urbanisation ne font qu'accentuer le phénomène.

3.5.4. Quantification de l'érosion hydrique

En Algérie, le problème de transport solide a été l'objet de plusieurs recherches. Les études de quantification traitent en général les différentes relations existantes entre toutes les caractéristiques qui rentrent dans l'identification de la région étudiée. [16]

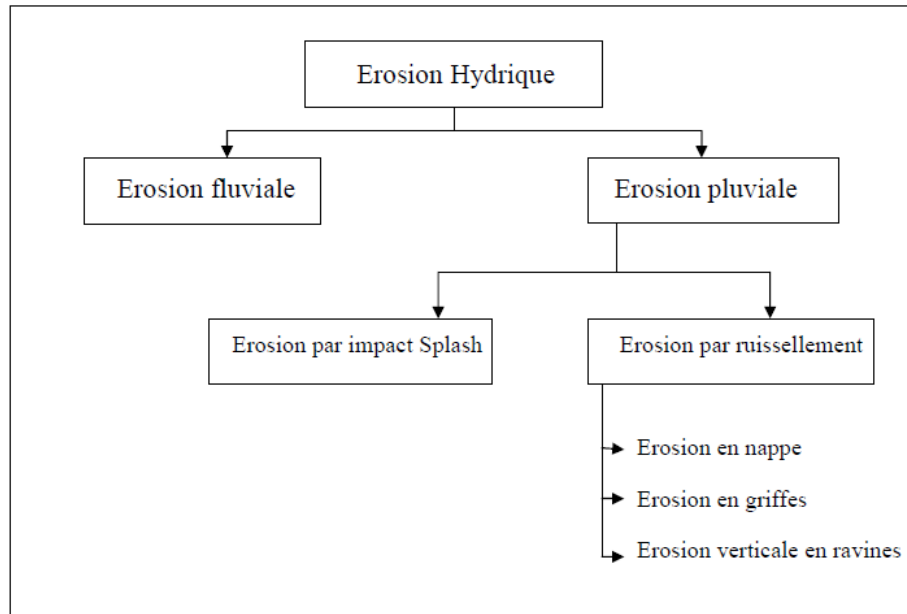


Figure 3.12: Types d'érosion hydrique[20]

La quantification peut se faire par :

Mesures directes :

- Simulation de pluie.
- Mesures topographiques.

Mesures indirects :

- Par des formules expérimentales.

Nous citerons dans ce qui suit quelques formules les plus utilisées.

3.5.4.1. Formule de Tixeront (1960)

$$A = 92 \times R^{0.21} \text{(bassins de l'Est algériens)}$$

Ou A : apports solides spécifique moyens annuels (T/Km²/an)
 R : écoulement annuel total (mm)

$$A = 92 \times 15.19^{0.21} = 162.9 \text{ T/Km}^2/\text{an}$$

3.5.4.2. Formule de Fournier (1960)

$$E = \frac{1}{36} \left(\frac{P_m^2}{P_{an}} \right)^{2.65} \left(\frac{h^2}{S} \right)^{0.46}$$

Ou E : Apports solides spécifiques moyens annuels(T/Km²/An)

P_m : pluie mensuelle moyenne du mois le plus pluvieux (mm)

P_{an} : Pluie moyenne annuelle (mm)

h : dénivelée moyenne = $H - H_{\min}$ (m)

S : superficie du bassin (Km^2).

$$E = 210 T/Km^2/An$$

3.6. Transport Solides

Est le processus d'érosion, entraînant le transport et le dépôt de sédiments, le détachement des particules dans le processus d'érosion se produit suite à l'énergie cinétique de l'impact de la goutte de pluie, ou les forces générées par l'écoulement de l'eau, dès que la particule se détache elle est entraînée et transportée, ce transport dépend des dimensions et du poids de la particule, aussi des forces exercées par l'écoulement sur la particule. [18]

3.6.1. Modes de transport solide

Le transport solide total de sédiments est l'ensemble du transport des particules qui passent dans une section du cours d'eau, les sédiments sont transportés par plusieurs modes[19]:

a) Charriage

Si les particules restent en contact étroit avec le fond, elles se déplacent en glissant, roulant ou sautant. Ce mode concerne les particules relativement grandes.

b) En Suspension

Les particules restent occasionnellement en contact avec le fond, elles se déplacent par bonds et restent souvent entourées d'eau. Cela concerne les particules relativement fines.

3.6.2. Volume mort

Les potentialités en eau du site s'évaluent à l'aide de l'apport solide. D'après une étude faite par Formule de Tixeront (1960), il peut être déterminé par la formule suivante :

$$A = 92 \times R^{0.21} \text{(bassins de l'Est algériens)}$$

$$A = 92 \times 15.19^{0.21} = 162.9 T/Km^2/an$$

Soit
$$:V_m = \frac{S.A.n}{\rho}$$

Où : A : Apport solide spécifique en T/km² .an.

S : Superficie du bassin versant en km².

ρ : Densité spécifique de dépôt solide ($\rho=1.6$ T/km³)

n : Nombre d'année d'exploitation.

$$Vm = \frac{1353.76 \times 162.9 \times 21}{1.6}$$

$$Vm = 3 \text{ Hm}^3$$

Le volume mort correspond au volume des apports solides qui seront piégés dans la retenue. Le rapport hydrologique estime ce volume à environ 3 Hm³ pour une durée d'exploitation du barrage de 21 ans. Ce qui est une grande quantité, donc ce sera un problème à l'avenir pour la stabilisation et la survie du barrage de Chebabta. Il faut donc trouver des solutions, comme le reboisement.....ect.



Figure 3.13 : Transport Solides

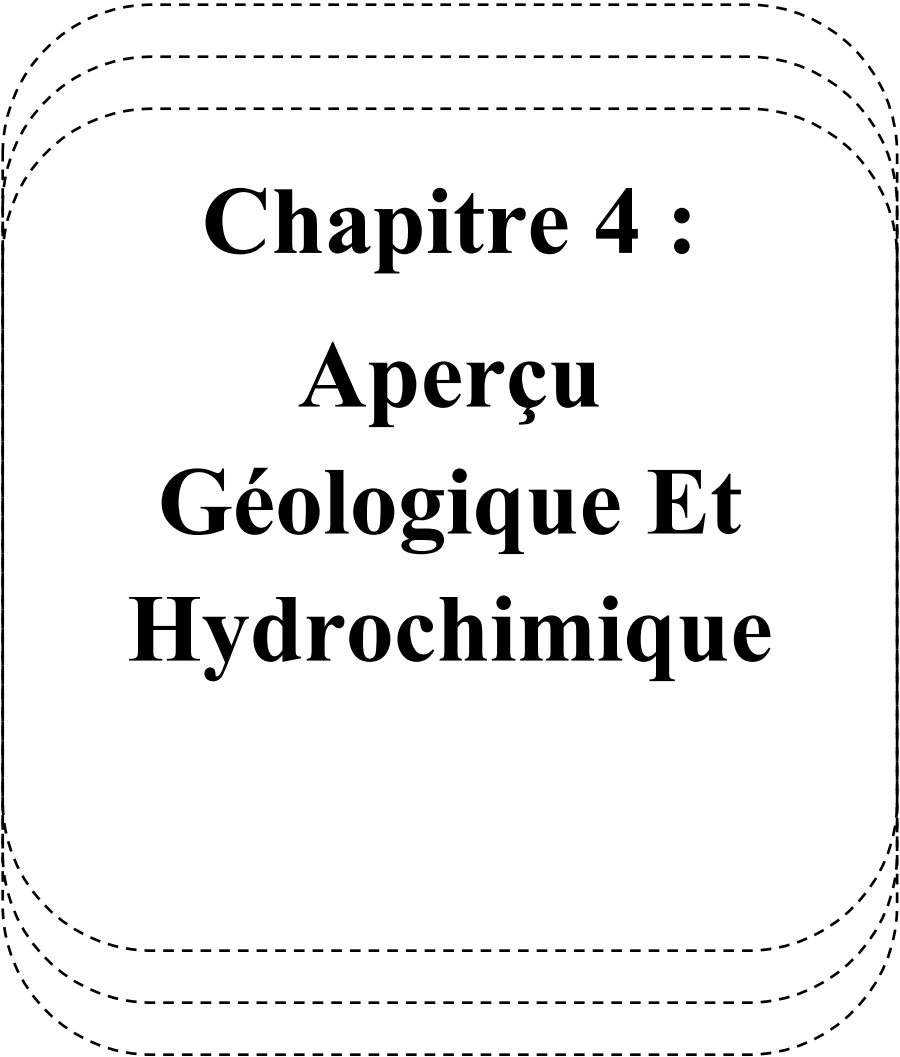
3.7. CONCLUSION

Il semble donc nécessaire de diminuer les volumes à satisfaire pour limiter le coût des ouvrages et donc celui du mètre cube d'eau régularisé. L'étude comparative des variantes permettra à l'Administration de choisir la hauteur définitive du barrage et le niveau de la retenue normale.

L'organisation de site est rendue dans le log général de la lithologie du site où trois unités sont distinguées du haut vers le bas : Alluvions 1, Alluvions 2 et Alluvions 3 qui sont respectivement marron beige foncé (2 à 3 m), marron beige clair (2 à 3 m), graveleux (0,5 à 2 m).

Les écoulements de surface estimés par les formules empiriques donnent pour la Formule de Samie ($29.57 \text{ Hm}^3/\text{an}$), Formule dite Algérienne ($14.08 \text{ Hm}^3/\text{an}$), Formule de Mallet –Gautier ($20.58 \text{ Hm}^3/\text{an}$), Formule de l'INRH ($2.82 \text{ Hm}^3/\text{an}$), Formule de Turc ($10 \text{ Hm}^3/\text{an}$), Formule de l'Dery 1 ($18.72 \text{ Hm}^3/\text{an}$). Les écoulements enregistrés, à l'oued Meskiana a site de Chebabta, par l'ANRH 1977 donnent un apport à Chebabta A = 20.4 Hm^3 avec une période de retour de 21 ans. Le volume mort selon la Formule de Tixeront prévoit un V_m de 3Hm^3 .pour des valeurs de retenue normale comprise entre 787 et 805 m.

Après les calculs des besoins de la région (alimentation en eau potable ($6,199 \text{ Hm}^3/\text{an}$), industrie ($0,269 \text{ Hm}^3/\text{an}$), irrigation ($12 \text{ Hm}^3/\text{an}$) soit un volume total de $6,468 \text{ m}^3 \cdot 10^6/\text{an}$). Nous concluons que le barrage est satisfait para port des besoins, et la stabilisation jusqu' 20 ans.



Chapitre 4 :
Aperçu
Géologique Et
Hydrochimique

4.1. INTRODUCTION

En Algérie, la durée de vie des barrages est relativement courte à cause de leur envasement rapide. Alors, le problème des transports solides reste très important.

La variabilité des apports liquides et solides est variable suivant les régions, les conditions climatiques, géologiques, topographiques, pédologiques, sans parler de la couverture végétale et les interventions humaines jouant des rôles différents, qui peuvent modérer ou accentuer ce phénomène et L'enjeu de l'érosion hydrique sur l'environnement.

L'aperçu géologique du site est la reconnaissance de relief, l'écoulement de l'oued dans la retenue par apport la rive gauche et droite. Ensuite en hydrochimie on va déterminer les principaux facies de l'eau de surface par la comparaisent de les résultats de Mr. Gouaidia (2004) de l'eau sous terrain.

4.2. Géologie du site du barrage

Le site de Chebabta est situé dans la zone Nord de l'Algérie. Cette zone de montagne est comprise entre le bassin méditerranéen et la flexure sud-atlasique qui la sépare de la plateforme saharienne. Elle prend le nom de Maghrébides et étend sa structure faite de chevauchements et de nappes tectoniques sur plus de 2000 km en passant par la zone du tell Algérois, Constantinois puis Algéro-Tunisien.

Dans un relief de hauts plateaux d'altitude moyenne de 800 m, le site du barrage occupe un relief assez plat et le verrou topographique est peu marqué. L'axe retenu se situe au droit d'un resserrement topographique formé par la présence de bancs calcaires en rive gauche et en rive droite de l'oued.

Oued Meskiana coule dans la retenue sur les marnes argileuses du Cénomaniens et, près du site, sur les alternances de marnes et calcaires du Turonien inférieur. Ces formations sont parfois recouvertes par une faible épaisseur d'alluvions sablo-graveleuses, des terrasses limoneuses sableuses occupent le fond de la vallée sur des épaisseurs de 5 à 9 m, une succession de bancs de marnes feuilletées et de calcaires marneux d'épaisseurs décimétriques à métriques surmontés de bancs de calcaire en plaquettes blanchâtres est observée en rive droite et en rive gauche,

Le pendage des couches est monotone, toujours vers l'aval (de 15 à 33° vers le Nord), les quatre failles mineures ont été levées dans l'affleurement des calcaires du Turonien,

Les marnes du Cénomaniens affleurent à l'amont et au large. Là où elles ne sont pas protégées par les calcaires du Turonien, elles sont altérées jusqu'à une profondeur d'environ 10 m.

4.3. Aperçu sur la chimie des eaux de la région

L'étude hydrochimique constitue une étape importante pour déterminer l'utilisation possible des eaux tous les domaines. Il est évident que le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-).

Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface.

4.3.1. Détermination des principaux facies hydrochimique de l'eau de surface de site de Chebabta

On les détermine par le calcul des quantités en réaction (conversion des concentrations en méq/l), et en tenant compte de la classification des ions (formule ionique).

Un échantillon de l'eau de surface de l'Oued de Meskiana a été prélevé pour analyser au Laboratoire d'hydrogéologie du Département des sciences de la Terre et de l'univers. Les analyses ont été menées sur les éléments suivantes (Na^+ , K^+ , Ca^+ , Br , Cl^- , So_4^{2-}) et d'une D'autre part, nous avons pris les résultats d'analyses réalisées par Mr Gouaidia (2002-2003-2004) sur les eaux souterraines de la région afin de connaître l'effet des influents des eaux de surface sur les eaux souterraines.

4.3.1.1. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF :

Le diagramme de Schoëller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence. [1]

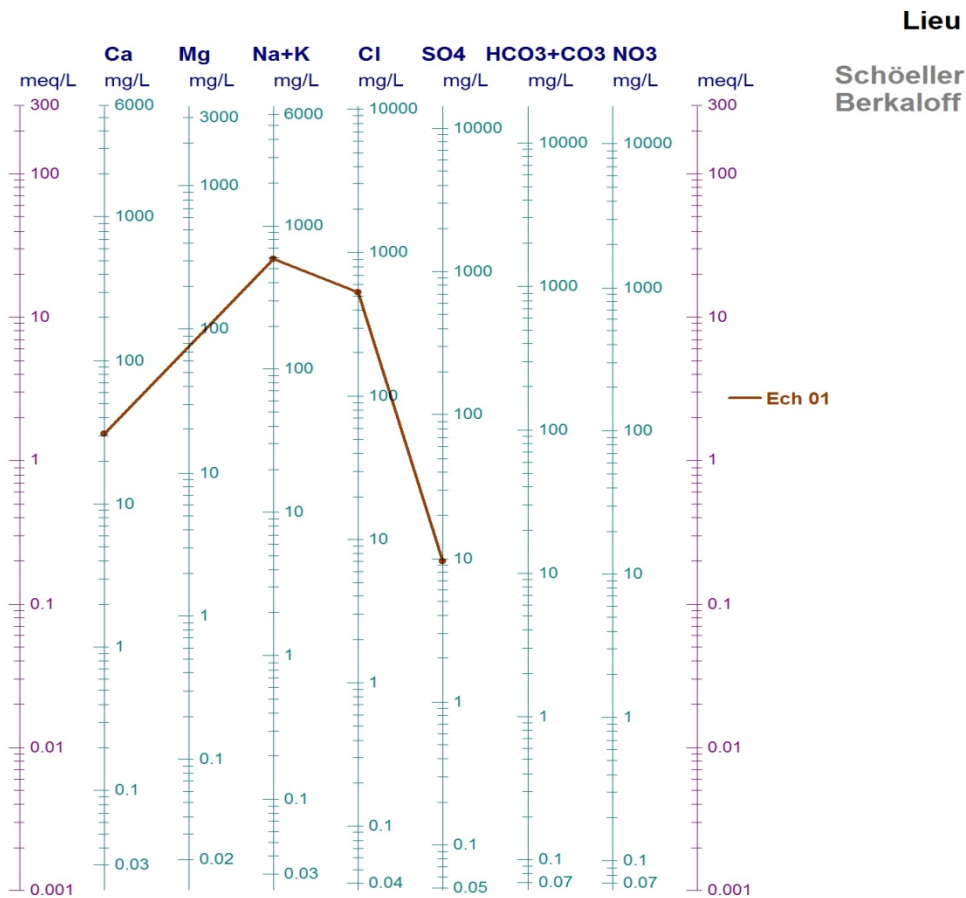


Figure 4.1 : Diagramme de Schoëller-Berkaloff, des eaux de surface mars 2020

Le diagramme tracé pour la période de mars 2002 confirme la dominance du faciès chloruré sodique Permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée aux ions Cl^- ($Na^+ + K^+$) Secondairement, on observe 2ème faciès sulfaté calcique permettant de dire que la minéralisation est liée aux ions Ca^{+2} et So_4^{-2} .

4.3.1.2. Diagramme de PIPER :

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global. Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques. [1] Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants. L'interprétation des résultats d'analyses hydrochimiques pour toutes les périodes d'observation a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux de surface de l'Oued Meskiana ainsi que sur les conditions naturelles à l'origine de ces faciès.

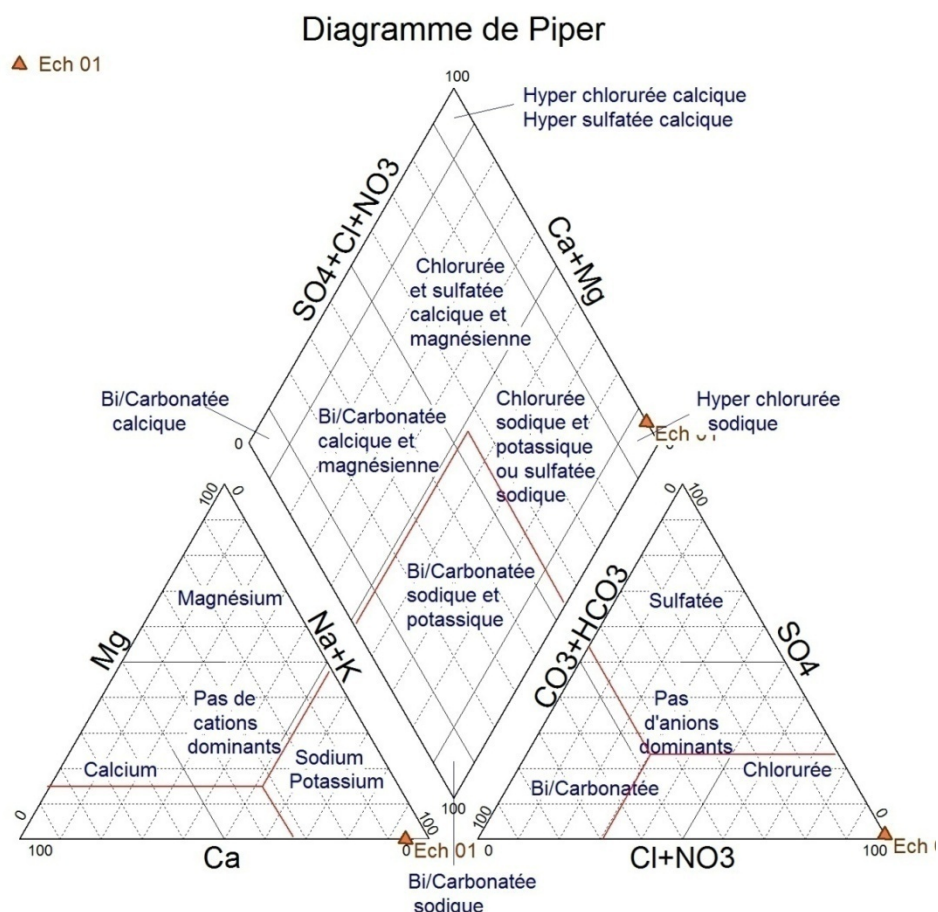


Figure 4.2 : Diagramme de Piper, campagne de mars 2020 (eau de surface).

Dans ce diagramme on note la présence d'un faciès hyper chloruré sodique. La présence de cations sodiques s'explique par les marnes Emschériennes gypsifères.

4.3.1.3. Diagramme de Wilcox

Pour la classification des eaux d'irrigation on a utilisé le diagramme de Wilcox, ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium en pourcent et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de Wilcox afin de faciliter la caractérisation des eaux souterraines sur leur aptitude à l'irrigation.

$$\text{Na}\% = \frac{r \text{Na}^+ + r \text{K}^+}{r \text{Ca}^{++} + r \text{Mg}^{++} + r \text{Na}^+ + r \text{K}^+}$$

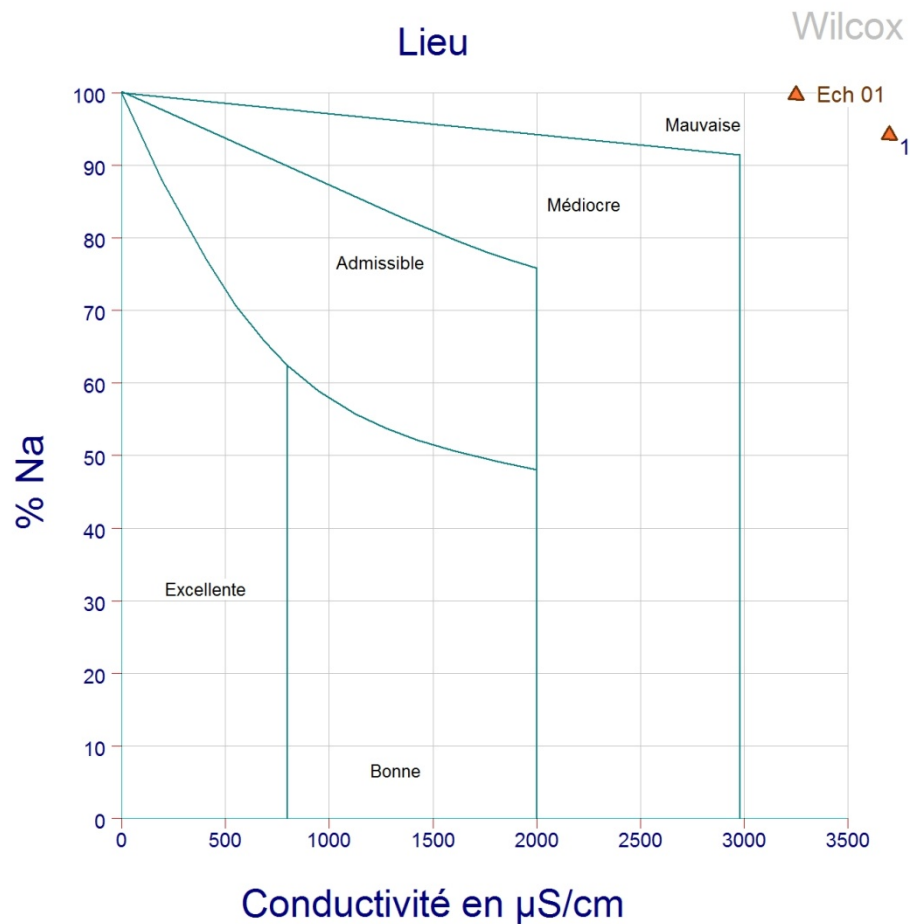


Figure 4.3: Diagramme de Wilcox des eaux de surface de Meskiana mars 2020

L'échantillon représenté sur le diagramme de Wilcox est de mauvaise qualité, cette classe se caractérise par les eaux de forte minéralisation, présentant des risques de salinisation des sols importants, avec alcalisation fort.

Il apparaît donc que les eaux de surface qui formera le barrage sont d'une salinité souvent déconseillée pour l'irrigation.

De cela, nous pouvons dire que l'eau de surface de l'oued qui formera le barrage est de l'eau contamination ; par conséquent l'eau du barrage a besoin d'un traitement physico-chimique.

On a remarqué dans l'étude de Mr GOUAIDIA en 2004, indique la répartition des différents faciès dépendait de la lithologie et de l'hydro dynamisme de la nappe aquifère. Le faciès bicarbonaté-calcique se localise à l'amont et tire son origine des formations carbonatées bordant la nappe. Le faciès chloruré-calcique est

important et se répand à l'intérieur de la nappe. Il s'explique par la présence des formations alluvionnaires salées du Mio-Plio-Quaternaire et des marnes gypsifères d'âge Emschérien.

Les eaux souterraines qui circulent dans la nappe alluviale de Meskiana proviennent des formations carbonatées de l'Eocène et du Maestrichtien qui bordent la plaine. Ensuite, elles s'écoulent dans un matériel très hétérogène (des alluvions, des sables, des graviers, des dépôts évaporitiques, etc.). Le parcours d'écoulement et les couches traversées influent sur l'acquisition des éléments chimiques.

Mr "Gouaidia" effectué une étude hydrochimique des eaux de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire de Meskiana (2002-2003-2004) en permet de dire :

- Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence de quatre faciès dominants, qui sont le chloruré calcique, le chloruré sodique, le sulfaté calcique et le bicarbonaté calcique,
- La répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement lié à la lithologie de la nappe, suite à la dissolution des formations carbonatées et des formations évaporitiques,
- Le suivi de la qualité des eaux dans le temps a montré l'effet des précipitations et de l'évaporation sur la minéralisation des eaux souterraines,
- L'évolution des éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^-), qui caractérisent les formations géologiques principales du bassin, a montré la dominance des ions salifères (Na^+ , Cl^-) et des ions gypsifères (Ca^{2+} , SO_4^{2-}) par rapport à ceux carbonatés (Ca^{2+} , HCO_3^-) dans l'acquisition de la salinité. Ce bilan a également mis en évidence le phénomène d'échange de base entre les eaux de la nappe et les passages argileux, ce dernier a été révélé par l'augmentation des teneurs en Na^+ par rapport à Cl^- .

En 2002-2004 La classe Mauvaise : Elle regroupe les eaux qui se situent au centre et au Nord de la plaine. Elle est la plus répandue dans la nappe (54.84 %). [1]
En 2016 La classe Mauvaise : Elle regroupe les eaux qui se situent au centre et au Nord de la plaine. Elle est la plus répandue dans la nappe (50.23 %). [5]

On constate que les eaux souterraines subissent une dégradation selon le sens de l'écoulement, montrant ainsi l'effet de la lithologie et les eaux de surface influencé sur leur qualité.

4.4. Site du barrage

Dans un relief de hauts plateaux d'altitude moyenne de 800 m, le site du barrage occupe un relief assez plat et le verrou topographique est peu marqué.

L'axe retenu se situe au droit d'un resserrement topographique formé par la présence de bancs calcaires en rive gauche et en rive droite de l'oued.

4.4.1. Carrière

Une carrière a été située dans le Djebel Mesloula, exploitant des bancs de calcaires massifs de l'Albien. La carrière pourrait fournir des enrochements et des agrégats de bonne qualité en quantité suffisante.

Cette carrière a été visitée et il est clair que le Djebel Mesloula est la zone de carrière la plus proche du site du barrage capable de fournir en quantité suffisante les agrégats à béton, filtres et drains. Le site de la carrière est très vaste et les réserves considérables, bien au-delà des besoins du projet.



Figure 4.4 : Localisation de la carrière Mesloula / site.

Cette distance (20 Km) est pénalisante pour le projet, mais hélas, il ne semble pas qu'on puisse trouver à une distance plus courte un gisement de calcaire de cette qualité.

4.4.2. Zone d'emprunt

La zone d'emprunts est située en amont immédiat du site dans la plaine alluvionnaire de l'oued.

La zone alluviale s'étend largement vers l'amont pour former la cuvette sur plus de 10 km et une largeur moyenne de 350 m. Les investigations se sont étendues largement vers l'amont et ont pour but de définir les volumes disponibles et la qualité des matériaux en vue de la définition de leur mise en place pour les ouvrages en remblais.

On rappelle que l'ouvrage en remblai nécessite à lui seul plus de 2,5 millions de mètres cubes.

4.5. Variabilité spatio-temporelle des apports liquides et solides

Généralement, les apports solides minima mensuels sont enregistrés en Eté, cette saison est caractérisée par une faible pluviométrie et par conséquent un faible écoulement superficiel. Il est à remarquer cependant que les apports solides minima ne correspondent pas forcément au mois caractérisé par le plus faible apport liquide.

Cette variabilité s'explique par la variation du couvert végétal (sols nus) durant l'été et la nature agressive des pluies d'Automne.

Ces facteurs permettant aux premières crues d'Automne de transporter des quantités considérables de sédiments après une longue saison sèche caractérisée par de fortes températures et par la destruction des agrégats du sol par ces dernières. L'énergie produite par les premières pluies ainsi que le faible taux de couverture végétal en cette saison y contribuent.

La variation de l'apport solide en fonction de l'apport liquide est une variation proportionnelle dans la majorité des années sauf à quelques exceptions où l'apport solide présente des valeurs élevées même en présence de débit liquide moins important ceci est du généralement aux périodes de fortes crues qui succèdent les périodes de sécheresse.

4.6. L'enjeu de l'érosion hydrique sur l'environnement

La dégradation des sols a des effets visibles sur l'environnement physique et des conséquences socio-économiques négatives.

4.6.1. Effets visibles sur l'environnement

Parmi les signes et effets physiques visibles de la dégradation peuvent être cités les éléments ci-dessous :

- Les griffes, fines rigoles formées par l'eau, particulièrement en haut des pentes, sur le bord des pistes ou dans les champs sillonnés par les labours, elles deviennent des ravines par élargissement dû à la concentration de ruissellement excessif ;
- Les pavages de cailloux et de pierres laissés en surface, une fois les particules les plus fines du sol emporté par le ruissellement, observés dans un grand nombre de champs labourés et de terrains de pâture ;
- Les racines d'arbres et arbustes, exposées à l'air, ou mise à nu dans des cours d'eau, résultats d'une dispersion du sol ou d'un accroissement de ruissellement suite à la dégradation de bassins versants ;
- Les dépôts de sols sur les pentes douces, ou de graviers, sables et limons, dans les lits de cours d'eau résultent d'une érosion en amont ;
- Le déplacement du sol par piétinement résultant du pâturage sur les pistes à bétail au long des courbes de niveau, où les animaux font progressivement glisser la terre en bas de la pente ;
- Les mouvements du sol sous l'action du vent, mis en évidence essentiellement par la formation de dunes ;
- Les atterrissements dans les retenues de barrages, lacs et étangs ;
- L'envasement des barrages, retenues d'eau, rivières, canaux et système de drainage par la terre érodée des sols dégradés et la réduction des stocks de poissons à la suite de tels effets ;
- Les pertes de sol des terres agricoles peuvent avoir de graves répercussions sur l'environnement en plus de réduire la productivité des sols ;
- Les sédiments résultants de l'érosion hydrique provoquent la turbidité de l'eau dans les cours d'eau et les lacs, et l'accumulation de sédiments dans le temps risque de réduire le volume des lacs et des réservoirs. [30]

4.6.2. Conséquence socio-économiques négatives


- Menaces sur l'agriculture et la forêt

La forêt aussi subit les conséquences de la construction des barrages. En effet, la construction d'un barrage provoque une intense déforestation, qui a plusieurs origines, la première étant l'inondation de toute la zone de stockage d'eau en amont du barrage. D'autre part, la diminution de la productivité de la pêche entraîne des mouvements de population, dont des déplacements vers des zones forestières, qui sont alors déboisées pour permettre l'installation des populations et l'agriculture. [29]

- Diminution de la productivité de la pêche.
- Les problèmes sanitaires et de qualité de la vie : un environnement dégradé n'offre que de mauvaises conditions de vie.

4.7. CONCLUSION

Il pourra enfin être intéressant de voir à l'avenir comment perfectionner les traitements des eaux, aussi bien à grande qu'à petite échelle, et si ceux-ci pourront se développer de manière à résoudre le problème de l'eau potable en quantité suffisante pour chacun car tous, notamment dans les pays pauvres, n'ont pas accès à une eau pouvant être bue sans danger. En définitive, le traitement de l'eau mérite d'être mieux connu puisqu'il nous garantit une denrée vitale de plus en plus précieuse sous une forme épurée propre à la consommation.



**Conclusion
Générale Et
Recommandations**

CONCLUSION GENERALE ET RECOMENDATIONS

Dans le site de Chebabta, la succession des terrains sédimentaires est discontinue, cela est dû soit à des lacunes de sédimentation ou peut être plus particulièrement aux mouvements tectoniques successifs qui mettent en contact des ensembles stratigraphiques disjoints. Elle est composée de trois grands ensembles : Le trias, Le crétacé-tertiaire et le Plio- quaternaire, il manque donc le Jurassique, une partie du crétacé inférieur, l'Eocène, l'oligocène et une partie du Miocène.

Le bassin versant de l'Oued Meskiana jusqu'à la section du barrage de Chebabta a une surface de 1354 km² sous une forme allongée et ovale $Kc=1.69$ Avec un rectangle équivalent est de longueur $L = 97.14$ km et une largeur $l = 13.32$ km, avec un temps de concentration plus au moins lent $Tc = 19$ heures. Le bassin est caractérisé par un réseau hydrographique dense dont de la densité de drainage Dd est égale à 0.071 Km/Km².

L'étude hydroclimatologique permet d'attribuer à la région un climat Semi-aride caractérisé par des averses courtes et intenses, avec un hiver froid et un été sec et chaud. Les pluies sont irrégulières, elles varient entre 269 et 444.85 mm de l'ensemble du bassin avec une température moyenne annuelle comprise entre 14.5° et 20°c.

L'évaporation augmente à mesure que l'altitude diminue. Au site elle est de 188.25 mm.

Les écoulements de la surface enregistrés, à l'Oued Chebabta, par l'équation de Tixeront et Berkaloff donnent un apport à Chebabta égale 20.56 Hm³/an.

L'évaluation des apports liquides par les formules empiriques retenues montre que les deux formules d'ANRH et dite Algérienne donnent les meilleurs résultats par rapport aux données réelles. L'étude fréquentielle prévoit un apport de 20.4 Hm³, avec une période de retour de 20 ans.

L'étude qui suit est basée sur une cote de retenue normale de 805 m, qui correspond à une capacité utile de 80,98 Hm³. Dans ces conditions, le barrage de Chebabta permet de régulariser au total 18,72 Hm³. Soit environ 81% de l'apport interannuel de l'Oued Meskiana au site de Chebabta (20.4 Hm³. sur la période de 20 ans).

Le bassin de l'Oued Meskiana est moins bien érodé car les pentes sont faibles, le taux d'érosion est de 162.9 T/km²/an (Formule de Tixeront). Le rapport hydrologique estime ce volume à environ 3 hm³ pour une durée d'exploitation du barrage de 21 ans.

L'étude hydrochimique constitue que l'eau de surface de l'oued qui formera le barrage est douteuse.

Le Djebel Mesloula est la zone de carrière la plus proche du site du barrage capable de fournir en quantité suffisante les agrégats à béton, filtres et drains et l'ouvrage en remblai nécessite à lui seul plus de 2,5 millions de mètres cubes.

Cette étude peut être dit que la future réalisation de barrage Chebabta, il sera pour un petit barrage qui satisfait les besoins de la région.

L'eau qui composé le barrage a besoin d'un traitement chimique et physique.

Le reboisement du bassin versant amont pour correction torrentiel pour minimisé l'apport solide.

L'installation des ouvrages accessoires parallèlement à la construction du barrage pour gagne du temps (cas du barrage safsaf).



**Références
bibliographiques**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **Gouaidia.L. (2008)** : Influence de la lithologie et des conditions climatique sur les variations de paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-est Algérien. Thèse de doctorat, Univ.Badji Mokhtar-Annaba, 5-10p, 14-15 p, 32-35 p, 94p

[2] **Guehef.H. (2002)** : Approche d'une étude physico-chimique des eaux de haut Bassin versant d'oued Mélégué et leur aptitude à l'irrigation. Mémoire de fin d'étude, Univ.Larbi Tebéssa_Tebéssi, 7p

[3] **Conservation des forêts.** Wilaya d'Oum el Bouaghi.

[4] Power.larc.nasa.gov/data-access-viewer.

[5] **Chougar.R et.Lazreg.R. (2018-2019)** : L'état de minéralisation des eaux souterraines de la nappe de Meskiana et leur aptitude à l'irrigation, Mémoire de Master, Univ.Larbi Tebéssa_Tebéssi, 40p, 20p

[6] Etude de Barrage. (2017).

[7] **Mouici.R. (2010)** : Etude Critique du projet du Barrage de kouidiat M'aouer. Wilaya de Batna. Mémoire de Magister, Univ.Larbi Tebéssa_Tebéssi, 15-16p, 36-37p.

[8] Trad.D et Boulakhwa.A. (2014-2015) : Protection de la ville de Meskiana contre les inondations. Mémoire de Master, Univ. Oum El Bouaghi, 5p, 16p.

[9] revue.umc.edu.dz

[10] **Brahmi.S (2000)** : Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface du barrage de Beni Haroun (Est Algérien). Mémoire de Magister, Univ.Larbi Tebéssa_Tebéssi, p 65- 68.

- [11] **Roche.M(1963)** : Hydrogéologie de surface.Gauthier-Villars, Paris, p340.
- [12] **Thorntwaite. C.W, (1948).**"Ann Approche Tourbrda Rational classification of climat ». Vol38. pp.58-94.
- [13] **Serra.L.(1954)** : Le contrôle hydrologique d'un bassin versant. La houille Blanche(3^{ème} Journée de l'hydraulique,SHF)Paris ,p29-35.
- [14] **Castany.G.(1982)** : Hydrogéologie,principe et méthodes Dunod,p238.
- [15] **Turc.L.(1961)** : Evaluation des besoins en eau d'irrigation,évapotranspiration potentielle.Ann,agron.12(1),p13-51.
- [16] **Hasbala.M. (2011)** : Etude critique des apports liquides et solides : cas e sous bassin versant du Ksob dans le bassin du Honda, 20p, 35p.
- [17] www.universalis.fr/.../prospection-géophysique.
- [18] **Vanoni, (1977).** Sédimentation engineering. ASCE, Hydraulique Division P.19.
- [19] **Graf, (2000).** Hydraulique Fluviale. Presse Polytechnique Romande.
- [20] **Touaibia, (2000).** Erosion – Transport solide- envasement des barrages. Cas du bassin versant Mina, Thèse de Doctorat d'état, INA, El-Harrach,Algérie.
- [21] **Borst et al, (1940) / Woodburd et al, (1978).** Rain simulator studies of slop on erosion and runoff.USDA, Soil conservation, p : 30. **In HADIR Sofia, 2010.**
- [22] **CNEA, (2007).** Centre National des Etudes Agricoles(CNEA), (2007). Elaboration d'une étude sur l'état de désertification pour une gestion durable des RN, p191.
- [23] **Roose et al, (1994).** Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest, Travaux et documentation de L'OSTORM78, p 108.

[24] **Smith.Dd (1986)**. Predicting rainfall erosion losses: guide to conservation planning
USDA agriculture handbook N°232. Washington.

[25] **Bergsma et al, (1996). Charman P, Gibbons F, Hurni H, Moldenhauer W. C.
&PanichapongS, (1996)**. Terminology for soil erosion and conservation. ISSS.

[26] **Riesebos et al, (1985)**. Drop Shape and erosivity. Part II Splash detachment, transport
and erosivity indices. Earth Surface Processes and Landforms. 0(1): 69-74.

[27] **Govers, 1987 / Poesen, et al (1990)**. Field experiments on the transport of rock
fragments by animal trampling on screed slopes. Geomorphology 23, pp. 193–203, in **Cravo
Rios, M.,**

[28] **Casenaves et al, (1989)**. Etude des états de surface du sol et leur dynamique pour
différentes pratiques de travail du sol. Mise en point d'un indicateur de ruissellement.

[29] **Wischmeier et al, (2007)**. Prediction grain fall erosion losses, a guide to conservation
planning, Agriculture Hand- Book. N°537. USA.

[30] **Larney et al, (1995)**. [http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques
agricoles/sol-etterre/ gestion-des-sols/consequences-de-l-erosion/?id=1187283440379](http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/sol-etterre/gestion-des-sols/consequences-de-l-erosion/?id=1187283440379).

ANNEXES

ANNEXE 1

(GEOLOGIE)


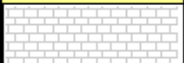







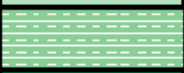


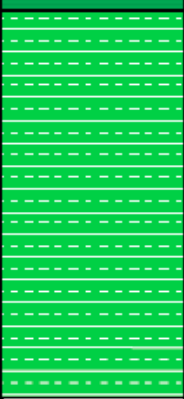



	Etage	Epaisseur (m)	Lithostratigraphie	Lithologie
QUATERNAIRE	Quaternaire	?		Limon gris et des graviers ; Croûtes rosâtres feuilletées ; Croûtes calcaires blanches .
				
NEOGENE	Tortonien- Langhien	60		Gres blancs grossiers a quartz
PALEOGENE	Thanétien-Yeprésien	200		Alternance de micrite décimétrique gris-blanchâtre et biomicrite décimétriques ou métriques blanchâtre.
	Montien	70		Marnes grises verdâtres
CRETACE	Maestrichtien sup	150		Calcaires noduleux ocrés avec quelques nodules de silex de couleur blanchâtre.
	Maestrichtien inf	50		Marnes gris-beiges.
	Campanien	230		Marnes noires Marnes et micrites
	Santonien	100		Marnes grises ou beiges à rares intercalations marno-calcaires.
	Coniacien	150		Mame grises et alternance de mame beige et calcaire gris.
	Turonien moy et sup	150		Alternance de mame grise à beige et calcaire zoogène noduleux.
	Turonien inf	200		Mame grise ou noire avec une intercalation de marno-calcaire blanchâtre.
	Cénomaniens sup et moy	800		Mame argileuse à plaquette de calcite et rare intercalation de mame, de marno-calcaire et de calcaire.
	Albien et Cénomaniens inf	55		Calcaires et mames argileuses noires
	Aptien	10		Marnes grises, biomicrite et dolomie.
TRIAS	Trias	?		Cargneule jaunâtre, dolomie noire, grès, gypse mameux et gypse fibreux.

Figure : Log stratigraphique de synthèse dans la zone de Meskiana. Tiré de GOUAIDIA Layachi 2008

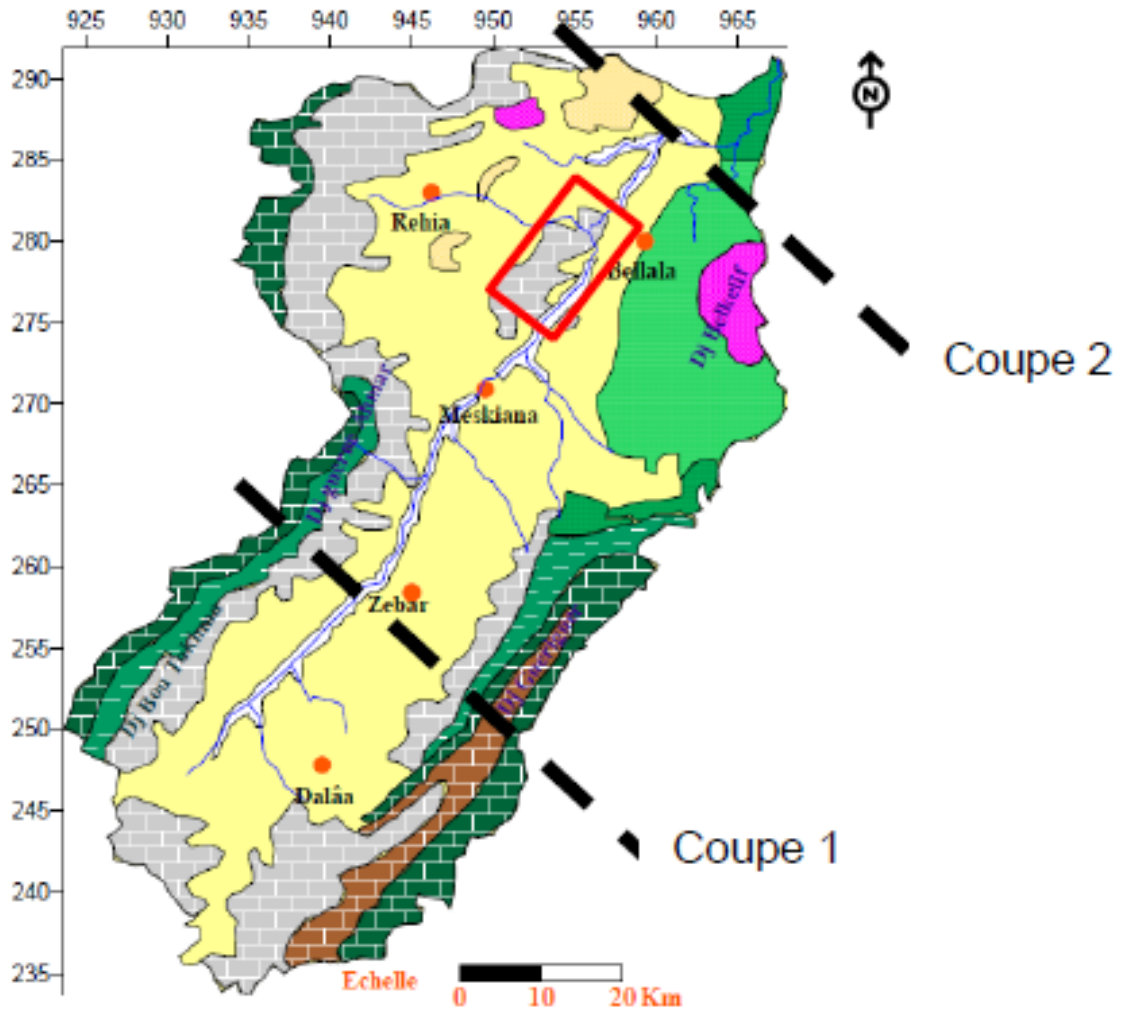


Figure : carte géologique de l'anticlinal de la Meskiana (Tiré de GOUAIDIA Layachi 2008).

ANNEXE 2

(HYDROCLIMATOLOGIE)

Les précipitations mensuelles interannuelles à la station de Meskiana

Années/mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Total	Annuels
1998/1999	49.8	14	16.8	26.5	14.2	22.2	15.3	41.7	33.6	49.4	6.7	4.5	295.2	24.6
1999/2000	42.7	44.2	43.8	15.6	18.4	35.6	22.4	36.2	59.21	14.8	4.8	26.7	364.41	30.36
2000/2001	7	33.2	46.3	12.8	42.2	48.6	22.7	17.6	13.6	17.9	7.8	28.3	298	24.83
2001/2002	11.4	32.7	4.3	32.9	13.7	41.4	41.3	19	21	6.8	0	15.4	239.92	19.99
2002/2003	23.7	21.2	16.8	43	25.7	15.9	64.5	15.4	57.4	22.2	15.9	6	327.7	27.3
2003/2004	66.55	12.6	16.75	36.4	10.5	19	60.9	2.5	26.8	13.2	36.5	23	324.7	27.05
2004/2005	15.83	25.4	36.4	16.7	10.2	17.4	42.6	19.2	33.3	34.2	13.7	5	269.93	22.49
2005/2006	14.44	22.6	30.2	27.5	12.7	2	23.8	27.6	56.1	41.4	11.5	36.5	306.34	25.52
2006/2007	18	13.5	23.9	25.4	43.3	10.4	34.7	26.3	19	45.3	8.7	101.3	369.8	30.81
2007/2008	38.6	7.8	31.6	18.7	43	19.5	40.6	50.8	48.35	17.1	13.2	115.6	444.85	37.07
2008/2009	37.5	29.4	60.1	34.5	32.4	31.3	44.3	25	54.9	14.4	8.5	35.6	407.9	33.99
2009/2010	58.9	52.4	39.6	14.2	20.3	24.9	22.3	25.6	17.7	23.2	13.4	24.5	337	28.08
2010/2011	44.08	28.4	61.05	48.4	5.3	27.9	19.4	14.5	22.36	12.8	7.1	2.3	293.59	24.46
2011/2012	16.05	26.2	9.9	19.5	44.2	20.9	9.4	13.3	31.7	50.6	14.5	6.7	263.15	21.92
2012/2013	82	36.8	7.4	5.7	88	23.5	52.4	30.2	12.7	15.8	7.6	3.5	365.6	30.46
2013/2014	94.9	33.7	28	8.2	10.5	60.9	39.3	30.5	13.83	27.6	7.5	15.5	370.43	30.86
2014/2015	56	5	42.6	22.9	27.6	4	27.8	50.7	12.06	12	0	19.4	279.86	23.32
2015/2016	32.1	40.5	26.7	13.5	51.5	2	15.7	9.9	18.51	36.3	13	13.3	273.01	22.75
2016/2017	42.1	51.7	36.3	27.9	23.7	11.7	31.8	15.4	80	22	5	13.6	361.2	30.1
2017/2018	20.3	48.7	39.5	23.2	20	14.8	6.1	12	50.96	36.5	10	8.5	290.56	24.21
2018/2019	41.2	32.7	13.5	13.9	22.8	16	5.5	11.1	31.6	28	6	46.7	269	22.41
Total	813.17	612.9	631.5	487.4	580.2	469.9	642.8	494.3	714.68	542	211.4	551.9	/	/
Moy	38.72	29.18	29.19	23.21	27.62	22.38	30.61	23.54	34.03	25.81	10.07	26.28	320.64	/

Les Températures mensuelles interannuelles à la station de Tebessa

Années/mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Total	Annuels
1998/1999	21.7	14.2	11	4.5	3.9	6.3	12.4	15.2	19	23.3	24.5	24.1	180.1	15
1999/2000	20.7	17.3	9.2	9.7	7.7	7.4	9.2	11.8	17	24.2	28	25.9	188.1	15.67
2000/2001	21.5	15.9	10.8	5.7	4.7	6.7	9.3	15.3	18.9	22.5	27.1	26	184.4	15.36
2001/2002	21.6	15	12.2	7.2	6.1	6	8.5	13	17	23.1	26.1	25.2	181	15.08
2002/2003	20.6	14.5	12	6.4	5.4	10.4	8.3	14.2	16.9	25.1	27.7	25.6	187.1	15.59
2003/2004	20.4	15.7	13	8	6.3	8.1	9.4	13.7	19.9	22	25	26.8	188.3	15.69
2004/2005	21	16.6	10.2	6.4	6.3	7.7	8.8	14.3	16.7	24.3	26.7	27.9	186.9	15.575
2005/2006	23.6	19.3	10.7	10.5	8.2	7.4	9.9	14.8	20.5	22.5	28	26.7	202.1	16.84
2006/2007	20.6	18.2	11.6	5.8	5.4	7.2	11.5	13.7	18.2	20.9	25.6	26.1	184.8	15.4
2007/2008	22.2	15.5	13.4	10.7	6.1	10.4	10.4	12.7	17.2	25.1	24.8	22.5	191.1	15.92
2008/2009	24.1	20	11.5	5.5	5.5	6.8	11.6	10.4	14.2	21.9	26.3	25.6	183.4	15.28
2009/2010	21.8	16.7	10.6	5.5	4.7	6.7	9.4	11.8	16.3	24.8	23.9	25.7	174	14.5
2010/2011	21.9	18	12.1	7.8	5.2	5.6	8.7	13.9	19.2	24.2	26.8	27	200	16.66
2011/2012	22.3	19.1	11.1	7.7	7.5	8.9	11.9	11.8	21.9	22.9	27	28.6	202	16.83
2012/2013	23.6	16.7	13.2	8.1	5.7	10.3	9.2	12.7	20.1	20.8	27.7	24.6	194.2	16.18
2013/2014	21.1	16.3	11.3	9.8	9	6.3	10.1	12.4	18.2	26.6	25.9	26.6	187.8	15.65
2014/2015	20.3	15	12.4	10.2	8.7	9.3	9.3	11.2	20.4	26.6	27.5	25.2	196.1	16.34
2015/2016	20.5	17	11.8	8.5	7.2	8.2	9.8	15.1	17.7	24.6	27.8	25.7	193.9	16.15
2016/2017	23.2	15	10.2	6.3	7.1	5.8	10.2	14.9	22.1	25.8	26.2	28.9	195.7	16.3
2017/2018	23.6	19.2	11.1	7.1	3.8	7.2	11.2	15.8	20.8	20	27	26.4	193.2	16.1
2018/2019	21.9	15.6	12.2	9.2	8	7.8	15.2	14.5	19.2	25.5	28.4	27.5	205	17.08
Total	458.2	350.8	250.6	160.6	132.5	160.5	214.3	283.2	391.4	491	557.5	548.6	/	/
Moy	21.81	16.7	11.93	7.64	6.3	7.64	10.2	13.48	18.63	23.38	26.54	26.12	190.37	15.86

ANNEXE 3

(HYDROLOGIE)

Tableau : Loi Hauteur – Surface – Volume

Cotes Z (m)	Surfaces en ha	Volume en hm³
770	1.3	0.01
771	2.4	0.05
772	3.5	0.09
773	4.6	0.13
774	5.7	0.16
775	6.7	0.20
776	13.4	0.44
777	20.2	0.67
778	26.9	0.91
779	33.6	1.14
780	40.3	1.38
781	54.7	2.14
782	69.1	2.90
783	83.5	3.67
784	97.9	4.43
785	112.3	5.19
786	135.4	6.89
787	158.5	8.59
788	181.6	10.29
789	204.8	11.99
790	227.9	13.70
791	250.2	16.53
792	272.5	19.37
793	294.8	22.20
794	317.1	25.04
795	339.4	27.88
796	394.2	32.64
797	449.0	37.41
798	503.9	42.17
799	558.7	46.93
800	613.5	51.70
801	666.4	59.15
802	719.2	66.61
803	772.0	74.07
804	824.8	81.52
805	877.7	88.98
806	941.0	99.34
807	1004.3	109.70
808	1067.7	120.06
809	1131.0	130.42
810	1194.4	140.78

Tableau : Apports liquides mensuels du bassin versant (en hm3)

Annuell	Aout	Juil	Juin	Mai	Avril	Mars	Fev	Jan	Déc	Nov	Oct	Sept
11,32	0,53	0,05	1,41	0,34	0,39	0,33	0,38	0,91	6,47	0,28	0	0,22
21,52	0,01	0,03	0,39	12	6,83	0,23	0,18	0,07	0,15	0,06	0,49	1,08
22,8	3,42	0	1,39	0,05	0,03	0,11	0,11	0,31	0,43	9,98	5,57	1,4
18,21	3,19	0	0,02	0,01	0,21	2,33	7,21	0,25	0,09	2,46	2,04	0,4
21,82	0	0	1,8	2,29	0,36	0,7	2,29	1,42	6,57	0,06	5,57	0,76
17,35	0,92	2,14	5	5,01	0,08	0,6	0,05	0,19	0,06	0,03	1,87	1,39
18,74	1,06	1,36	0,33	1	0,11	1,1	0,12	0,17	0,45	2,11	6,01	4,92
30,31	1,28	1,14	11,54	11,06	3,93	0,01	0,01	0,1	0,01	0,45	0,03	0,86
22,03	0,39	2,68	6,38	1,06	0,09	0,05	0,41	0,11	0,43	1,04	9,18	0,22
59,9	16,37	0,43	0,26	13,33	2,51	1,78	0,6	14,9	0,07	0,05	0,76	8,48
56,86	0,01	0,44	4,88	1,32	5,84	4,51	0,69	2,51	7,93	22,74	0,9	5,5
16,24	0,21	0,57	1,29	6,57	0,68	0,18	2,35	0,6	0,28	1,31	1,47	0,74
13,65	0	0,01	0,83	2,8	0,63	0,97	0,23	2,17	1,04	3,35	1,07	0,42
4,1	0,16	0	0,05	0,45	0	0,01	0,03	0,04	1	0,07	0,93	1,35
18,39	1,44	1,17	13,78	0,01	0,19	0,02	0,01	0,07	0	0,02	0,7	0,97
108,83	0,24	0,23	2,36	8,69	0,55	6,24	1,94	3,13	0,16	0,02	16,87	68,49
3,99	0	0,46	1,56	0,16	0,58	0,01	0,01	0,3	0,01	0	0	0,9
20,88	0	0,87	2,92	0,3	0,51	0,86	0,34	1,03	2,56	2,7	0,49	8,29
24,43	0	0,23	0,52	0,35	0,1	0,66	0,24	1,53	0,26	5,17	9,1	6,27
43,41	0,01	0,1	7,76	25,1	0	0,01	0	0	1,25	0,13	1,74	7,4
13,46	0,24	0,11	1,41	1,06	0,52	0,6	1,08	0,31	0,12	0,04	3,93	4,05
20,4	1,04	0,55	3,15	4,34	1,14	1,01	0,87	1,43	1,39	2,48	3,26	5,91