

N° d'ordre :

République Algérienne Démocratique et populaire
Université d'Oran
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement de Territoire
Département des Sciences de la Terre



Rapport

Présenté pour l'obtention du Grade
De Master en Sciences de la Terre
Option : Risques Naturels, Risque Géologiques et Gestion

Thème

**QUEL IMPACT SUR LA VARIABILITE DES ECOULEMENTS
DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED SIKKAK**

Présenté par

M^{lle}. HAKMI ZOHRA

M^{lle}. GATCHOULI AMINA

- M. MANSOUR H.	Professeur	Université d'Oran	Président
- M ^{me} . BAKRETI A.	Maître-assistante	Université d'Oran	Rapporteur
- M. FOUKRACHE M.	Maître-assistant	Université d'Oran	Examinateur

Oran, 2013

CHAPITRE I

PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT

CHAPITRE II

APPLICATION

Remerciements

Nous adressons nos plus vifs remerciements à notre directrice de recherche M^{me}. BAKRETI Amel pour ses avis autorisés qui nous ont éclairés tout au long de notre travail de recherche.

*Nous remercions aussi: M. MANSOUR H., M. FOUKRACHE M.
M. NADJI A., M. ZAROUAL I.*

Nous n'oublions pas ce que nous devons à nos professeurs de la faculté des Sciences de la Terre de l'Université d'Oran. Qu'ils trouvent ici une infime partie de notre reconnaissance pour leurs efforts. Qu'ils sachent que si nous ne les citons pas nommément, parce que trop nombreux, ils ont leurs noms inscrits d'une façon indélébile en notre cœur. Ils nous ont inculqué l'amour du savoir.

Dédicace

A la mémoire de mes feux grands parents, ils ont à jamais leur place dans mon cœur ;

Je dédie, aussi, ce modeste travail, à mes parents Abdelkader et Merbouha qui m'ont encouragé à continuer dans mes études au prix de beaucoup de sacrifices de leur part ;

A ma sœur Fatiha, son mari Abdelkader et tous les membres de sa famille pour leur soutien permanent ;

A mes frères et sœurs Hanane, Nourredine, Mohamed, Ines que j'aime profondément ;

A ma chère belle mère et mes belles sœurs et mes beaux frères toute la famille

A mon amie Gatchouli Amina et à toute sa famille ;

A tous mes amis ;

HAKMI Zohra

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANRH : Agence National des Ressource Hydraulique.

Auclair et Bichler (1967) Etude géologique des hautes plaines oranaises entre Tlemcen et Saida, publ. Serv. Geol. Alg. Bull.34.

Bakreti A. (2012) Analyse de L'écoulement sur le bassin versant de la Tafna.

Benest M. et Bensalah M. (1999) La couverture mésozoïque et Cénozoïque du domaine tlemcenien (avant pays d'Algérie occidentale) : stratigraphie et paléo-environnement. Bull. Serv. Géol. Algérie. 6 n°1 (41-59).

Bensaoula F. (1992) carte hydrogéologique d'Oued Mimoun au 1/50.000 et notice explicative (Algérie). Thèse Magister. Univ. Oran

Bois P.H. (2000) Hydrologie générale, Institut National Polytechnique de Grenoble.

Bouanani A. (2004) Hydrologie, Transport solide et Modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie). Thèse, Doc d'Etat, univ. Tlemcen

Boudjadja A., Messehel M. et Pauc H. (2003) Ressources hydriques en Algérie du Nord. Revue des Sciences de l'Eau, *vol. 16, n° 3*

Collignon, B., 1993. Les aquifères karstiques des monts de Tlemcen (Algérie), ressource en eau et exploitation. 11th UIS, Congress, Beijing, China, august 1993. Proceedings, p.166. International.

De Martonne E. (1927) Traité de géographie physique I, notion générales, hydrographie. Ed. A. Colin. Paris.

Doumergue F. (1910) carte géologique détaille Algérie à 1/50.000.

Fandi O., Bouanani A., Baba-Hamed. K et Bekkouche A. (2009) Modélisation du Transport des Particules du Sol en suspension dans L'oued Sikkak (Tlemcen, Algérie)

Colloque International Sols Non Saturés et environnement « UNSATlemcen09 » Tlemcen, 27 et 28 Octobre 2009.

Ghenim A.N., Megnounif A., Seddini A. et Terfous A. (2010) Fluctuations hydropluviométriques du bassin versant de l'oued Tafna à Béni Bahdel (Nord Ouest algérien). Sécheresse, vol.2, n° 2

Hayane SM. (1983) Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant d'oued Sikkak. Thèse, 3ième cycle, univ. Oran.

Khaldi A. (2005) Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien "Monts de Tlemcen - Saida". Thèse de Doctorat d'État, Université d'Oran, Algérie.

Lubès-NIEL H. Masson J-M., Paturel J.E. et Servat E. (1998) variabilité climatique et statistique. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité des chroniques. *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 11, n° 3.

Meddi M. et Hubert P. (2003) Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. In: Hydrology of the Mediterranean and semiarid Regions, IAHS Publication, vol. 278

Meddi M. , Talia A. et Martin C. (2009) Évolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie). *Physio-Géo Géographie Physique et Environnement*, vol. III

Pettitt A.N. (1979) A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, vol. 28, n° 2

Seltzer .P (1946) Le climat de l'Algérie, Univ Alger Inst Météo et Phys du globe. Carbonnel

Touazi M. , Laborde J.P. et Bhiry N. (2004) Régionalisation des débits moyens mensuels en Algérie du nord

Yebdri D. , Errih M., Hamlet A. et Tidjani A.B. (2007) The Water Resources Management Study of the Wadi Tafna Basin (Algeria) Using the Swat Model. African Water Journal, vol. 1, n° 1

Site internet :

http://fr.wikipedia.org/wiki/Lame_d'eau

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Tendance>

<http://www.oieau.fr/>

Liste des figures

- Figure 1. Situation du bassin versant de l'Oued Sikkak.
- Figure 2. Représentation du réseau hydrographique du bassin du Sikkak.
- Figure 3. Limite géomorphologique du bassin de Sikkak.
- Figure 4. Carte lithologique du bassin versant d'oued Sikkak.
- Figure 5. Colonne stratigraphique des monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines
- Figure 6. Zones aquifère d'après Collignon.
- Figure 7. L'abaque de De Martonne.
- Figure 8. Climagramme d'Emberger.
- Figure 9. Carte d'emplacement des différentes stations de mesure
- Figure10. Représentation graphique de la méthode de simple cumul de sation de Hennaya.
- Figure 11. Représentation graphique de la méthode de simple cumul de sation de Lalla Setti.
- Figure13. Représentation graphique de la méthode de simple cumulde la station de Bensekrane.
- Figure14. Représentation graphique de la méthode de double cumul sur les données de Hennaya et Bensekrane (1978-2005)
- Figure15. Représentation graphique de la méthode de double cumul sur les données de Hennaya et Lala Setti (1978-2005)
- Figure16. Représentation graphique de la méthode de simple cumul de la station de barrage Meffrouche.
- Figure17. Représentation graphique de la méthode de simple cumul de la station de Tlemcen
- Figure18. Représentation graphique de la méthode de double cumul entre la station de barrage Meffrouche et station de Tlemcen.
- Figure19. Représentation graphique de la méthode de simple cumul de la station de Ain Youcef.
- Figure20. Histogramme des précipitations moyennes annuelles des trois stations celle de Lalla Setti, Hennaya, Bensekrane(1978-2008)

- Figure21. Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Lalla Setti (1978-2005).
- Figure 22. Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Hennaya (1978-2005)
- Figure23. Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Hennaya (1978-2005)
- Figure24. Variation des précipitations moyenne annuelles des trois stations celle de Lalla Setti, Hennaya, Bensekrane (1978-2008)
- Figure25. Histogramme des températures moyennes mensuelles de la station de barrage Meffrouche (1987-2005)
- Figure26. Histogramme des températures moyennes annuelles de la station de barrage Meffrouche (1988-2000)
- Figure27. Variation des températures moyennes annuelles de la station de barrage Meffrouche (1988-2000)
- Figure28. Variation mensuelle des modules de l'oued Sikkak à la station d'Ain Youcef (1979-1999)
- Figure29. Variation des débits annuels de l'oued de Sikkak de la station Ain Youcef (1978-2006)
- Figure30. Carte représentative de la croissance démographique dans les communes de Tlemcen pendant la période (1987-1998)
- Figure31. Histogramme de la croissance de population de la willaya de Tlemcen (1987-2008)
- Figure32. Variation de la population en fonction des communes de la willaya de Tlemcen

Liste des tableaux

- Tableau 1. Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Sikkak.
- Tableau 2. L'indice d'aridité annuelle de De Martonne au niveau de la station de Tlemcen du 1980 au 2006.
- Tableau 3. L'indice d'Emberger au niveau de la station de Hennaya (Tlemcen) du 1988 au 2000.
- Tableau 4. Les caractéristiques des stations des mesures.
- Tableau 5. Les précipitations maximales annuelles des trois stations celles de Lalla Setti, Hennaya, Bensekrane (1978-2008).
- Tableau 6. La lame d'eau écoulee du bassin versant de Sikkak.

INTRODUCTION GENERALE

En Algérie, la partie Nord occidentale du pays est très vulnérable en matière des ressources en eau. La cause principale est reliée à l'irrégularité du climat semi-aride, qui règne sur le pays, caractérisé relativement par un aspect climatique doux, avec deux saisons une plus humide où se concentre la quantité la plus élevée des pluies de l'année et la seconde très chaude et très sèche caractérisée par une alternance des périodes caniculaires et l'absence presque totale des pluies. Dans cette région, la mobilisation des ressources en eau se fait pour une grande part grâce à la construction de barrages (A. BOUDJADJA *et al.*, 2003). Quoique depuis quelques décennies, on assiste à une augmentation des températures, de l'évaporation et une baisse significative des précipitations et des écoulements (TOUAZI *et al.*, 2004 ; MEDDI *et al.*, 2009 ; Bakreti *et al.*, 2012). Dans cette partie du pays, la diminution de la pluviosité a engendré des déficits d'écoulement allant de 37 à plus de 70% de l'est vers l'Ouest du pays (M. MEDDI et P. HUBERT, 2003) à qui s'ajoute l'accroissement de la population qui Est de 3.1% chaque année. Le bassin versant de la Tafna (7245 km²), surnommé jadis "le château d'eau de l'Ouest Algérien", subvenait aux besoins en eau des diverses utilisations de plus de 2 millions de personnes (D. YEBDRI *et al.*, 2007) grâce à ses barrages d'une capacité globale de 380.10⁶ m³, mais depuis le milieu des années soixante-dix, ce bassin enregistre un déficit pluviométrique estimé à 25 % (A.N. GHENIM *et al.*, 2010) qui a engendré une baisse très alarmante en écoulement. A travers cette étude, nous allons rechercher la vraie cause de la baisse de l'écoulement dans un des sous bassins de la Tafna le plus productif, celui de Sikkak. Nous allons donc tenter d'identifier le phénomène qui a pu provoquer la baisse des écoulements dans ce bassin ; chose que la communauté des chercheurs attribuent uniquement au changement climatique. Nous allons présenter les outils nécessaires pour mettre en évidence un autre phénomène, celui de la croissance démographique, qui pourrait aussi être l'une des principales causes de l'irrégularité de l'écoulement menaçant les ressources en eau dans ce sous bassin.

La présente étude se subdivise en deux chapitres :

Le premier donne une présentation générale du bassin versant de Sikkak en exposant ces différents aspects d'ordre géographique, géologique et climatologique.

Le deuxième chapitre est consacré à la partie pratique dans laquelle d'autres spécificités reliées au bassin qui sont discutés principalement ceux en relation avec la critique des

données, l'analyse des tendances des écoulements, des précipitations, des températures et de la croissance démographique de la région d'étude.

I. LA SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin versant de l'oued SIKKAK est situé au Nord-Ouest du territoire algérien, il s'étend sur la totalité de la région d'Ain Youcef de la Wilaya de Tlemcen. La superficie du sous bassin avoisine les 463Km² avec un périmètre de 65Km (fig.1). Il se localisé entre :

- au Sud, par les djebels NADHOR et BOULAADOUR.
- à l'Est, par les djebels ER-RAMLYA, OUKRIF et TABELDAOUT.
- à l'Ouest, par les djebels TEFATISSET et le plateau des ZENATA.
- au Nord, par les djebels TOUTLAIT.

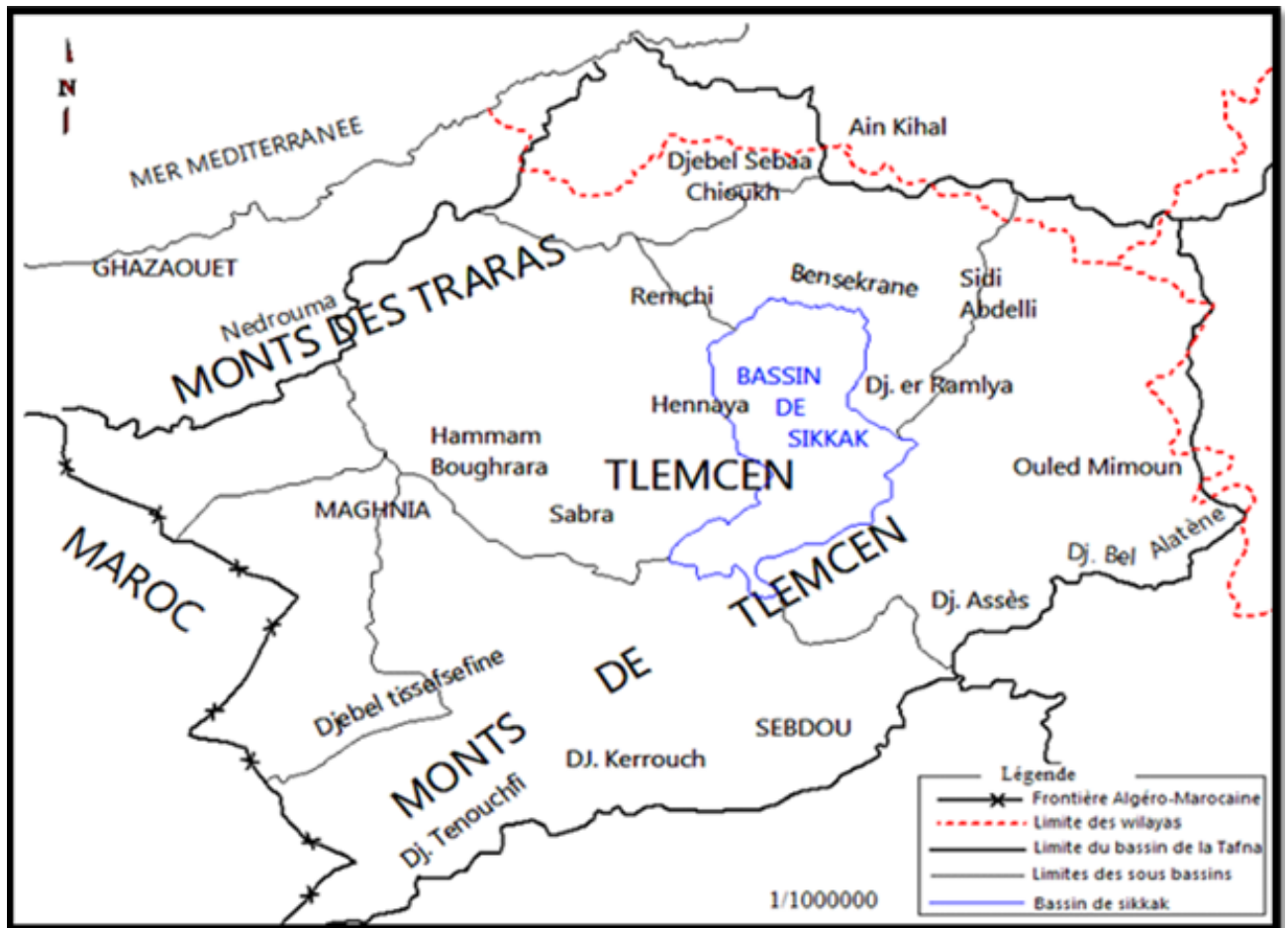


Figure 1. Situation du bassin versant de l'Oued Sikkak (In Hillali H. et Hillali M., 2013)

II. CARACTERSTIQUE DE FORME

Un bassin versant est une aire délimitée par des lignes de partage des eaux, à l'intérieur de laquelle toutes les eaux tombées alimentent un même exutoire. Une ligne de crête se confond très souvent avec une ligne de partage des eaux. Chaque bassin versant se subdivise en un certain nombre de bassins élémentaires (sous-bassins versant) correspondant à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans le cours d'eau principal. Le bassin versant est indiqué par différent paramètres (relief, forme), ces paramètres qui donnent lui ces caractéristiques d'écoulement.

A propos de l'oued Sikkak nous avons déterminé les principales caractéristiques du bassin versant de l'oued Sikkak. Son cours d'eau principale atteint 55,7Km avec une altitude maximale qui avoisine les 1400m. D'après la détermination de l'indice de compacité de Gravelius (k_c) qu'il permet de caractériser la forme du bassin versant, qui est supérieur à 1. Nous concluons que le bassin est relativement allongé, ce qui peut traduire une érosion linéaire. D'après la valeur indice de pente globale d'Ig, le relief du bassin versant de l'oued Sikkak est assez fort.

La courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued Sikkak présente des pentes faible vers les hautes altitudes. Cela implique que le bassin versant commence par une falaise et présente des pentes faibles vers les basses altitudes permettant l'existence d'une vallée encaissée. Alors que la concavité vers le bas de la courbe hypsométrique montre que le bassin va vers l'état d'équilibre.

Superficie (Km ²)	463
Périmètre (Km)	65
Longueur de thalweg principale (Km)	55,7
Indice de compacité	1,23
Indice de pente de roche	0,36
Indice de pente globale (m/Km)	0,037
Altitude minimale	200
Altitude maximale	1400
Altitude moyenne	475

Tableau 1. Caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Sikkak (in KHALDI, 2005)

III. ETUDE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations carbonatées du Jurassique et il se modifie avec l'évolution de la tectonique.

« Le type de formations géologiques qui affleurent dans les bassins versants a une influence sur la répartition des écoulements superficiels. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en générale une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles. Par ailleurs, un bassin formé de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles, avec une végétation moyenne, présente souvent une densité de drainage élevée, ce qui favorise le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration ». (Bouanani, 2004)

Dans notre cas, les sous bassins de la Tafna sont formés par des formations de perméables à semi-perméables qui couvrent la majorité de la superficie du bassin, ce qui provoque l'infiltration des eaux de surface. Toutefois, l'abondance relative de formations carbonatés karstiques, représentées par les dolomies de Tlemcen et de Terny dans les bassins de Sebdou, Sikkak et Isser permet sans doute de différencier le comportement hydrologique de ces bassins à celui du Mouilah dont plus de la moitié de la superficie est occupée par des alluvions plio-quaternaires surmontant les marnes et grés miocènes au niveau de la plaine de Maghnia. Les marnes et les argiles étant plus facilement érodables et transportables en suspension. (In Bouanani 2004).

Les paramètres importants qui régissent le régime hydrologique d'un cours d'eau sont : la densité de drainage (Dd), le rapport de confluence (Rc) et le rapport des longueurs (Rl). Dans notre cas concernant l'oued Sikkak, la densité de drainage est égale à 1,51 (Bouanani, 2004). Se basant sur le rapport de confluence ($R_c=2$) qui nous permet de qualifier un oued comme organisé et sachant que l'oued Sikkak a un rapport de 3,76. Alors, ce dernier est moyennement organiser. Aussi, le rapport de longueur de l'oued est approximativement de 1,63. Donc, ces résultats indiquent que nos sous bassins versants sont en général assez bien drainés (fig.2).

En outre, l'importance du drainage est due principalement d'une part au régime climatique caractérisé par ses pluies irrégulières et violentes, et d'autre part à la nature des formations qui forment le bassin ainsi qu'aux pentes assez fortes des versants. C

l'indice de pente de roche du oued Sikkak correspond à 0,36 et l'indice de pente globale est environ 0,037 ce qui donne un ruissellement superficiel rapide et par conséquent un temps de concentration court qui égal à 9h 30 mn. Ces deux indices montrent qu'il y a une assez forte pente dans ce oued qui donne une densité de drainage importante. Mais, cette dernière est freinée par une formation karstique de l'oued favorisant une grande infiltration des eaux provoquant une baisse des écoulements de ces eaux.

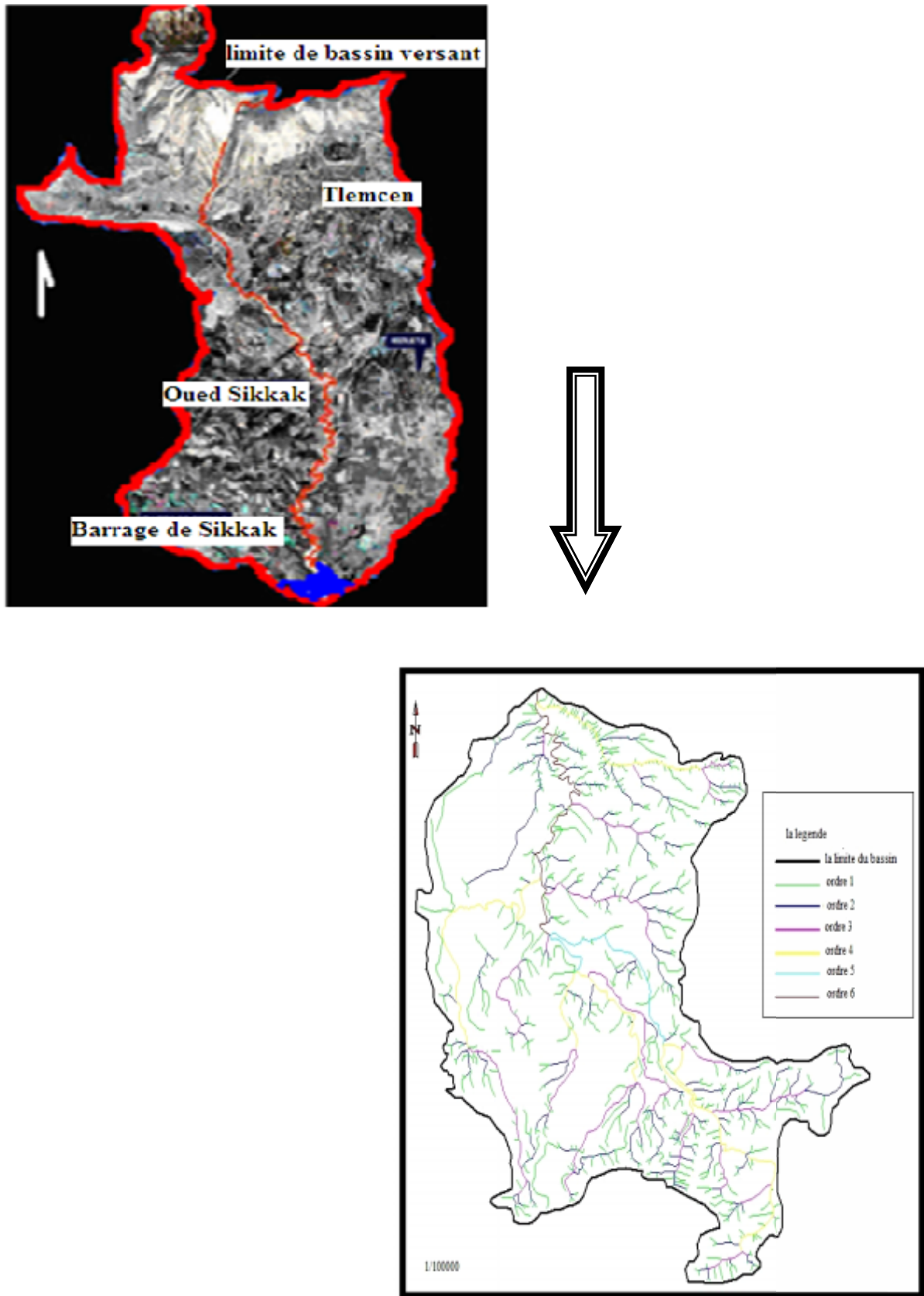


FIGURE 2.Représentation par MNT du réseau hydrographique du bassin du Sikkak

(Bakréti, 2004).

IV. SYNTHÈSE SUR LA GÉOLOGIE DU BASSIN ÉTUDIÉ

La lithologie joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport des matériaux solides. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grès, calcaires, dolomies,...). La nature des affleurements a une influence sur l'hydrologie de surface et le type du dépôt alluvionnaire.

IV.1. Cadre géologique

- Secteur d'étude

La zone étudiée s'insère dans l'ensemble « des monts de Tlemcen » limitée :

- au Nord, par le Tell.
- au Sud, par les plaines Oraïnes.
- à l'Est par, les monts de Daïa.
- à l'Ouest, par le Horst de Ghar Roubane. (fig.3)

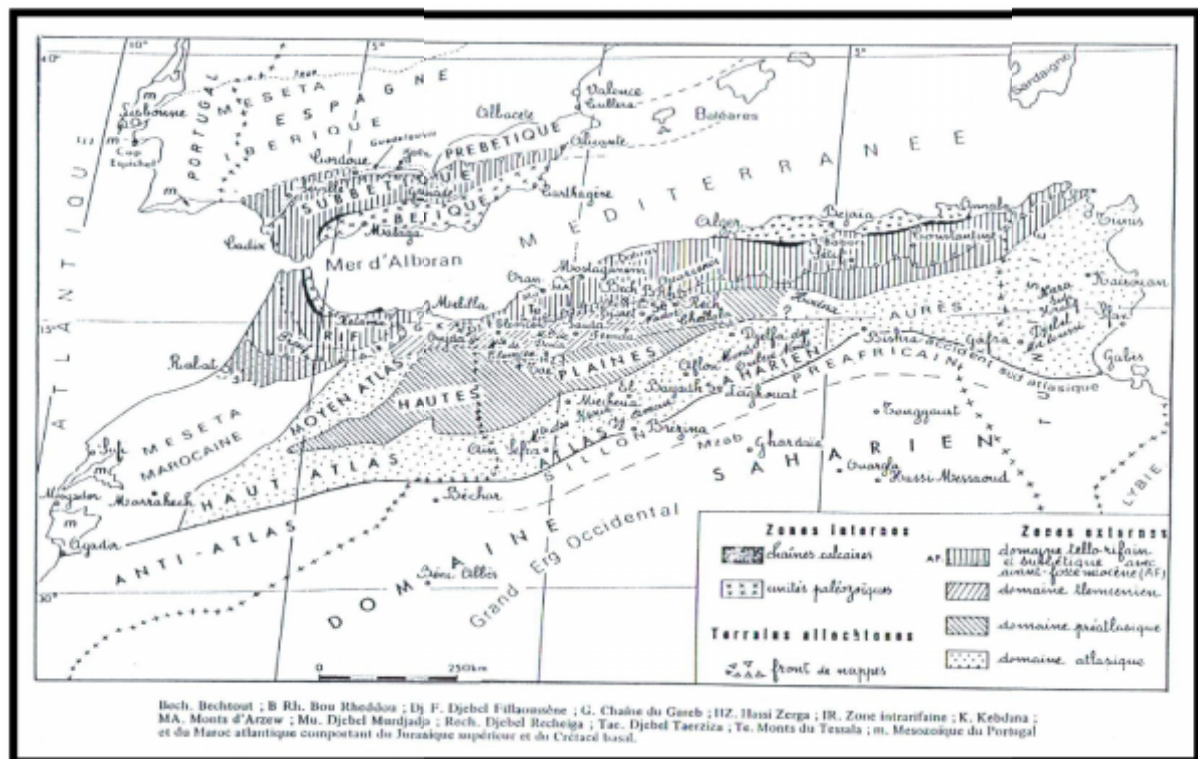


Figure 3. Limite géomorphologique du bassin de Sikkak (In BENEST 1999).

IV.2. La série lithostratigraphique :

Dans le secteur étudié deux grands ensembles sont à distinguer :

- au Nord, une dépression où le principal élément ayant contribué au remplissage est représentée par le Miocène et le Quaternaire.
- au Sud et à l'Est, les massifs montagneux où affleurent principalement des terrains Jurassiques. (fig.4)

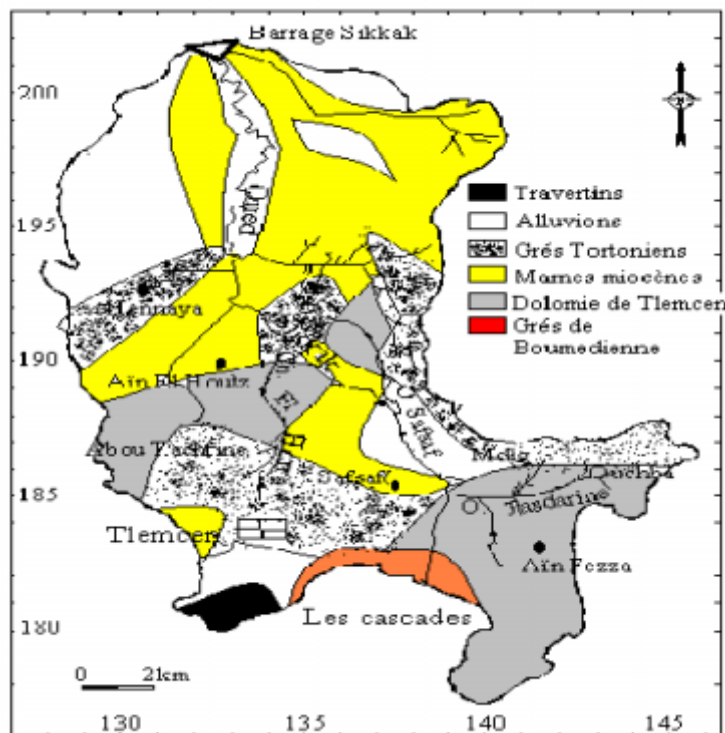


Figure 4. Carte lithologique du bassin versant d'oued Sikkak (in Bouanani, 2003).

IV.2.1. Le secondaire :

La série lithostratigraphique présentée de bas en haut selon Benest et Bensalah 1999 :

A. Les grès de Boumediene (Oxfordien supérieur-Kimméridgien supérieur) :

Ce sont des grès à éléments fins sous forme de gros bancs séparés par des inter lits argileux, le ciment presque toujours calcaire. Les alternances sont souvent rouges ou vertes et de grès à stratification oblique. Il s'agit d'un ensemble à dominance gréseuse qui affleure aux environs

de Tlemcen en particulier près du sanctuaire de Sidi Boumediene. L'épaisseur de cette formation est de 200 à 400m en moyenne. Ces grès sont situés particulièrement dans les forêts de Zarifet et d'Hafir, au Sud-Ouest de Terny, au niveau des cascades d'El Orit et vers l'Est, dans la région d'Oum El Allou.

B. Les calcaires de Zarifet (Kimméridgien supérieur) : Cette formation tire son nom du col de Zarifet situé à 5 Km au Sud-Ouest de Tlemcen. Il s'agit de bancs calcaires de position intermédiaire entre les grès de Boumediene et les dolomies qui forment les falaises des environs de Tlemcen. Leur base est caractérisée par quelques bancs de calcaires micritiques, détritiques et marneux. La majeure partie de la formation est constituée par des pelmicrites, en bancs épais, souvent constellées de *Clypeina* Jurassique (Favre). Elle peut être réduite ou partiellement dolomitique (épaisseur de 25m environ au col de Zarifet).

C. Les Dolomies de Tlemcen (Kimméridgien terminal) : Cette formation correspond au grand escarpement dolomitique qui domine Tlemcen et couronne le cirque des cascades. Les Dolomies qui la composent, en grande partie, sont parfois grossièrement cristallines en raison d'une dolomitisation tardive. Dans la partie sommitale se différencient localement des calcaires de Stah. Elles sont assez répandues dans le groupement puisqu'elle affleure au djebel Tefatisset, Ain El-Hout et Oudjlida. L'épaisseur de cette formation peut atteindre 300m dans la région de Tlemcen.

D. Les marno-calcaires de Raourai (Tithonien basal) : Il s'agit d'alternance de marnes gris verdâtres ou blanchâtres et de calcaires marneux durs. C'est une formation plutôt calcaire que marneuse avec une épaisseur de 100m en moyenne, et près de 400m au djebel Raourai. Cette formation est particulièrement bien développée sur djebel Tefatisset à la limite Ouest du groupement au niveau de la zone champ de tir, djebel Ain El-Hout et El-Hadid au Nord de Chetouane. Au dessus de ces marno-calcaires viennent les « calcaires de Lato » définis par Benest en 1972. Il s'agit de micrites et de pelmicrites à stratifications obliques, en bancs épais.

E. Les Dolomies de Terny (Tithonien inférieur) : Il s'agit de dolomies massives (100m en moyenne) bien imposée sur le plateau de Terny ou elles débutent par des niveau à silex stratiformes. Cette formation qui peut être partiellement calcaire, montre souvent des stratifications obliques et entrecroisées ainsi que des passées de laminites stromatolotiques.

F. Les marno-calcaires de Hariga (Tithonien supérieur) :
Ils affleurent, dans le secteur étudié, uniquement à l'Est de Terny près du barrage de Meffrouch où seule leur base calcaire est conservée. Cette formation comprend une

alternance de calcaire avec quelques passées de laminites et de marnes plus ou moins tendres avec une épaisseur de 165m à djebel Hariga d'El Gor.

La série stratigraphique expliquée avant est démontrée par la (fig.5) ci-dessous :

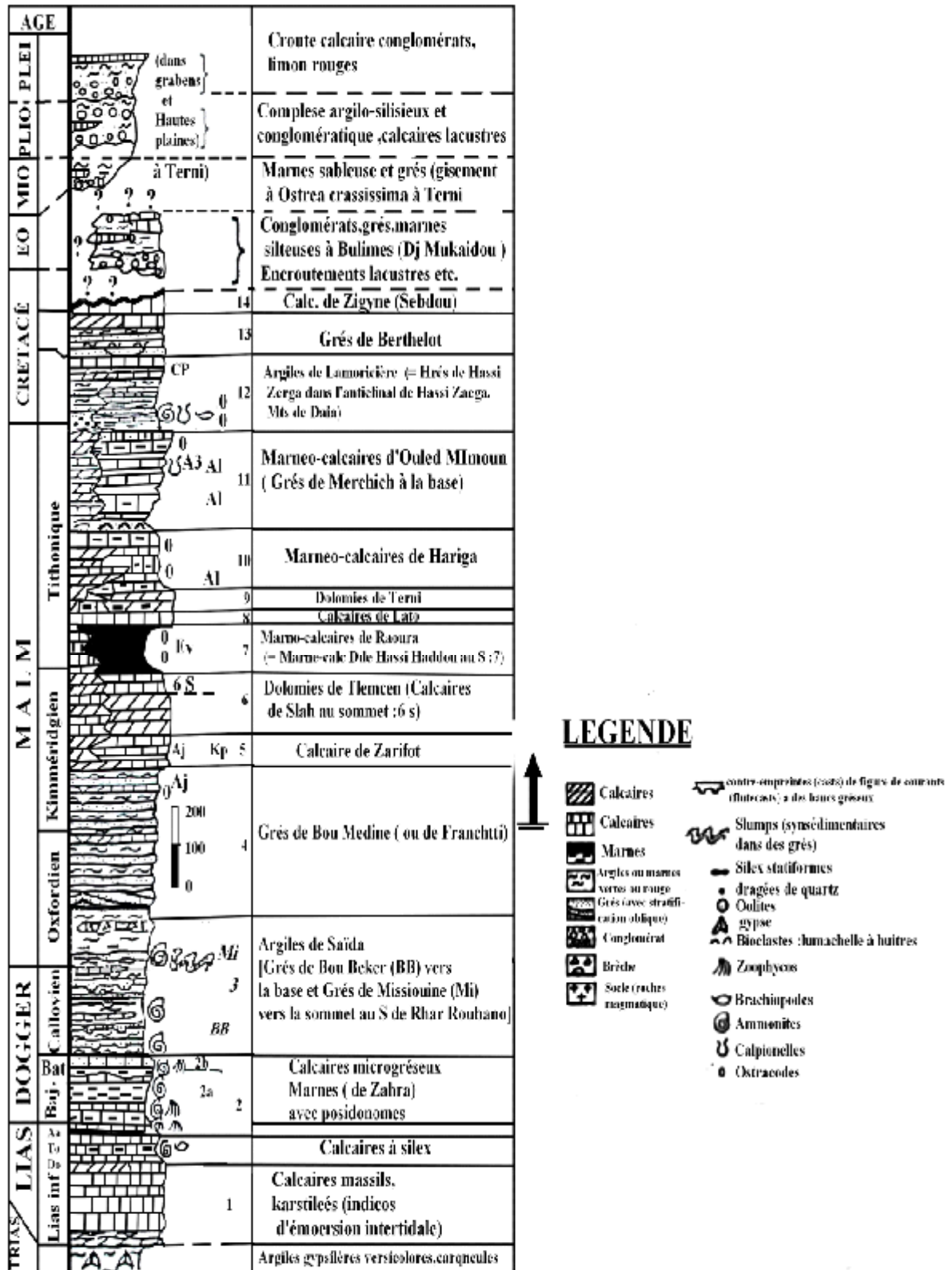


Figure 5. Colonne stratigraphique des monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines (Benest & Bensalah 1999)

IV.2.2. Le tertiaire

Il est représenté par des dépôts essentiellement marins. On peut distinguer, en partant des niveaux les plus anciens :

A. L'Eocène : représenté par des grès fissurés à ciment argileux alternant avec des marnes verdâtres, leur épaisseur est de 50m. Elles affleurent dans la vallée de l'Oued Sikkak.

B. Le Miocène inférieur : se développe uniquement à l'Ouest de l'agglomération d'Ain El Hout. Il débute par une assise de poudingues, à nombreuses valves d'Ostréa, qui s'appuient sur les dolomies de Tlemcen. Ces poudingues, hétérométriques et polygéniques, sont formés par des éléments calcaires, dolomitiques et gréseux unis par ciment calcaire. Ce faciès, très résistant et fissuré, montre un granoclassement normal avec des intercalations marneuses à la base. Il est discordant sur les niveaux carbonatés du Jurassique supérieur. Il s'agit de dépôt argilo-gréseux, autochtones. L'épaisseur moyenne de conglomérats peut être estimée à 20m, et des marnes sont de 70m.

C. Miocène moyen: il est constitué par une épaisse série de marnes grises ou bleutées dans la masse devenant ocres par altération. Au sein de cette série s'intercalent de nombreux bancs décimétriques de grès jaunes, plus fréquents au sommet. L.Gentil (1902) a trouvé dans les marnes du Ravin de l'Agadir, sur la rive gauche de l'oued Saf-Saf et au Nord de Tlemcen, un gisement de fossiles important par le nombre et la variété des espèces attribué à l'Helvétien. Ces marnes sont très développées dans les vallées de l'oued Amyer où leur puissance est de l'ordre de 100m.

D. Miocène supérieur "Tortonien" : formé par des dépôts de grès, jaunes d'or ou citron fissuré, atteignant 20 à 30m d'épaisseur. Ils s'y intercalent des valves d'Ostréa crassissima que l'on peut voir particulièrement bien au niveau de ravin de l'Agadir et près de Mansourah à Ain Deheb.

IV.2.3. Le quaternaire :

Une étude de ces dépôts continentaux a été récemment proposée par P.Guardia 1975 :

A. Les alluvions anciennes :

-Le complexe de piémont : Ce complexe est représenté par des éboulis de piémonts plus ou moins en croûtes, d'épaisseur assez faible.

-Les travertins : Les dépôts des travertins proviennent de la dissolution interne des massifs calcaire-dolomitiques, grâce à la quantité de carbonate de calcium déposée par les eaux des émergences. Ils constituent de puissants dépôts pouvant atteindre 60m (Lalla Setti au Sud de Tlemcen, et Ain Fezza) (Hayane, 1983).

-La croûte calcaire : Cette croûte est formée par un encroûtement particulièrement bien marqué dans la plaine d'Hennaya où il masque partiellement les grès Tortonien. Cette croûte de teinte claire et des croûtes lamellaires, est caractérisée par une petite épaisseur ne dépassant pas 1m.

-Le glaciais de pente Soltanienne : Il s'agit de formation soltanienne, le plus souvent limono argileuse. La partie de marne non atteinte par les érosions récentes forme de grands glaciais de sol rouges.

B. Les alluvions récentes : Ce sont des dépôts limoneux occupant les parties basses des plaines et des vallées aux abords des cours d'eau.

IV.3. Analyse structurale :

La structure actuelle de l'Algérie du Nord est liée aux mouvements hercyniens et alpins qui ont permis l'individualisation de plusieurs domaines. En Oranie, du Nord au Sud :

- le domaine tellien représenté par les monts des Traras et des Sebâa Chioukh,
- le domaine Tlemcenien dominé essentiellement par les monts de Tlemcen,
- les hautes plaines oranaises,
- le domaine atlasique,
- et le domaine saharien.

Le bassin de la Tafna comprend de grandes plaines, dont les deux principales sont celles de Maghnia à l'Ouest et celle des Ghossels à l'Est entourées de massifs élevés :

- le massif des Traras comprenant la chaîne des Fillaoucène qui s'étend vers l'Ouest par le massif des Béni-Snassen.

- les monts de Tlemcen dessinant la bordure Sud du bassin et s'interposent entre deux domaines bien définis : Le domaine des nappes du Tell au Nord, le domaine stable des hautes plaines oranaises au Sud.

La terminaison occidentale des monts de Tlemcen qui s'élève graduellement du Nord vers le Sud-est occupée par un massif montagneux représenté par les monts de Rhar-Roubane. (Bouanani, 2004)

Dans la région étudiée, nous avons quatre types d'accidents principaux :

-accidents WSW-ENE (Nord70°E) : qui morcellent la région en panneaux allongés suivant leur direction et qui sont des zones hautes ou effondrées.

-accidents SSW-NNE (Nord 20°E) : le réseau de ces fractures est celui des transversales de L. Glangeaud (1951). Recemment S. Elni (1970) a souligné leur rôle dans la structure des monts de Tlemcen. La plupart de ces accidents ont fonctionné en décrochements senestres.

-accidents SSE-NNW (Nord 140°E) : ce sont des failles ayant joué en décrochements dextres.

-accidents E-W (Nord 90°E) : Ce sont des failles ayant joué en décrochements dextres.

IV.4. Hydrogéologie de la région :

Les études des formations géologiques de la région de la Tafna permettent d'individualiser certaines formations aquifères. Les eaux issues de ces aquifères sont d'une qualité physico-chimique bonne avec une faible minéralisation. Les eaux sont de faciès bicarbonaté calcique ou magnésien. Les formations du Lias et du Dogger ont donné généralement des eaux chargées 1,6 à 3,5 g/l à la limite de la potabilité (Achachi, 1996).

Au nord des monts de Tlemcen le jurassique s'enfouit très rapidement sous des épaisseurs importantes du Miocène essentiellement marneux. Au sud, le jurassique disparaît aussi sous les dépôts néogènes essentiellement conglomératiques appelées conglomérats des hauts plateaux (Collignon, 1986).

Sur la base de travaux de terrain et de ceux de Benest (1985), Collignon (1986), Bensaoula (1992), on peut dire que la karstification de ces formations carbonatées est très hétérogène, tant en profondeur qu'en surface.

Cependant, dans le groupement de Tlemcen, ces aquifères karstiques se trouvent sous une couverture épaisse de formations mio-plio-quadernaire dont l'épaisseur varie de 6 m à 320 m dans la zone effondrée de Tlemcen. Ceci rend ces réservoirs captifs avec des niveaux d'eaux artésiens

L'étude lithostratigraphique et tectonique des différentes formations montre que les seuls niveaux présentant un intérêt géologique sont :

- les dolomies de Tlemcen et les calcaires qui leur sont associés
- les dolomies de Terny
- les grés tortoniens
- les conglomérats de la plaine d'Hennaya

Tout le reste de la série joue le rôle d'imperméable.

La tectonique joue un grand rôle dans l'hydrogéologie de la région; les nombreuses failles et diaclases ont haché les massifs calcaréo-dolomitiques et ont permis le développement de la Karstification en profondeur. (fig.6)

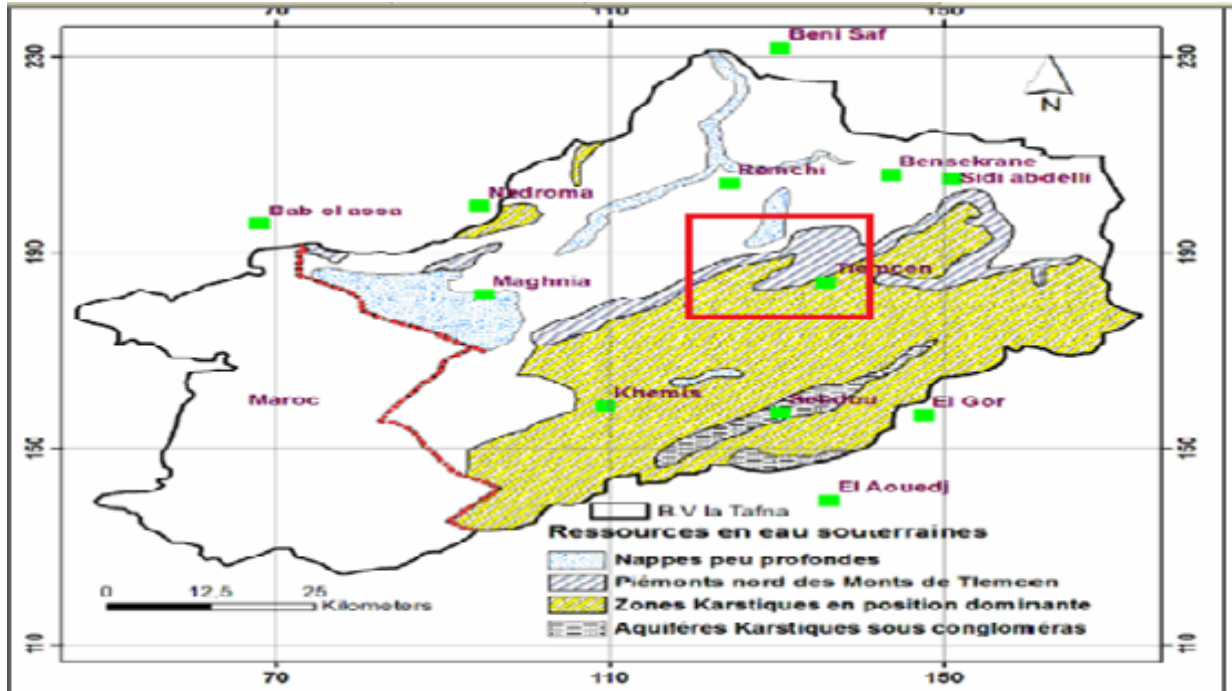


Figure 6. Formation réservoir dans la région de Tlemcen d'après (Collignon.1984).

V. SYNTHESE CLIMATIQUE

V.1. Changement climatique

Au cours de la dernière décennie, la problématique des changements climatiques a été reconnue comme l'un des problèmes majeurs du développement à l'échelle locale et régionale voire même à l'échelle internationale, aux côtés du développement durable, de la préservation et de la protection de l'environnement. La plupart des sujets de préoccupation recouvrent ou convergent vers le domaine de la gestion des ressources en eau. De fait, la tendance actuelle est de considérer que les réponses au changement climatique font partie intégrante de la prise de décision sur la gestion durable des ressources en eau.

V.1.1. Changement climatique en Algérie

L'environnement a commencé à se dégrader au sein des peuplements humains et autour des premières usines de la révolution industrielle mais, loin de ces endroits, la capacité de purification de l'écosystème suffisait à limiter la plupart des effets de la présence humaine.

Dans la plus grande partie de l'Afrique, la sécheresse est la calamité climatique la plus fréquente. En Algérie, il est admis que des mesures sont nécessaires pour améliorer la capacité à s'adapter à la variabilité hydrologique et aux phénomènes extrêmes (inondations et sécheresses) observés aujourd'hui dans des circonstances dynamiques (notamment les pressions actuelles dues à la démographie, à l'économie, à l'utilisation des terres et au développement régional), de même que pour réduire les vulnérabilités significatives de la société, de l'économie et de l'environnement aux impacts futurs.

L'Algérie et surtout l'Ouest, a connu plusieurs grandes sécheresses durant ce siècle, les années 40 et les années 80 jusqu'à nos jours. La plus récente a été caractérisée par la diminution de la pluviométrie associée à l'accroissement considérable de la température durant les deux dernières décennies a influencé par son ampleur spatiale, son intensité et par son impact majeur sur la diminution des ressources en eau.

V.1.2. Climat en Algérie du nord :

Le climat en Algérie du Nord est de type méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de Septembre à Mai et un été sec (Seltzer .1946).

Le climat du bassin de la Tafna est doux est humide, la température moyenne annuelle est de 15,5°C en été. Les deux mois les plus chauds sont Juillet et Août, et ont une température moyenne de 26°C(Dekkiche A. 1998).

Le climat est effectué via les moyens établis à partir mesures annuelles et mensuelles des données atmosphériques locales celle de la température, la précipitation, la pression atmosphérique, l'ensoleillement, l'humidité, vitesse du vent.

Il existe plusieurs indices climatique pour estimer un climat d'une région, on peut prendre comme exemple :

a. L'indice d'aridité annuelle de De Martonne (I):

L'indice d'aridité annuelle de De Martonne noté(I) est exprimé par le rapport entre les précipitations et les températures, cet indice permet de déterminer le degré d'aridité annuel d'une région selon la relation suivante:

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

P : précipitations moyennes annuelles en (mm)

T : températures moyennes annuelles en (mm)

A partir de cette méthode statistique, De Martonne élabore un système de classification de climat :

- $I < 5$ Région hyperaride (Déserts absolus).
- $5 < I < 10$ Région aride (Région désertique).
- $10 < I < 20$ Région semi-aride.
- $20 < I < 30$ Région semi-humide.
- $30 < I$ Région humide.

Nous appliquons cette méthode sur les données des précipitations de la station de Hennaya et les données des températures de la station de barrage Meffrouche d'une période de 12 ans (1988-2000).

Les résultats des calculs obtenus sont représentés sur le tableau suivant :

P (mm)	T (°C)	Indice d'aridité (I) de De Martonne	Type de climat
384,9	16,17	14,70	Semi-aride

Tableau 2. L'indice d'aridité annuelle de De Martonne de l'oued Sikkak (1988-2000)

L'indice « I » est compris entre 10 et 20, et d'après la classification de Martonne et leur abaque ci-dessous (figure n° 7) la région est caractérisée par un climat semi-aride avec des écoulements temporaires.

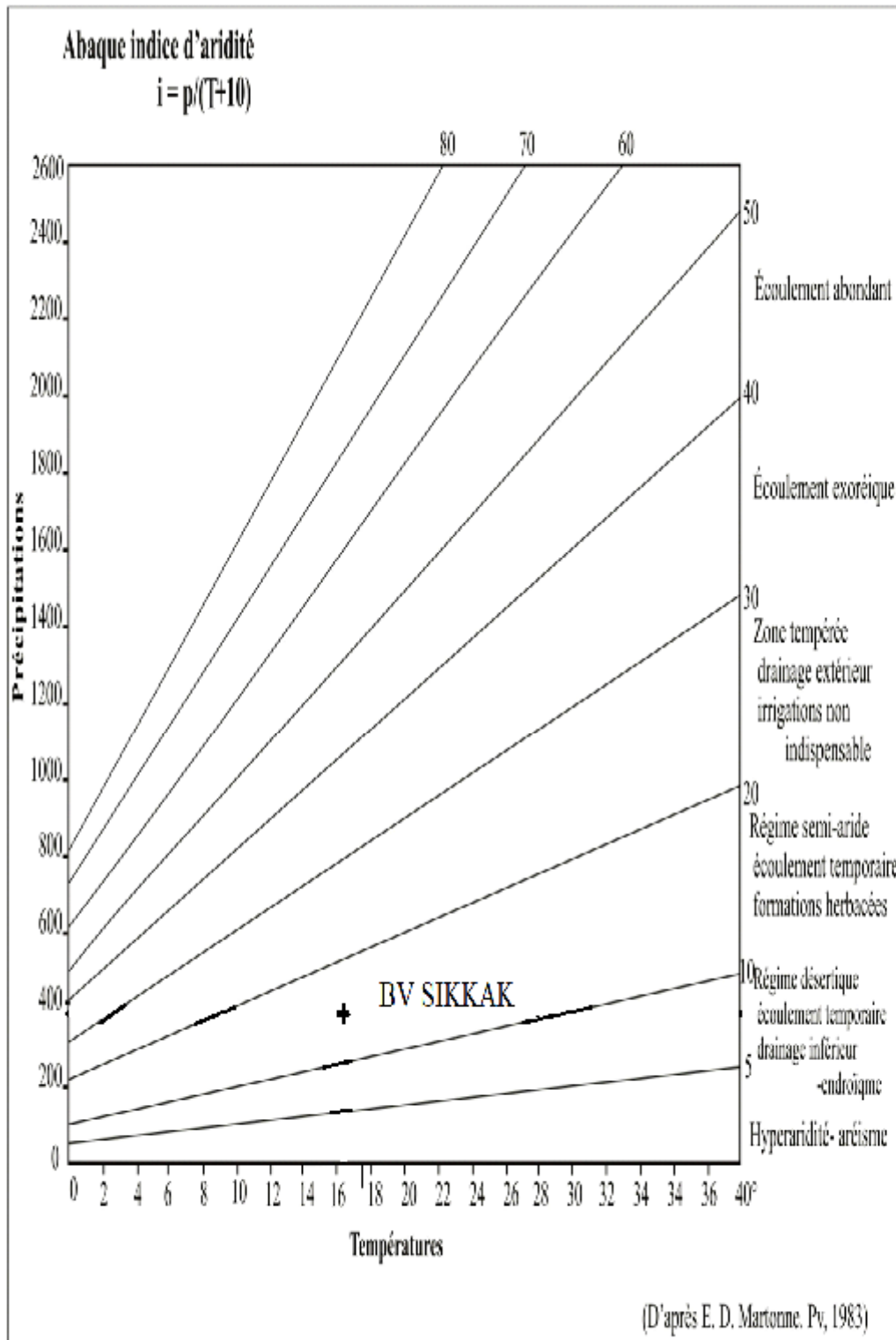


Figure 7. L'abaque de De Martonne.

b. Le climagramme d'Emberger :

Cet indice est basé sur les limites des zones occupées par les différentes associations végétales, donc Emberger utilise la relation suivante :

$$Q_2 = \frac{P}{\frac{(M + m)}{2} (M - m)} \quad 1000$$

avec :

Q_2 : Quotient pluviométrique d'Emberger.

P : Moyenne des précipitations annuelles (mm).

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en (°K).

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

$(M + m) / 2$: Température moyenne.

$(M - m)$: Amplitude thermique moyenne.

Où T (°K) = T (°C) + 270

Les résultats des calculs obtenus sont représentés sur le tableau suivant :

P (mm)	M (°K)		m (°K)		Q_2
413,9	23,29	296,29	12,02	285,02	68,1

Tableau 3. L'indice d'Emberger de l'oued Sikkak du 1988 au 2000

Nous avons trouvé que l'indice d'Emberger est de 68,1 pour la station de Hennaya pour la période de (1988-2000)

On reportant cette valeur sur le digramme qui comporte en ordonnées les valeurs de Q_2 et en abscisses, la moyenne des minima du mois le plus froid en (°C), nous pouvons dire que notre région a un climat semi-aride à hiver tempéré.

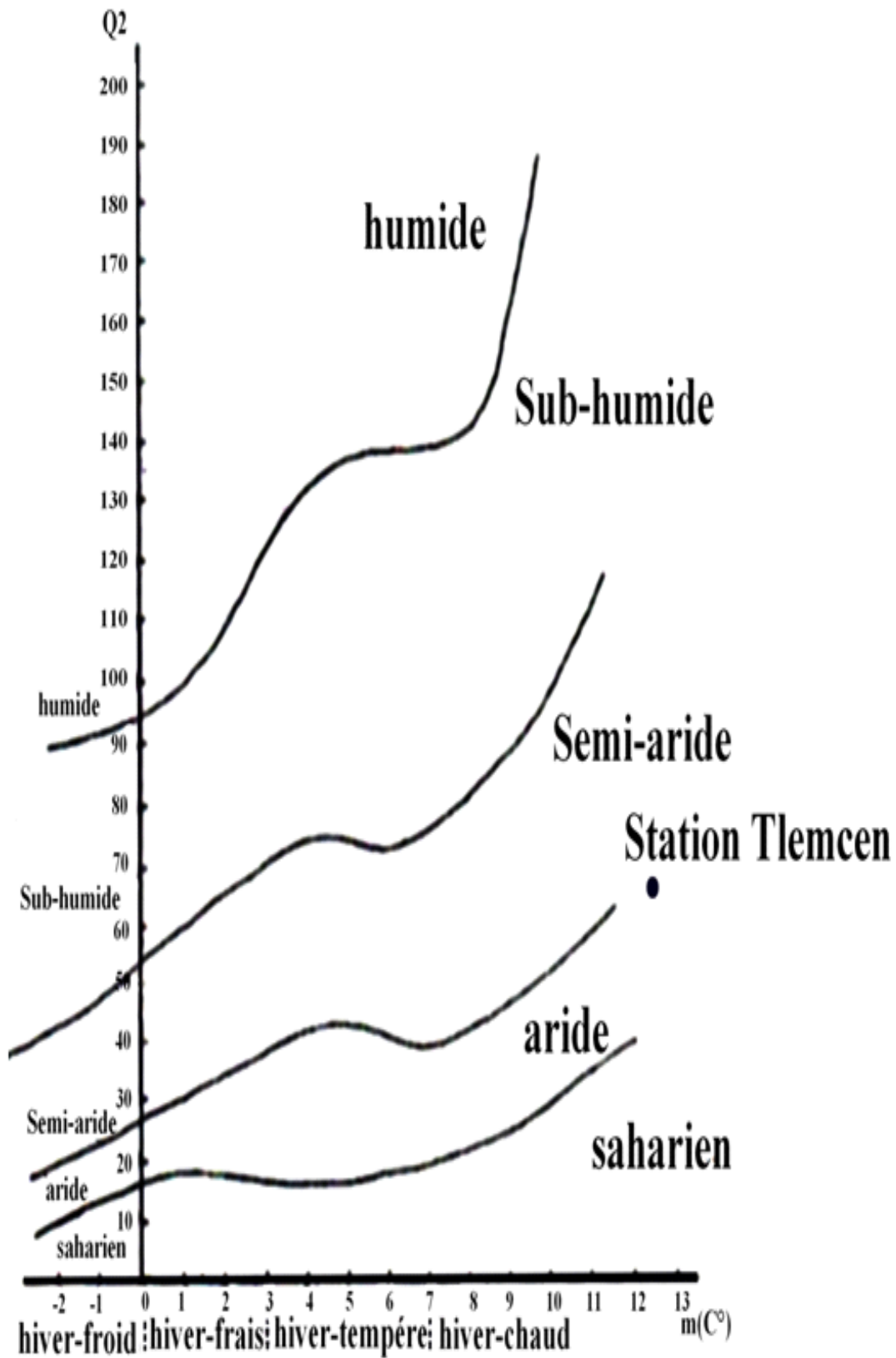


Figure 8 : Climogramme d'Emberger.

Conclusion partielle :

L'étude géologique de la région montre qu'il existe une hétérogénéité des faciès géologiques rencontrés. Les résultats d'étude de De Martonne et d'Emberger ont fait ressortir un climat semi-aride à hiver tempéré.

L'oued Sikkak est un oued assez bien drainé ayant une densité de drainage égale à 2.76 Km/Km^2 ; malgré sa forme allongée avec une assez forte pente qui peuvent favoriser le ruissellement, la vitesse du drainage est diminuée par la formation karstique de l'oued.

L'oued Sikkak est classé parmi les oueds les plus importants de la région de Tlemcen, son influence est plus importante encore surtout par rapport aux oueds de moindre envergure. Notons aussi qu'il contient un barrage rajoutant de son intérêt. Donc, il est primordial, à notre sens, dans le cadre de la présente étude de déterminer la ou les causes ayant provoqué la baisse de son débit d'écoulement. C'est ce que nous tenterons d'atteindre dans le 2^{ème} chapitre de notre travail.

I. Critique des données :

I.1. Introduction:

Dans un bassin versant les stations pluviométriques fournissent des mesures ponctuelles indispensables pour le suivi et l'analyse des paramètres de pluies et des écoulements. Elles sont installées dans des conditions spécifiques et forment un réseau d'observation.

Ces points de mesure sont d'une haute importance pour les statistiques climatiques, la planification, la gestion des ressources et les projets de construction.

La représentativité des précipitations ou des débits par les mesures est fonction du réseau d'observation. Plus celui-ci est dense, meilleure est l'information et plus l'ensemble des mesures sont représentatifs de la lame d'eau observée sur le bassin en question.

I.2. Contrôle des données

Avant de pouvoir exploiter les données et bien qu'elles soient dans un format adéquat, il importe de contrôler la fiabilité et la précision de ces dernières. Le contrôle de la validité des données d'observation est un travail préalable indispensable à toute analyse correcte malgré les nombreux contrôles manuels intervenant dans la chaîne de traitement des données climatologiques.

Après un contrôle très souvent manuel au niveau de la station, les documents sont de nouveau contrôlés au service central. Nous constatons encore des erreurs de nature fort différentes qui ont été commises. Elles sont dues au capteur mal entretenu et à des erreurs de transcription des données du carnet d'observation sur les CRQ (compte rendu quotidien) ; des CRQ sur les TCM (tableaux climatologiques mensuels) ou sur support informatique. Pour les stations bénévoles, il existe par contre un TCM réduit. Il existe deux types d'erreurs :

Les erreurs aléatoires (accidentelles), Ces erreurs affectent la précision des données et sont dues à des facteurs indéterminés. Il faut pour cela en tenir compte lors de l'évaluation de l'incertitude finale car ces erreurs ne peuvent être évitées.

Les erreurs systématiques, Les erreurs systématiques sont le plus souvent dues au calibrage de l'appareil de mesure qui n'est pas toujours parfaite ou causé par d'autres phénomènes extérieurs tels que les erreurs d'appareillage ou même le changement de l'observateur.

I.3. Etude d'homogénéité des séries :

La question de l'homogénéité ou de l'hétérogénéité des observations est un problème important compte tenu des conséquences que peut entraîner l'utilisation de séries non homogènes, considérées en fait comme homogènes. Une série est dite homogène si les observations qui la composent ont été observées de la même façon et si elles sont issues de la même population. Pour les statisticiens, la série de données est dite homogène si les propriétés statistiques de l'erreur de mesure affectant ces données sont restées invariables au cours de la période d'observation.

D'une façon générale les éléments climatiques dans le temps ne se produisent pas de la même façon et la série correspondante n'est pas toujours homogène.

Les causes perturbatrices les plus courantes de l'homogénéité des observations sont :

- Le mauvais état ou la défectuosité des appareils de mesure.
- Un changement d'observateur.
- Le déplacement de la station (différences topographiques).
- Le changement de type des appareils, de leurs conditions d'installations (hauteur au-dessus du sol...).

L'opérateur doit connaître l'historique des stations d'observation ce qui permet d'expliquer les causes de l'hétérogénéité lorsqu'elles existent. Cet historique comprend le nom de la station, les coordonnées, les périodes, le personnel d'exploitation et les détails sur son équipement.

Les séries de données de nos stations, comme nous venons de l'évoquer précédemment, sont le plus souvent non homogènes. C'est ce qui nous a amené à faire une étude d'homogénéité de ces dernières.

I.3.1. La méthode de simple cumul

Le principe de cette méthode consiste à cumuler les valeurs annuelles observées de chaque paramètre à traiter, une fois que les valeurs sont cumulées, il faut les mettre en ordonnées et le temps en abscisse. A partir de cumulés en fonction du temps Nous disposons d'un nuage de points, ces derniers fluctuent autour d'une droite. Si Nous constatons une cassure de la droite Nous concluons que la série correspondante présente une tendance, des observations erronées ou des valeurs exceptionnelles. Lorsque la cassure est nette on peut par simple lecture sur le

graphique déterminer l'époque où s'est manifestée l'erreur et contrôler dans les documents les causes de cet incident. (Khaldi.A.2005)

I.3.2. La méthode de double cumul (Bois, 2000)

Le principe consiste à cumuler les valeurs annuelles observées de chaque paramètre à traiter ; une fois que les valeurs sont cumulées, il faut les mettre en ordonnées en fonction d'une deuxième station en abscisse de la même région, qu'on appellera station de référence, cette dernière devra être homogène dès le départ.

La similitude de comportement des deux stations se traduit par un quasi alignement des points représentatifs ; Une déviation de comportement d'une des deux séries (stations) va se traduire par un nouvel alignement le long d'une droite différente de la première.

$$X_I = \sum_{j=1}^{j=i} X_i \quad , \quad Y_I = \sum_{j=1}^{j=i} y_i$$

Les stations de référence considérées sont celles des stations de barrage, car les techniciens de l'ANRH confirment l'homogénéité de ces stations. La station d'Hennaya TLEMCEN est aussi considérée comme une station homogène. Cette méthode est particulièrement utilisée pour tester l'homogénéité et détecter l'époque de la tendance de quelques stations de la région d'étude.

I.4. La localisation des stations

Les stations de mesure concernées par la présente étude sont celles de : Hennaya, Bensekkrane, Lalla Setti Ain Yousef et Brg. Meffrouch.

Nous avons choisi la station d'Hennaya comme une station de référence pour les deux méthodes utilisées, celles de simple cumul et du double cumul.

STATIONS	CODE	COORDONNEES		SOURCE	PARAMETRES
		X	Y		
Lalla Setti	16-07-05	133,9	181,8	ANRH	Précipitation en (mm)
Hennaya	16-05-16	126,7	188,2	ANRH	Précipitation en (mm)
Bensekrane	16-07-02	143,4	205,3	ANRH	Précipitation en (mm)
Mefrouche	16-07-01	135,5	180,2	ANRH	Température (T) en (°C)
Ain Yousef	16-07-04	131,7	201,7	ANRH	Débit (Q) en (m ³ /s)
Tlemcen	16-07-26	132,2	182,7	ANRH	Température (T) en (°C)

Tableau 4. Les caractéristiques des stations des mesures.

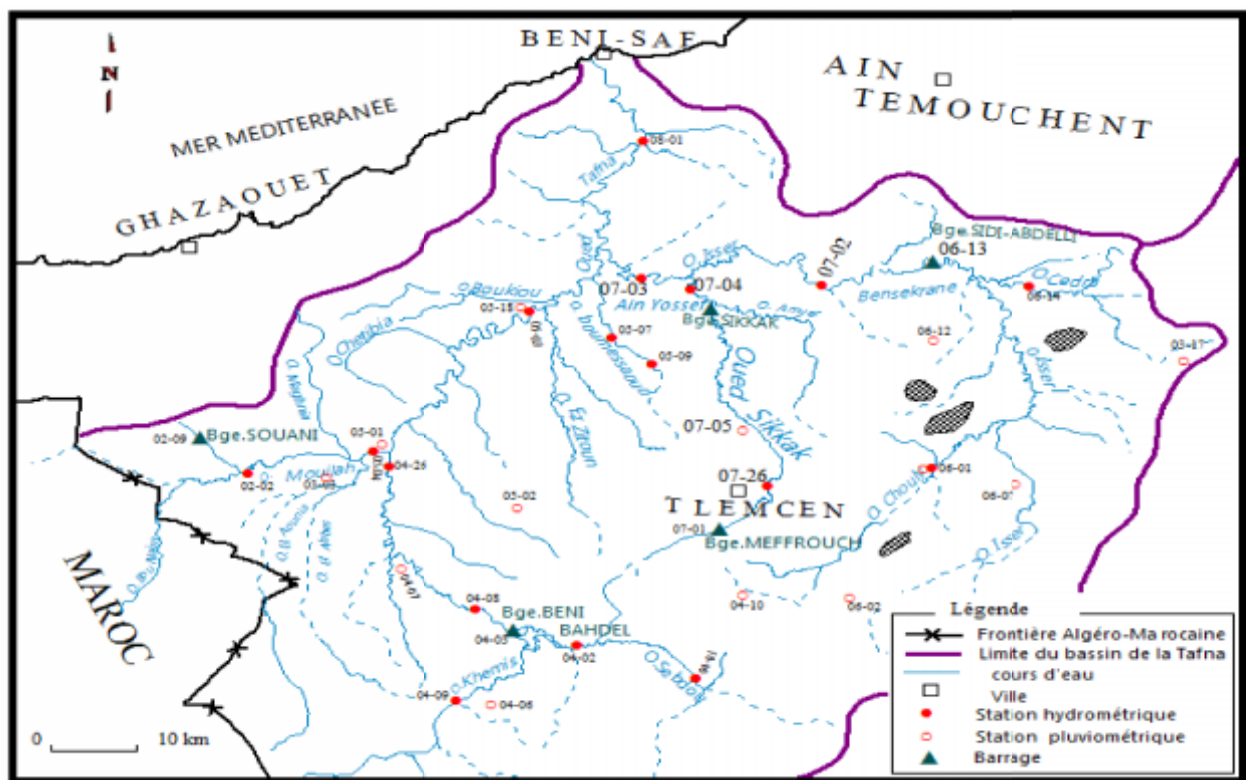


Figure 9. Carte d'emplacement des différentes stations de mesure.

I.5. Recherche de l'homogénéité des données

Les données pluviométriques qui ont été collectées et analysées proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H). L'homogénéisation et la reconstitution des données ont été effectuées par la méthode de simple cumul et de double-cumul. La période d'observation retenue pour l'étude s'échelonne de 1978 au 2005.

I.5.1. Les données des précipitations

I.5.1.1. Méthode de simple cumul

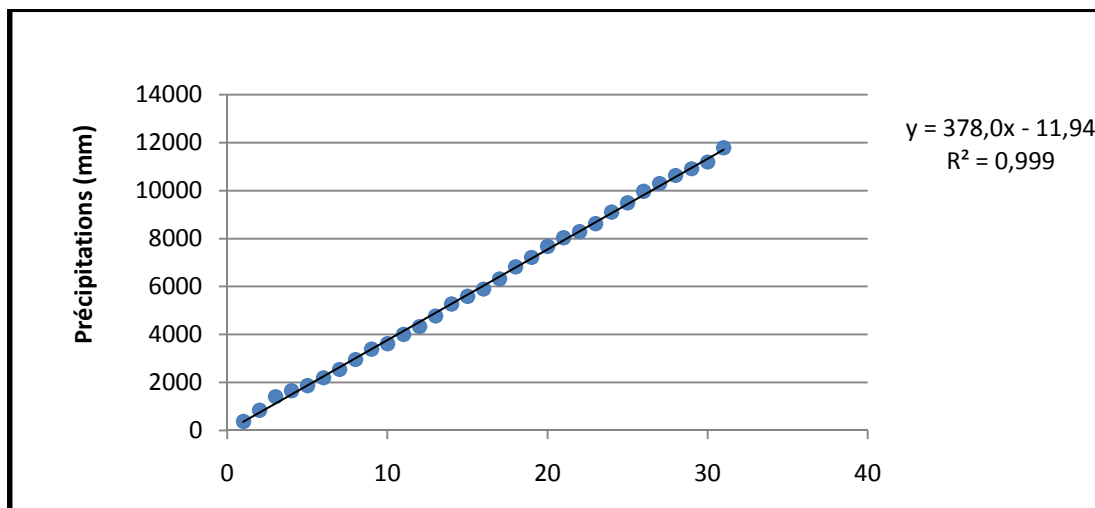


Figure10 : Représentation graphique de la méthode de simple cumul de station de Hennaya.

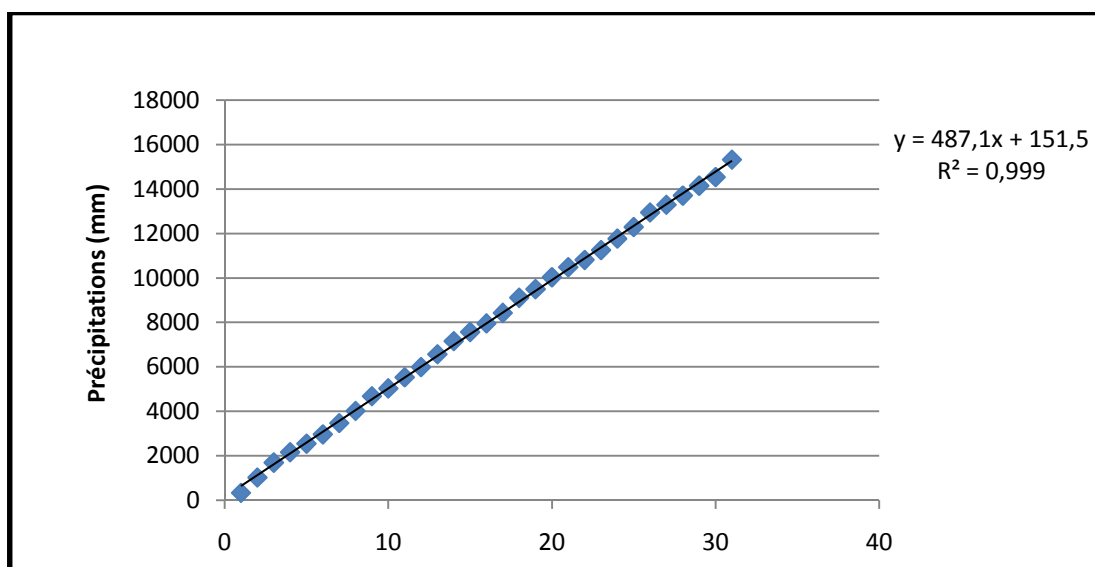


Figure 11. Représentation graphique de la méthode de simple cumul de station de Lalla Setti.

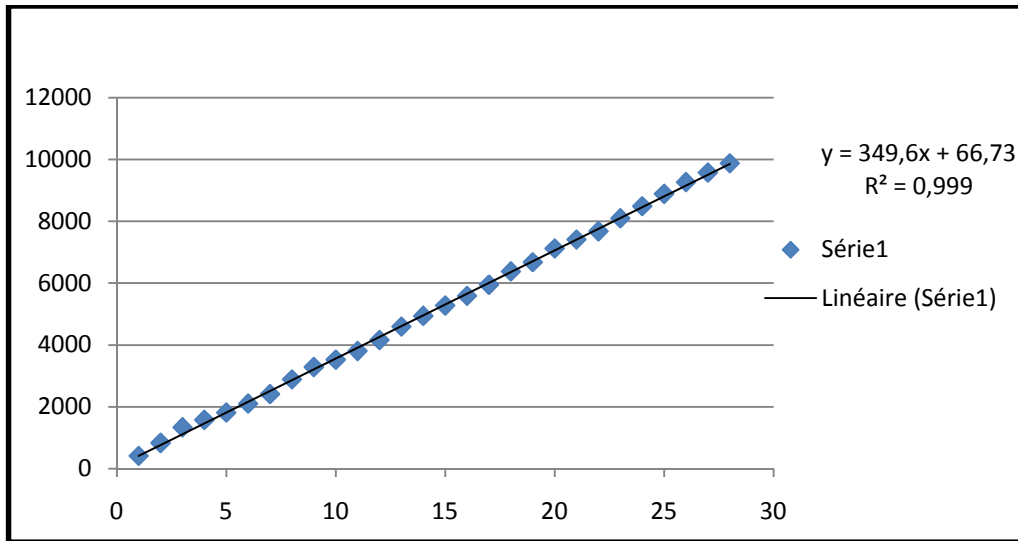


Figure13. Représentation graphique de la méthode de simple cumule de la station de Bensekrane.

Les données de précipitation des trois stations représentent un ajustement des points selon la droite, qui montre une homogénéité, où on peut dire que ces données existent dans la même population.

I.5.1.2. Méthode du double cumul

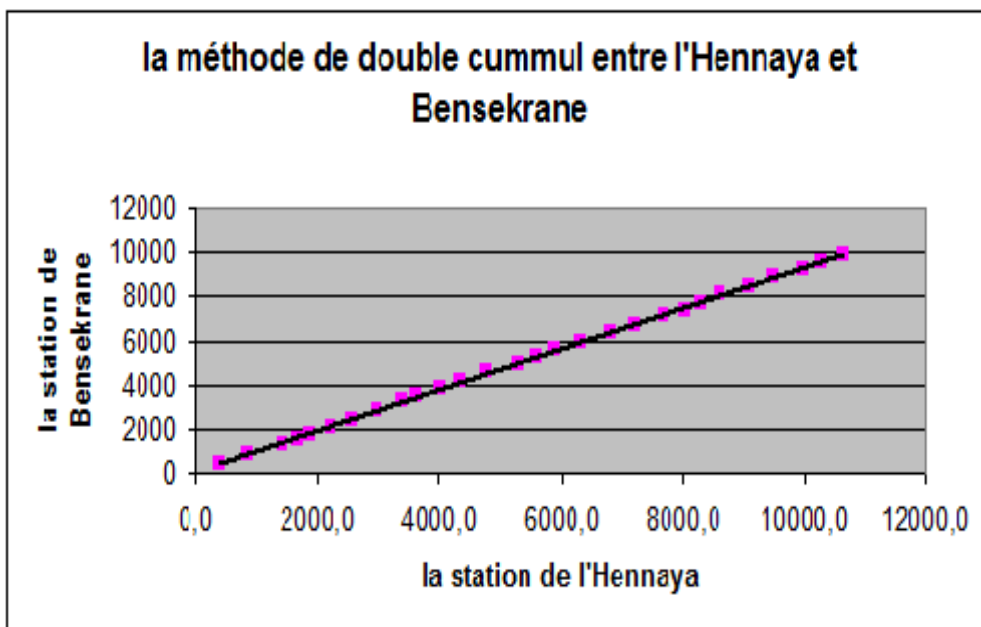


Figure .14 Représentation graphique de la méthode de double cumul sur les données de Hennaya et Bensekrane (1978-2005)

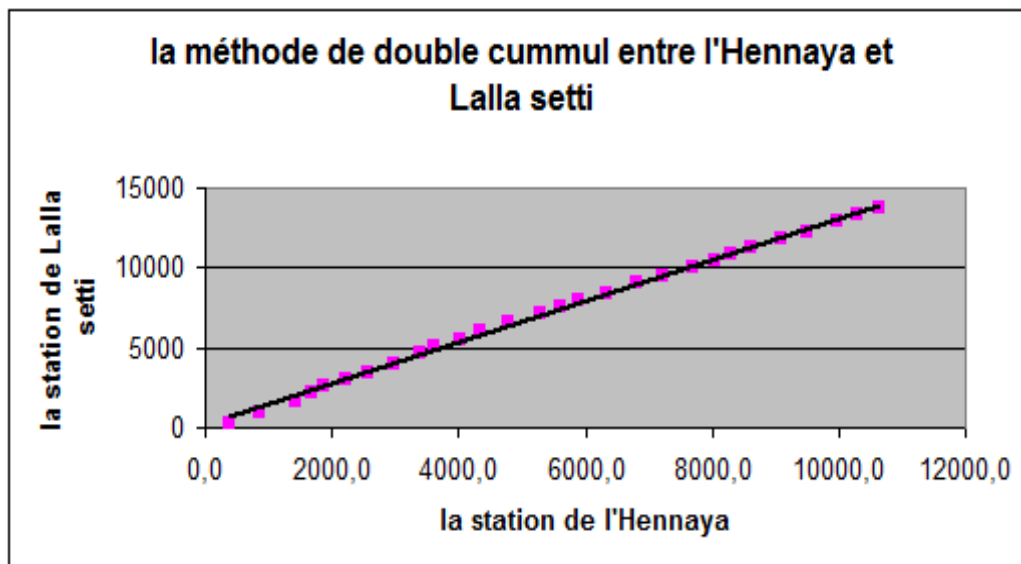


Figure .15 Représentation graphique de la méthode de double cumul sur les données de Hennaya et Lala Setti (1978-2005)

La pratique de la méthode de double cumul nous permet de constater les faits suivants : L'examen des graphiques des doubles cumuls figure 15, montre que les points des stations de Bensekrane et Lalla Setti par rapport à la station de Hennaya (station de référence) sont disposées d'une manière linéaire ce qui confirme l'homogénéité des séries.

I.5.2. Données de températures

I.5.2.1. Méthode de simple cumul

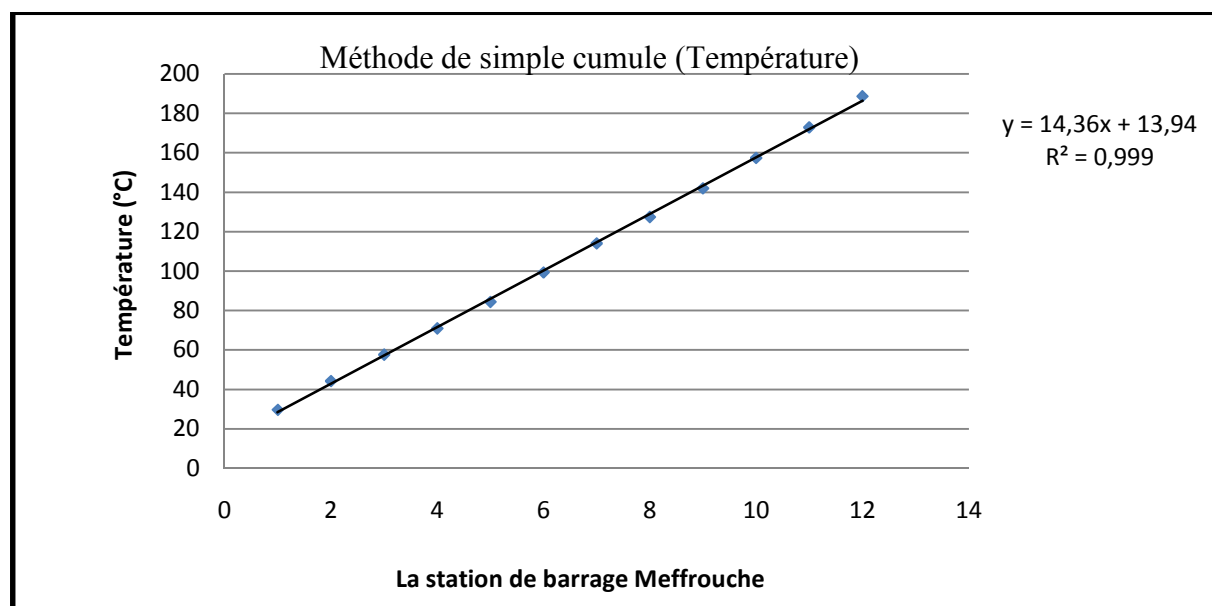


Figure .16 Représentation graphique de la méthode de simple cumul de la station de barrage Meffrouche.

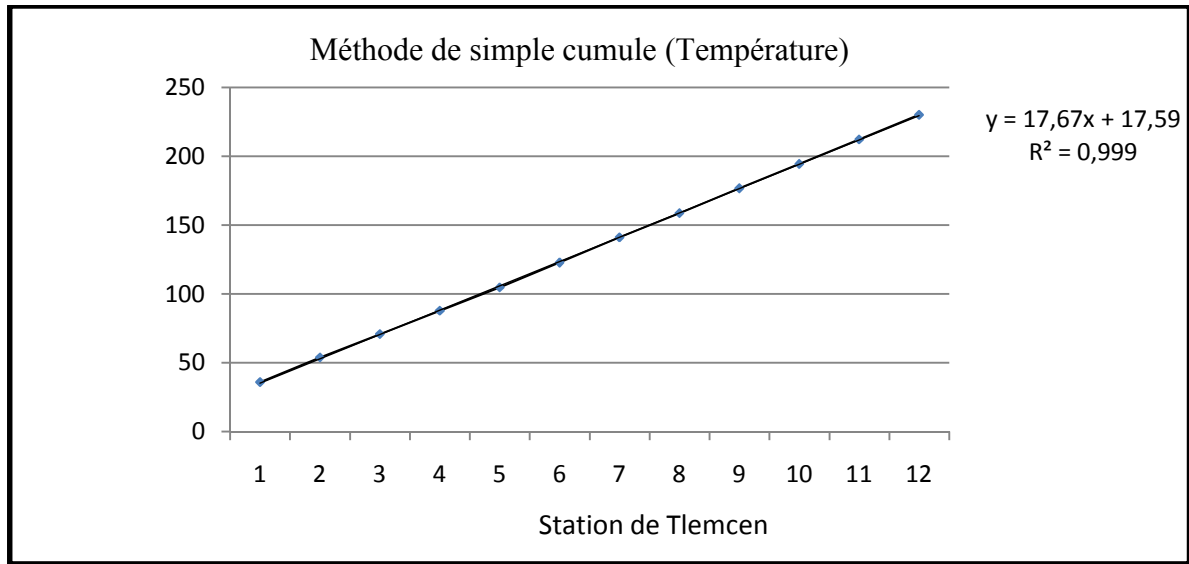


Figure .17 Représentation graphique de la méthode de simple cumul de la station de Tlemcen

Les graphes montrent un arrangement des points selon la droite, cet derniers signifient que les données proviennent de la même population.

I.5.2.2. Méthode de double cumul

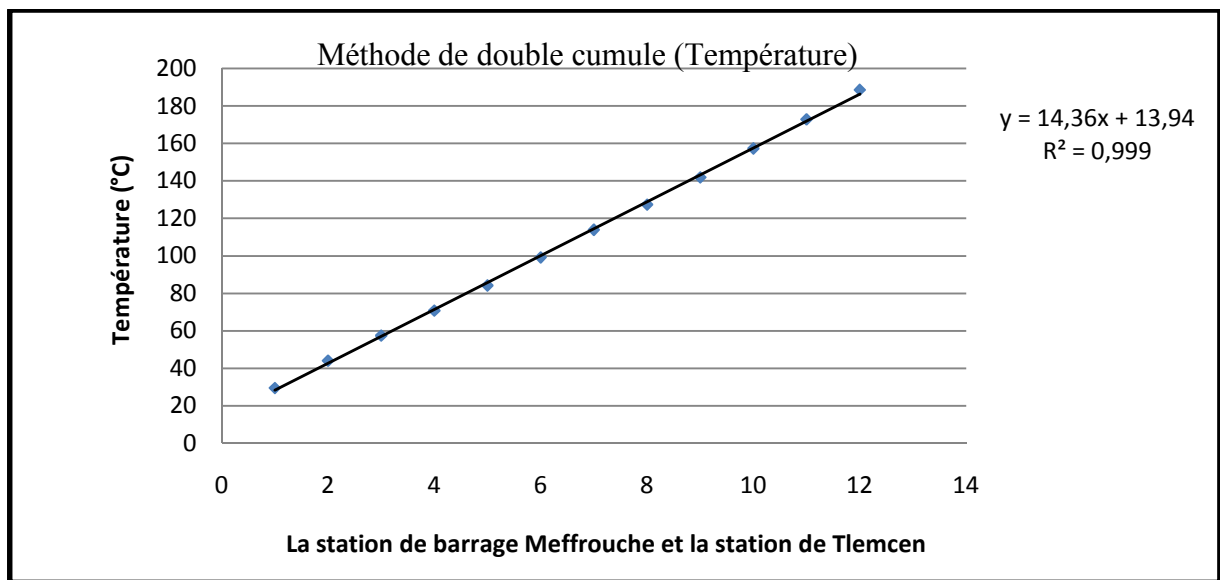


Figure .18 Représentation graphique de la méthode de double cumul entre la station de barrage Meffrouche et station de Tlemcen.

Le graphe entre les deux séries ne montre aucune cassure, ce qui prouve que les données des deux stations sont homogènes.

I.5.3. Données de débit

I.5.3.1. Méthode de simple cumul

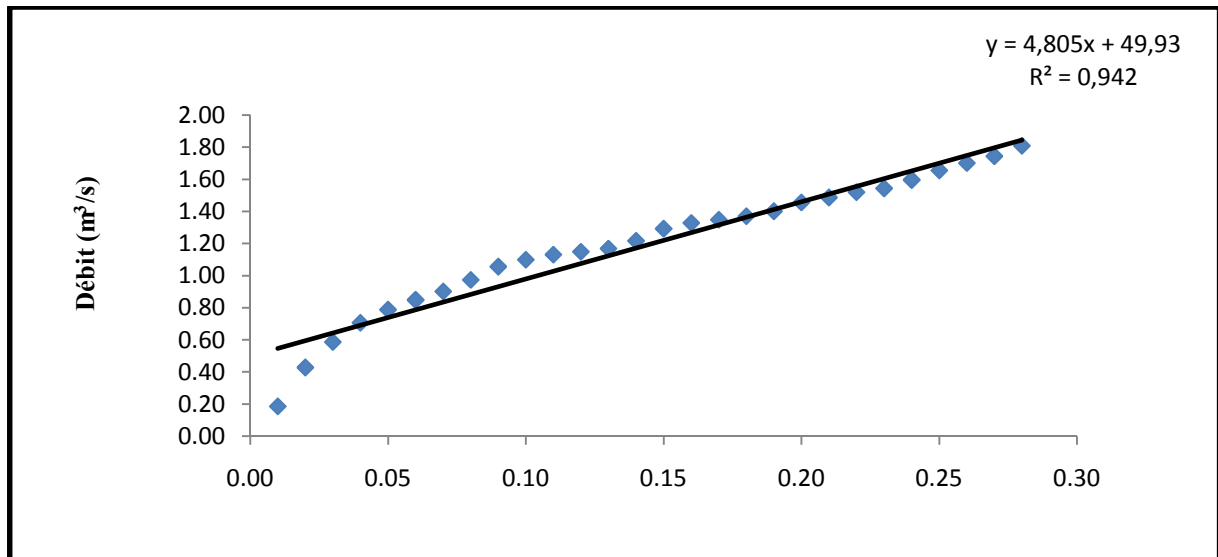


Figure .19 Représentation graphique de la méthode de simple cumul de la station de Ain Youcef.

Les données des débits de la station de Ain Youcef présentent une fluctuation sur tout l'intervalle de temps. Le graphe représente un éloignement des points par rapport à la droite.

II. ANALYSE DES TENDANCES ET DES RUPTURES DU BASSIN ÉTUDIÉ

Afin de mettre en évidence les variations affectant le bassin, nous avons réalisé plusieurs analyses: celle du régime annuel des pluies et des débits, l'analyse des températures moyennes mensuelles et annuelles ainsi que l'analyse des écoulements. Sur la plupart de ces grandeurs, nous avons appliqué des tests de détection de rupture et de tendance qui nous renseignent sur de possibles cas d'hétérogénéité de ces grandeurs dans le temps.

Nous présentons dans cette section les méthodes d'analyse qui ont été retenues :

Le traitement des données s'est effectué en plusieurs étapes :

- Sélection des chroniques couvrant la même période.
- Recherche des tendances linéaires dans les séries par régression linéaire pour déterminer si les tendances suspectées sont significatives.

II.1. Détection de tendances linéaires

La tendance statistique et mathématique, correspondant à l'orientation constatée pour une série de données sur une certaine période.

Une première recherche de tendance linéaire (à la hausse ou à la baisse) a été effectuée à l'aide de régressions linéaires entre la variable d'intérêt $y(t)$ et la date t : $y(t) = at + b$. Le coefficient de pente de la régression nous renseigne sur le signe de la tendance Rivard et al (2003) expliquent que la méthode de la régression à elle seule n'est pas suffisante pour affirmer une tendance.

II.2. Mise en œuvre

D'un point de vue pratique, les tests ont été appliqués en s'appuyant sur les fonctions existantes dans le logiciel R (R Development Core Team, 2004).

L'analyse a été effectuée pour l'ensemble des variables suivantes : les précipitations annuelles, les débits spécifiques ou les débits moyens annuels et les températures moyennes annuelles.

II.2.1. Analyse des précipitations

Les précipitations, qui sont le facteur principal de l'alimentation des cours d'eau, ont une influence sur la variabilité des écoulements à toutes les échelles de temps. L'étude des séries hydrométriques menée sur une durée assez longue permet donc d'évaluer la réponse des rivières aux variations du climat.

Plusieurs manifestations climatiques récentes de grande ampleur ont poussé la communauté mondiale à s'intéresser aux changements climatiques et à leurs impacts sur les ressources en eau. Parmi elles, Nous pouvons citer la sécheresse qui a affecté les pays du Maghreb, et l'Algérie en particulier, depuis les années 1970 (M. MEDDI et P. HUBERT, 2003).

stations	Précipitations max annuelles (mm)
Lalla Setti	658 mm
Hennaya	650mm
Bensekrane	505 mm

Tableau 5. Les précipitations maximales annuelles des trois stations celles de Lalla Setti, Hennaya, Bensekrane (1978-2005)

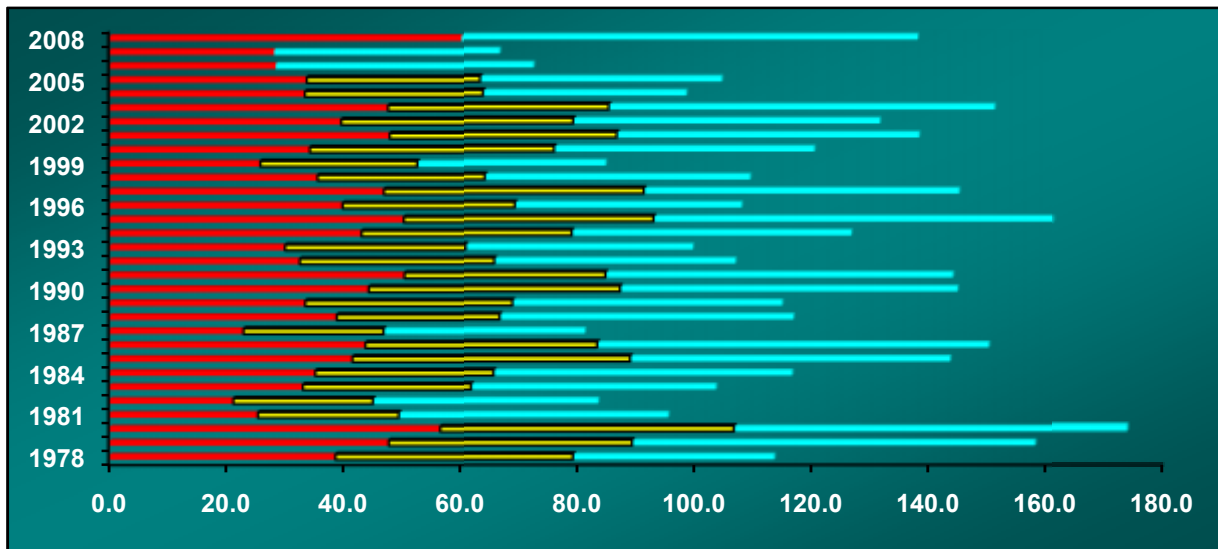


Figure 20. Histogramme des précipitations moyennes annuelles des trois stations celle de Lalla Setti, Hennaya, Bensekrane(1978-2008)

L’analyse des données pluviométriques interannuelles pour la période 1978-2008 dans les trois stations (Bensekrane, Hannaya, Lalla Setti) montre des variations de pluie comme indiquées sur le diagramme et le graphique.

- **station de Lalla Setti :**

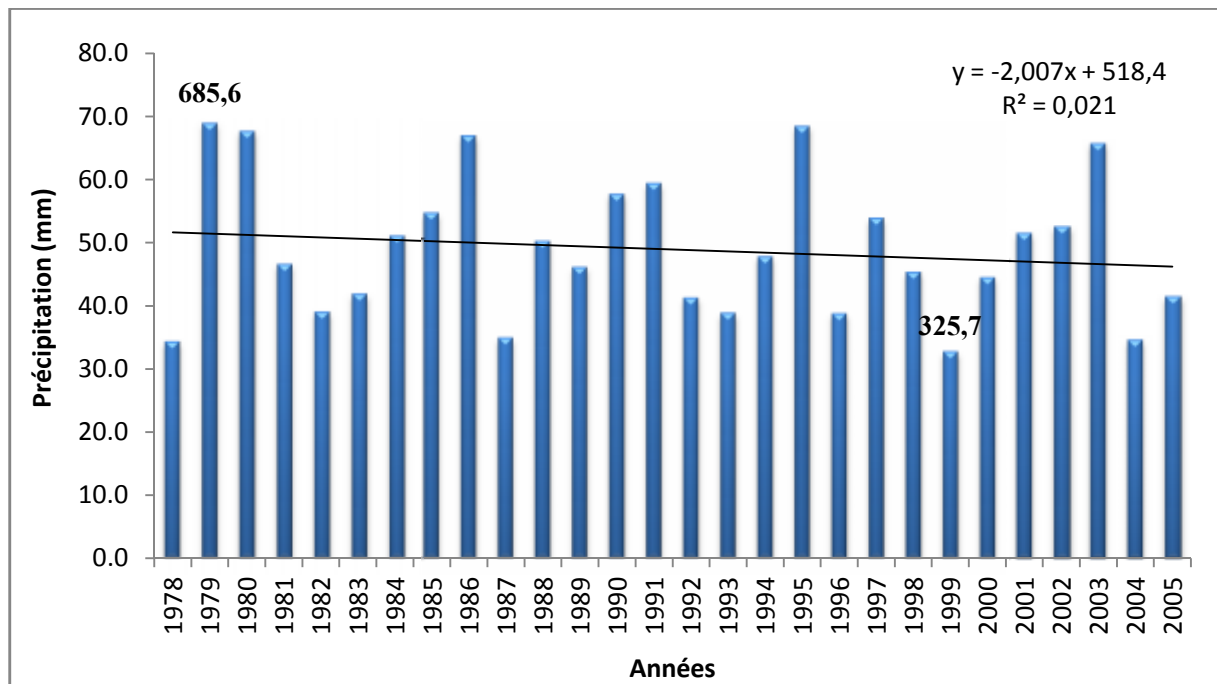


Figure 21. Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Lalla Setti (1978-2005).

C'est la station qui a enregistré la quantité la plus élevée de pluie tombée avec une pluviométrie maximale d'environ 685,6 mm d'eau en 1979 (année la plus pluvieuse), caractérisée par un niveau d'altitude plus élevé que celui de la mer.

- **station de Hannaya :**

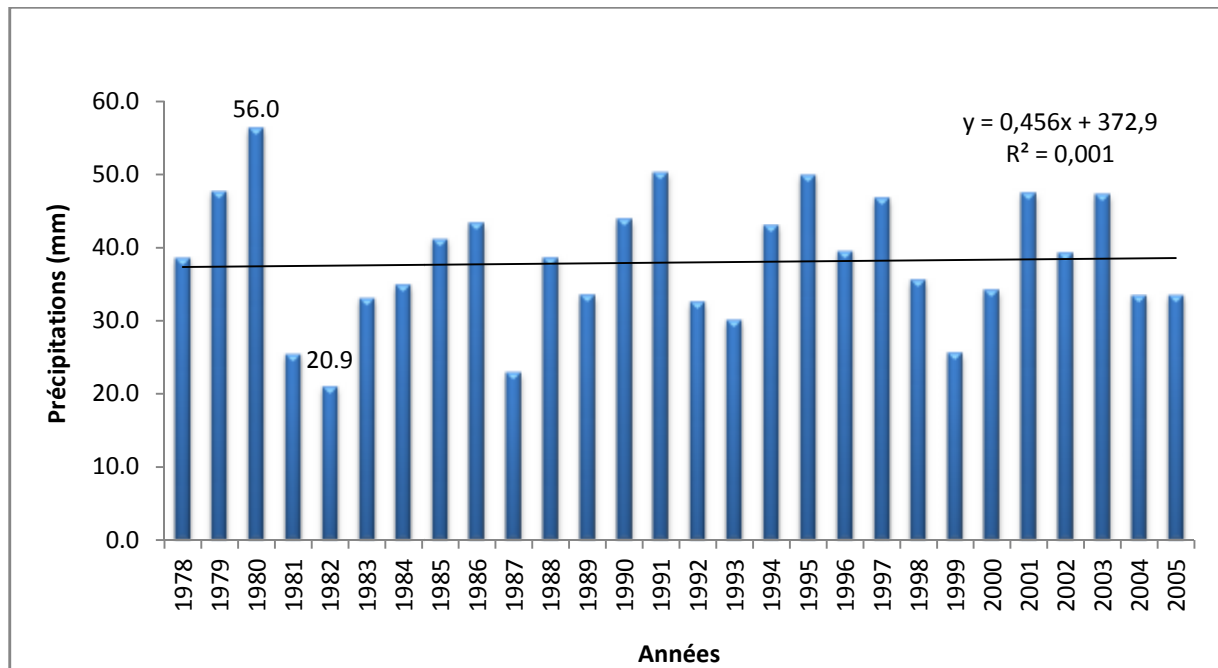


Figure 22. Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Hannaya (1978-2005)

Comme indiqué sur l'histogramme, les précipitations moyennes sont moins importantes de celles de la station de Lalla Setti avec une quantité maximale interannuelle d'environ 560,2 mm d'eau en 1980 (année la plus pluvieuse).

- station de Bensekrane :

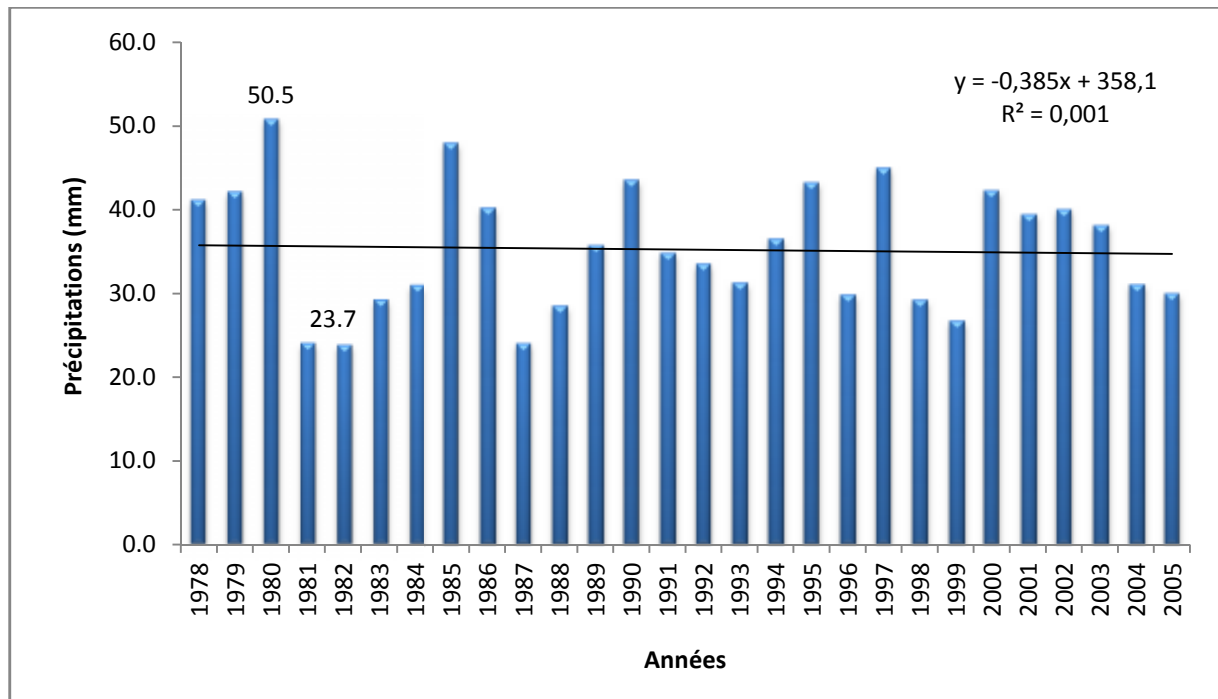


Figure 23. Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Hennaya (1978-2005)

En comparaison des deux autres stations, celle d'Hennaya a enregistré la quantité la moins importante avec une pluviométrie maximale 504,7 mm d'eau en 1980 (année la plus pluvieuse).

A travers les figures 21,22et 23, Nous constatons que l'année la plus sèche de cette période (1978-2005) correspond à l'année 1982 pour la station de Lalla Setti avec une pluviométrie de (341,5mm), et elle correspond à l'année 1982 pour les deux stations de Hennaya (209,2 mm) et Bensekrane (236,6).

II.2.1.1. Etude des tendances sur les précipitations

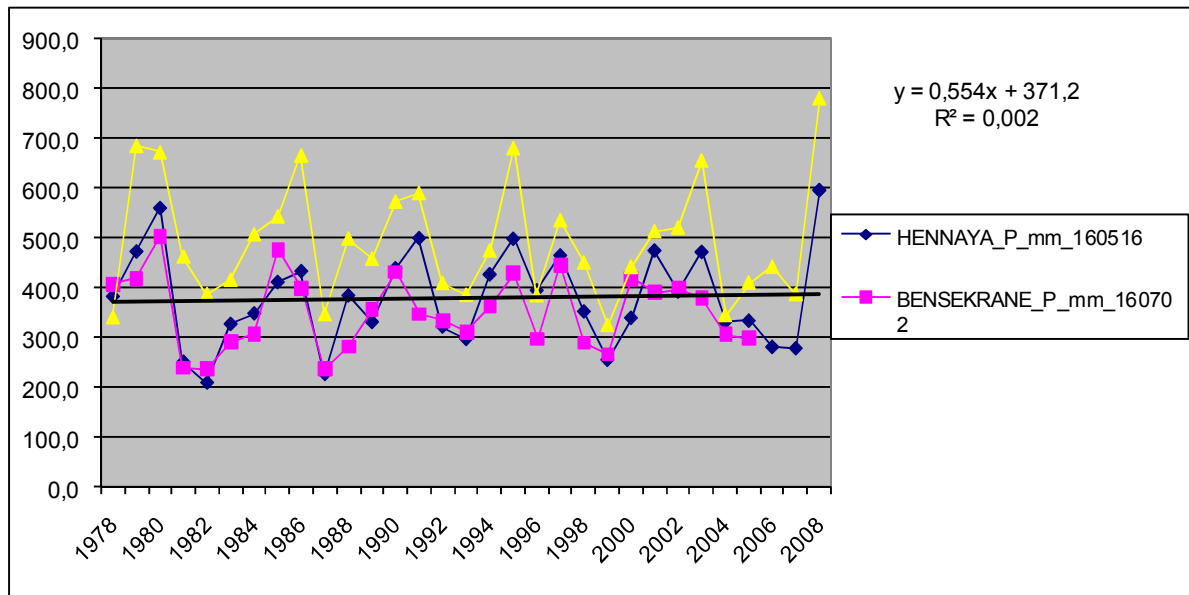


Figure 24. Variation des précipitations moyenne annuelle des trois stations celle de Lalla Setti, Hennaya, Bensekrane (1978-2008)

La courbe de la tendance ($y=0,554x+371,2$) de la figure précédente des trois stations caractérisée par une courbe à la baisse sur une période de 30 ans de 1978 jusqu'à 2008.

II.2.1.2. Estimation de la lame d'eau écoulée

La lame d'eau est une mesure d'écoulement des précipitations atmosphériques au sein du bassin versant d'un cours d'eau.

La lame d'eau est indépendante de la superficie du bassin et se définit comme étant la hauteur de précipitations qui s'écoule en moyenne par unité de temps (mois ou année) ou « hauteur d'écoulement ». Tout comme la hauteur des précipitations, elle s'exprime en millimètres par unité de temps (mois ou année). On parle dès lors de lame d'eau mensuelle ou annuelle.

Sur le total des précipitations reçues : une première partie s'évapore ; une deuxième partie s'infiltré dans les sols ; et le reste s'écoule alimentant ainsi le cours d'eau.

Plus le terrain est accidenté, plus la quantité d'écoulement est importante, car l'eau ruisselle plus rapidement et n'a pas le temps de s'évaporer ou de s'infiltrer.

Si l'on multiplie la lame d'eau par la superficie du bassin, on obtient la quantité écoulée en un certain temps (que l'on exprime généralement en mètres cubes), et si l'on divise cette dernière par le nombre de secondes pendant lequel s'est constitué la lame d'eau, on obtient le débit du cours d'eau par seconde.

ISOHYETES (MM)	P MOYENNES (MM)	SURFACE (KM ²)	PI*AI
430,27-450	440,135	1,06	466,54
546,59-540	543,295	0,85	461,8
540-495	517,5	21,6	11178
495-450	472,5	48,66	22991,85
450-405	427,5	60,36	25803,9
405-360	382,5	100,69	38513,92
390-349,72	369,86	7,63	2822,03

Tableau 6. : La lame d'eau écoulée du bassin versant de Sikkak.

$$P_{\text{moyenne}} = 102238,050 / 240,85 = 424,48 \text{ mm}$$

La lame d'eau écoulée dans le bassin versant de Sikkak est de 424,48 mm.

II.2.2. Analyse des températures

La température est un élément écologique fondamental en tant que facteur climatique vital et déterminant ayant aussi une relation directe avec le relief suivant la position de celui-ci vis-à-vis de l'altitude.

Dans notre étude, nous avons pris comme exemple les stations de : barrage Meffrouche, Tlemcen.

a. Température moyenne mensuelle

La température moyenne mensuelle régit directement le climat en interaction avec d'autres facteurs météorologiques et biogéographiques.

Pour réaliser cette étude nous utilisons les mesures effectuées sur la station de barrage Meffrouche sur une période allant de 1988 à 2000.

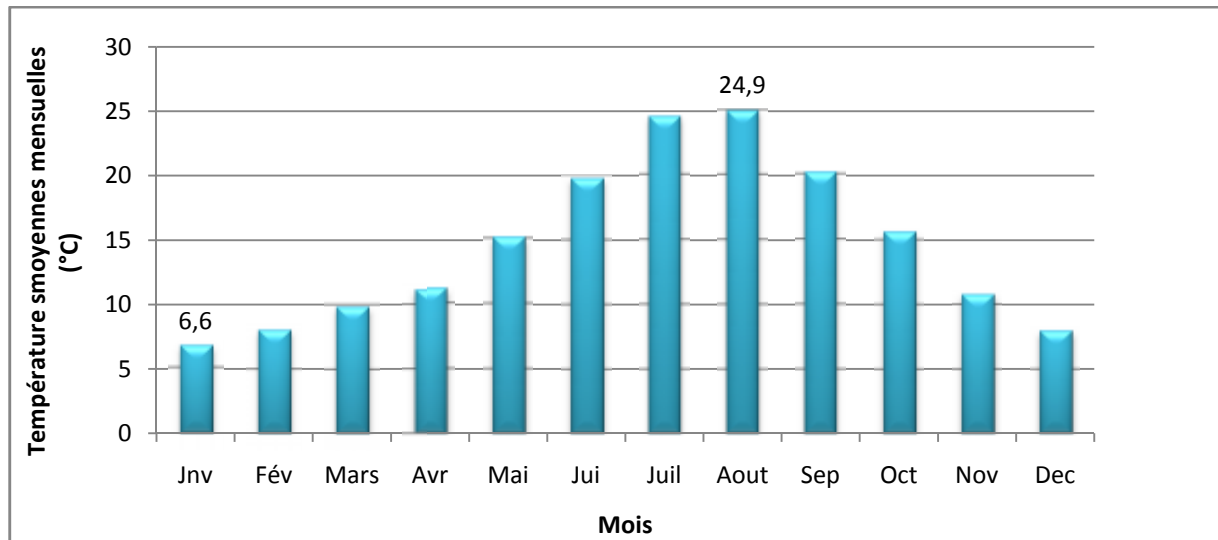


Figure 25. Histogramme des températures moyennes mensuelles de la station de barrage Meffrouche (1987-2005)

La figure 25 montre que les moyennes mensuelles des températures les plus élevées sont essentiellement observées pendant la période d'été (Juin-Juillet-Aout) avec une température moyenne d'environ 22°C.

Les températures les plus basses sont marquées pendant la période d'hiver (Décembre-Janvier-Février) avec une température moyenne d'environ 5,5°C.

Les autres mois présentent des températures moyennes d'environ 12,5°C.

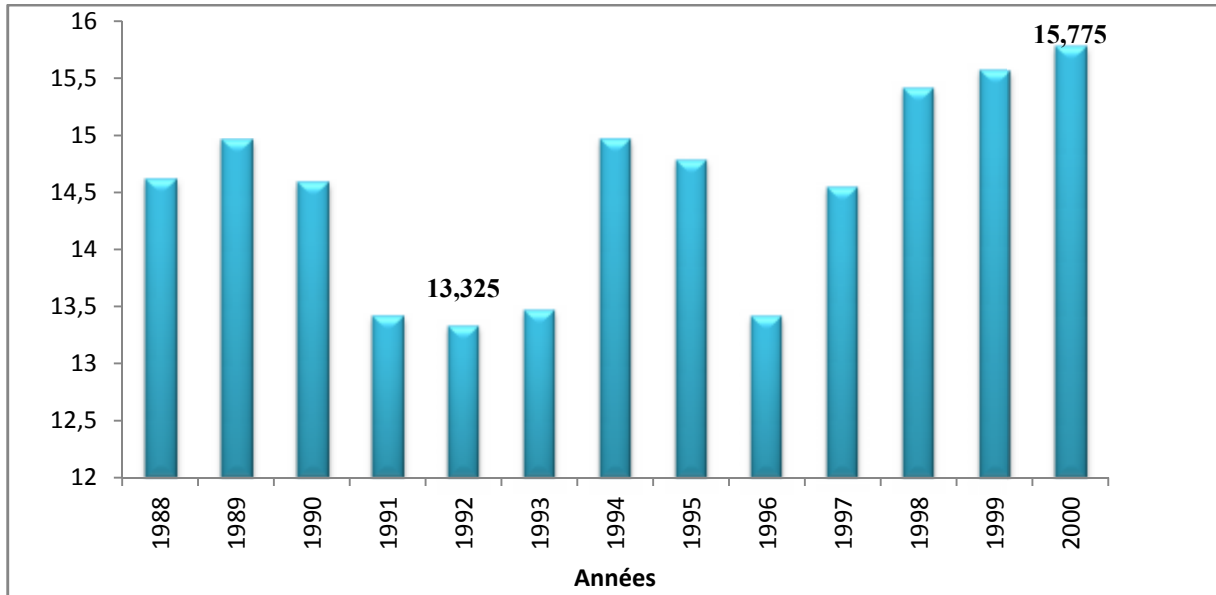
b. Température moyenne annuelle de la station de barrage Meffrouche

Figure 26 Histogramme des températures moyennes annuelles de la station de barrage Meffrouche (1988-2000)

A travers la figure 26 nous remarquons les faits suivants :

Au niveau de la station du barrage Meffrouche, l'année 2000 est la plus chaude avec une température de 15,77°C et l'année 1992 est la plus froide avec une température de 13,32°C.

Cette variabilité des températures est en fonction des conditions des formes des stations des mesures.

II.2.2.1. Etude de tendance sur les températures

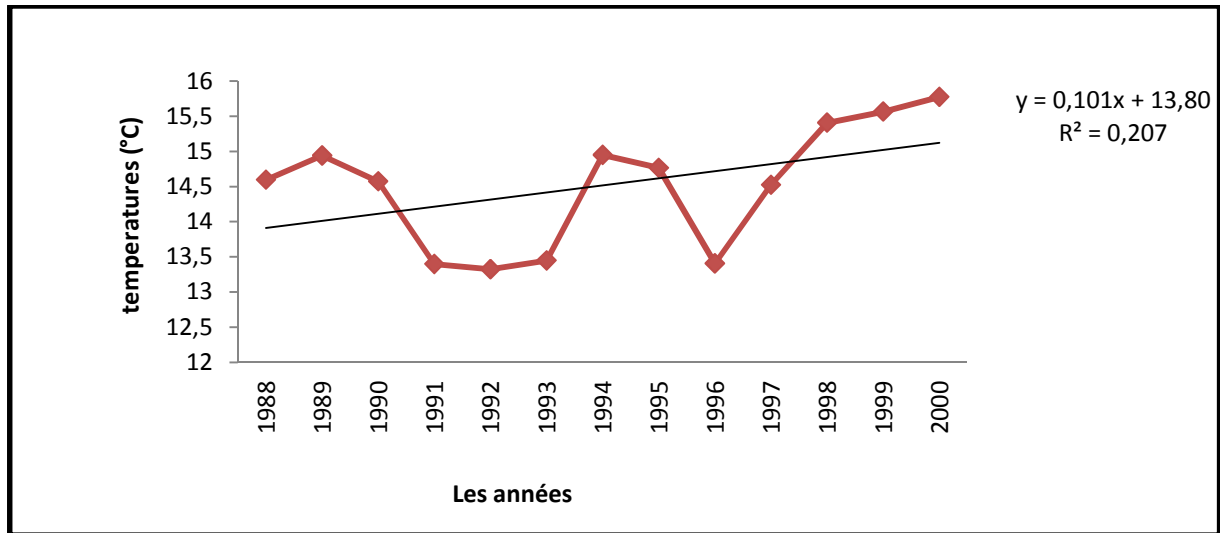


Figure 27. Variation des températures moyennes annuelles de la station de barrage Meffrouche (1988-2000)

Le graphe ci-dessus montre une grande variation des températures sur cette période. La courbe de tendance ($y = 0,101x + 13,80$) la station de barrage Meffrouche caractérisée par une courbe à la hausse.

II.2.3. Analyse des débits

L'étude du régime hydrologique de l'oued Sikkak à la base des séries d'observations disponibles, enregistrées au niveau de la station hydrométrique de Ain Youcef. Ces données concernent les débits liquides à l'échelle annuelle.

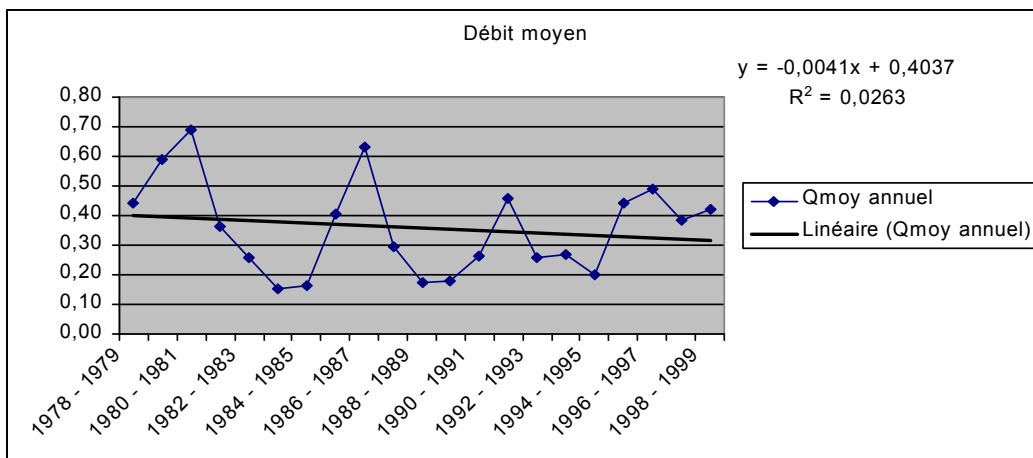


Figure 28. Variation annuelle des modules de l'oued Sikkak à la station d'Ain Youcef (1979-1999)

Les graphiques ci-dessus montrent les variations des débits moyens mensuelles durant vingt années (1978-1979 à 1998-1999). Nous avons remarqué que la vitesse maximale a été enregistrée dans les années 80/81 avec une pointe de $0,70 \text{ m}^3/\text{s}$.

Après cette période et jusqu'à la fin des années 98/99, cette valeur maximale de $0,70 \text{ m}^3/\text{s}$ n'a jamais été atteinte (fig 28).

Cette baisse de débit peut être justifiée d'une part par le nombre croissant des habitations (croissance démographique) et d'autre part en raison des changements climatiques.

II.2.3.1. Etude des tendances sur les débits

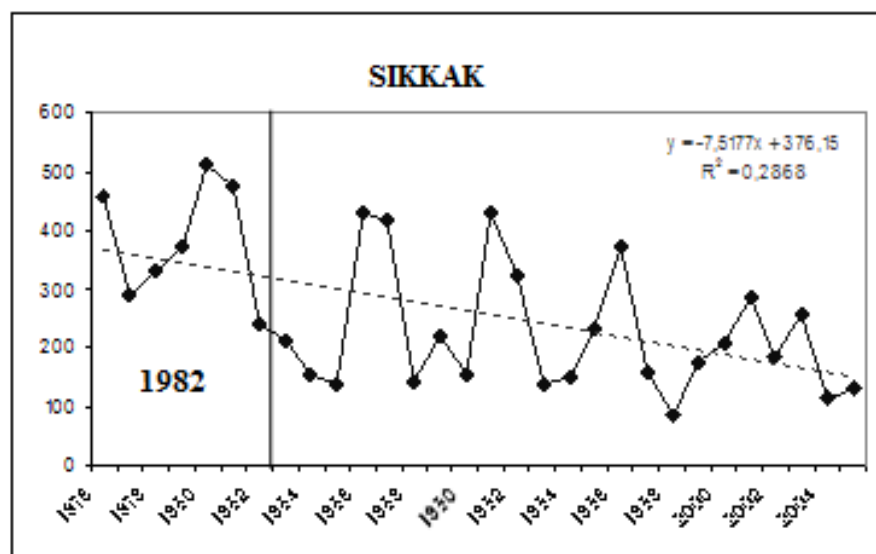


Figure 29. Variation des débits annuels de l'oued de Sikkak de la station Ain Youcef (1978-2006)

Nous avons aussi observé une diminution claire dans la droite de tendance du débit annuel moyen suite aux deux phénomènes cités précédemment.

Ce graphe montre que l'année 1982 a enregistré une rupture où le débit a atteint la valeur de $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

II.2.4. Analyse de la population

Il est généralement admis que tout développement en croissance accompagné d'amélioration des niveaux de vie de la population (indépendamment de la croissance démographique) influence l'augmentation des demandes en eau. Donc, des pressions se font sentir de plus en plus sur les ressources qui ne sont en aucun cas inépuisables...

Le taux d'accroissement démographique décrit le rythme de cette évolution (augmentation ou diminution). La wilaya de Tlemcen est caractérisée par un taux d'accroissement de 0,3%

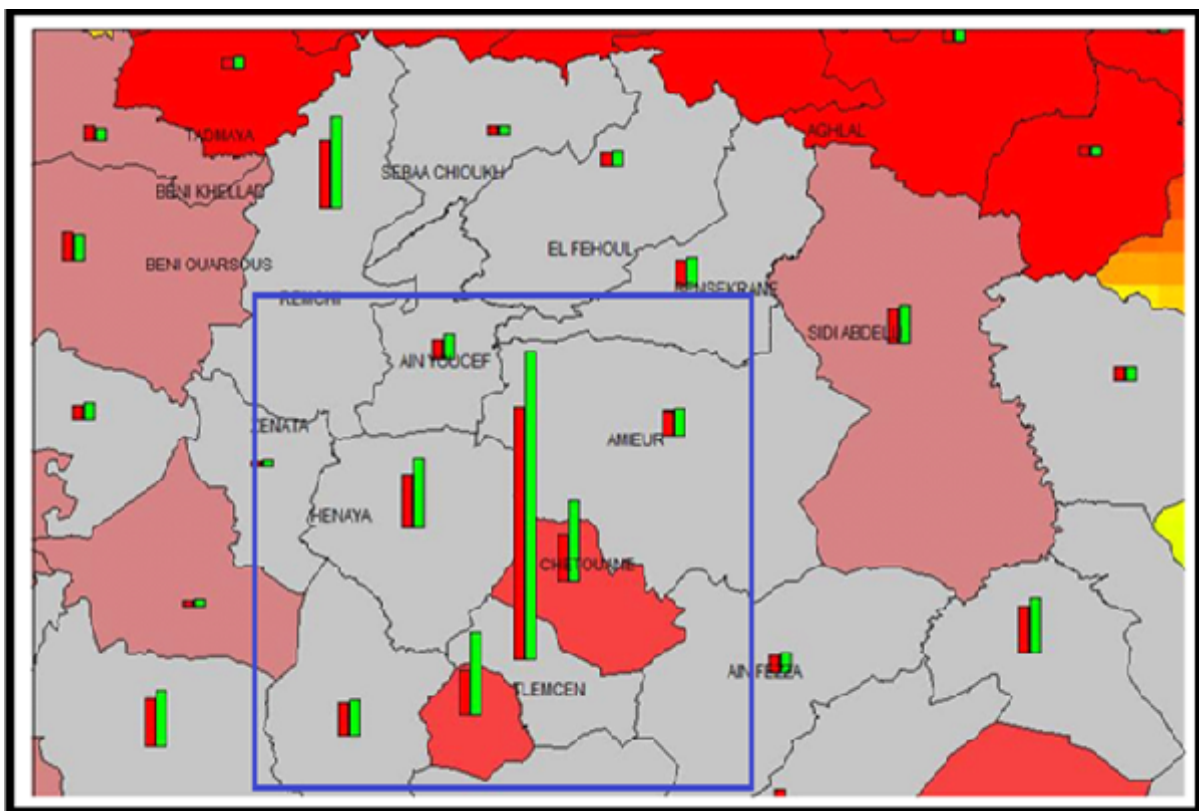


Figure 30. Carte représentative de la croissance démographique dans les communes de Tlemcen pendant la période de 1987 à 1998. (BAKRITI, 2012)

II.2.4.1. Etudes des tendances sur la croissance de la population

Sur la Figure ci-dessus n°30, nous constatons clairement une augmentation de la population au niveau de l'ensemble des localités de la wilaya de Tlemcen sur les vingt dernières années (1989-1998).

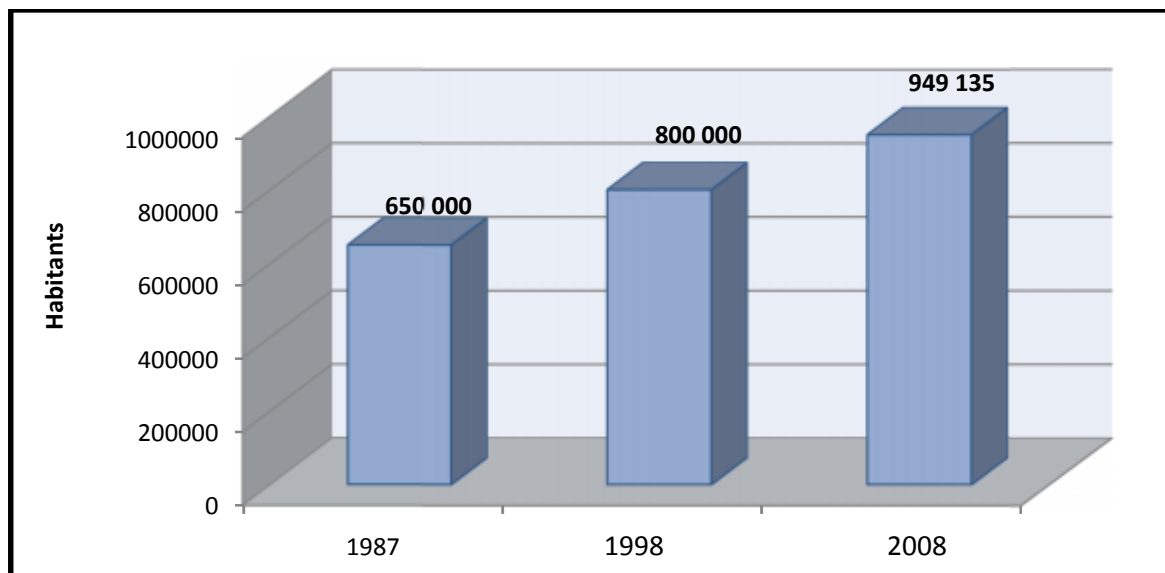


Figure 31. Histogramme de la croissance de population de la willaya de Tlemcen (1987-2008)

L’histogramme de la croissance de la population de la willaya de Tlemcen (1987-2008) montre que le nombre d’habitants passe de 650 000 en 1987 à 800 000 habitants en 1998 et à environ 950 000 en 2008, soit une hausse d’environ 23% d’où une nette évolution de la tendance de la croissance démographique (fig. 31)

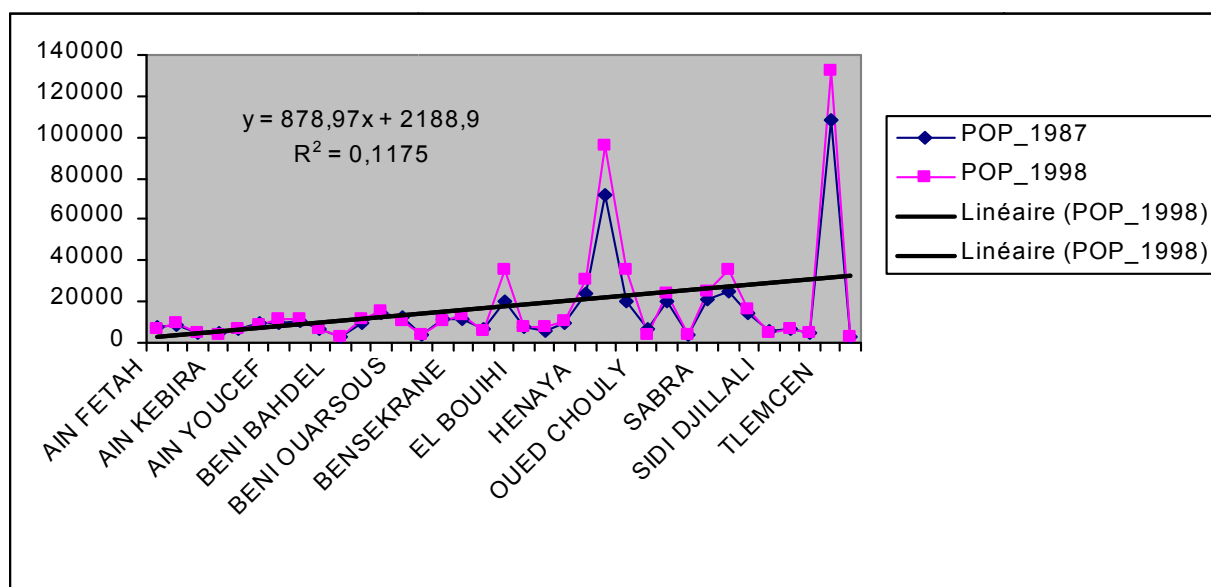


Figure 32. Variation de la population en fonction des communes de la willaya de Tlemcen (BAKRITI,2012)

Le graphe montre une variation de la population en fonction des communes de la willaya de Tlemcen et en fonction du temps. (fig. 32)

Pour la courbe de tendance de la croissance démographique ($y=878,97x+2188,9$) caractérisée par une courbe à la hausse se qui indique que l'accroissance démographique a été positive.

En 2008 certaines localités telles que la commune de Tlemcen (140 000 H), Maghniya (114 634 H), Mansourah (49 150 H), Chetouane (47 600 H) représentent une plus grande population par rapport au autres. La croissance démographique des grandes communes est plus importante que les autres en raison des conditions de vie.

Conclusion partielle

Dans ce deuxième chapitre, nous avons étudié, tout d'abord, l'homogénéisation des séries par la méthode de simple cumul et double cumul sur nos données. Cet examen d'homogénéité indique que :

- les données de précipitation au niveau des stations de Hennaya, Bensekrane et Lala Setti sont homogènes d'après les résultats des méthodes de simple et double cumul avec une même population.
- les données de température au niveau de station de barrage Meffrouch sont homogènes par la méthode de simple cumule.
- les données de débit au niveau de la station de Ain Youcef sont homogènes par la méthode de simple cumule.

Par la suite, nous avons effectué une analyse hydrologique des données. Nous sommes arrivés aux résultats suivants :

- la moyenne de la précipitation annuelle est de 685,6 mm dans la station de Lala Setti, et de 560,2 mm Hennaya, et de 504,7 mm pour la station Bensekrane durant la période (1978-2005).
- A la station de Lalla Setti l'année la plus humide est celle de 1979 avec une pluviométrie maximale de 685,8 mm et l'année la plus sèche est celle de 1999.
- A la station de Hennaya l'année la plus humide est celle de 1980 avec une pluviométrie maximale de 560,2 mm, et l'année la plus sèche est celle de 1982.
- A la station de Bensekrane l'année la plus humide est celle de 1982 avec une pluviométrie maximale de 504,4mm et l'année la plus sèche est celle de 1982.
- L'analyse des tendances montre que la région a connu globalement une baisse pluviométrique pendant une période de 27 ans (1978- 2005).
- La lame d'eau écoulée dans le bassin versant de Sikkak est d'environ 424,48mm.
- L'analyse des températures d'après la station de Meffrouch indique que l'année la plus chaude est l'année 2000 avec une valeur de 15,77°C, et concernant l'année la plus froide est celle de 1992 avec une valeur 13,32°C
- L'analyse des températures d'après la station de Tlemcen indique que l'année la plus chaude est l'année 1995 avec une valeur de 18,3°C, ainsi que les années les plus froides celles de 1991 et 1992 avec une valeur de 16,9°C.

- La courbe de tendance montre que les variations de températures sont à la hausse durant la période de 1988 à 2000.
- La valeur maximale de débit moyenne mensuel durant la période (1978-1999) est de $0,7\text{m}^3/\text{s}$ a été enregistré dans la station de Ain Youcef. Cette valeur n'a jamais été atteinte.
- Les débits moyens mensuels montrent une tendance à la baisse.

Concernant l'étude de la population au niveau de l'ensemble des localités de la wilaya de Tlemcen sur les 30 dernières années (1989-2008) Nous constatons une tendance à la hausse de la croissance démographique qui passe de 650 000 Habitants en 1987 à 950 000 en 2008, avec un taux d'accroissement de 23%.

Conclusion générale

Il est indéniable que la maîtrise de la consommation de l'eau représente un enjeu majeur dans le développement de tout pays. Une prospérité économique, sociale et culturelle dépend de la disponibilité des ressources suffisantes en eau. A notre avis, l'eau est le deuxième élément naturel le plus important après le pétrole dans notre pays. D'où l'importance de la présente étude, car elle cherche à mettre en évidence le problème de la baisse des écoulements en eau dans le bassin de Tafna qui pourrait être considéré non pas comme un cas isolé mais plutôt comme un exemple d'écosystème reproductible au niveau national. Cela, à notre sens, témoigne de la situation d'urgence à laquelle nous faisons face concernant la baisse des écoulements d'eau dans la région de Tafna et plus précisément au niveau de l'oued de Sikkak à Tlemcen.

Dans l'objectif de mieux comprendre le problème des écoulements d'eau dans notre région, la présente recherche s'articule autour de deux champs de recherches :

Dans le premier, nous nous sommes intéressés aux facteurs climatiques pouvant influencer les ressources en eau. En effet, nombre de chercheurs affirment que la baisse des niveaux des eaux est due aux perturbations climatiques qui épuisent les réserves d'eau de la région peu à peu. Dans ce sens, nous avons exploité des données en rapport avec les précipitations et la température.

Dans le deuxième champ de recherche, nous avons tenté d'étudier un nouveau facteur qui, à notre sens, aggrave le problème du tarissement des ressources en eau de la région sujet de l'étude. Ce facteur est celui de l'expansion de l'habitation au détriment des paysages et qui cause une consommation excessive des ressources en eau de la région. Dans ce domaine nous avons traité des données statistiques qui nous ont permis de constater un grand développement des habitations au fil des années.

Après l'étude réalisée sur le bassin de Sikkak, nous concluons par les éléments suivants : il existe une hétérogénéité des faciès géologiques rencontrés. Les études des indices climatiques montrent que la région a un climat semi-aride avec un hiver tempéré.

L'oued Sikkak est un oued assez bien drainé ayant une densité de drainage égale à 2.76 Km/Km^2 ; malgré sa forme allongée avec une assez forte pente qui peuvent favoriser le ruissellement, la vitesse du drainage est diminuée par la formation karstique de l'oued.

L'étude géologique des formations indique l'importance de ces formations dans l'hydrogéologie de la région, les aquifères perméables et les nombreuses failles et diaclases qui ont haché les massifs calcaréo-dolomitiques et ont permis le développement de la Karstification en profondeur ce qui influence généralement la circulation des eaux souterraines et superficielles.

Il nous semble que la baisse des écoulements des eaux est un problème complexe provoqué par une multitude de facteurs tels que : climatiques plus précisément les variations pluviométriques et hydrotermiques en plus du facteur de la croissance démographique.

Nous observons une décroissance des précipitations pendant la période (1978-2005). L'analyse des températures d'après la station de Meffrouch indique que l'année la plus chaude est l'année 2000 avec une valeur de 15,77°C, et concernant l'année la plus froide est celle de 1992 avec une valeur 13,32°C. L'analyse des températures d'après la station de Tlemcen indique que l'année la plus chaude est l'année 1995 avec une valeur de 18,3°C, ainsi que les années les plus froides sont celles de 1991 et 1992 avec une valeur de 16,9°C. La courbe de tendance montre que les variations de températures sont à la hausse durant la période de 1988 à 2000. La valeur maximale de débit moyenne mensuel durant la période (1978-1999) est de 0,7m³ /s a été enregistré dans la station de Ain Youcef.

Concernant l'étude de la population au niveau de l'ensemble des localités de la wilaya de Tlemcen sur les 30 dernières années (1989-2008), nous constatons qu'il y a une tendance à la hausse de la croissance démographique qui passe de 650 000 Habitants en 1987 à 950 000 en 2008 avec un taux d'accroissement de 23%.

Donc, il nous semble que le problème de la baisse des écoulements d'eau dans l'oued Sikkak est provoqué par une addition de facteurs aggravant la situation actuelle qui sont : les perturbations climatiques enregistrées ces dernières années, l'augmentation de la température de la région et la surpopulation des localités avoisinant l'oued.

Par ailleurs, il nous semble que notre recherche présente certaines limites ne permettant pas un meilleur approfondissement du phénomène cité avant. Aussi, le temps qui nous a été alloué pour réaliser cette recherche et le manque d'études récentes sur le sujet ne nous a pas aidé à mieux traiter le présent sujet. Donc, nous nous trouvons face à de nouvelles interrogations qui forment, tout autant, de nouvelles pistes de recherches. Nous citons quelques unes :

-Les facteurs climatiques sont-ils les principales causes de la baisse des ressources d'eau ; y a-t-il des solutions pour les prévenir ou de limiter leur impact ?

-Y a-t-il des solutions pratiques qui peuvent remédier à ce problème ?

-La baisse des écoulements d'eau dans la région de Tafna est-elle réversible ? Pouvons-nous, dans ce sens, agir sur les facteurs climatiques ou sur les comportements des hommes ? Où faut-il agir sur les deux en même temps ?

TABLE DES MATIERES

Remerciements	
Dédicace	
INTRODUCTION GENERALE	04
Chapitre I : PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT	
I.La situation géographique	06
II.Caractéristique de forme.....	07
III.Etude du réseau hydrographique	08
IV.Synthèse sur la géologie du bassin étudié.....	11
IV.1.Cadre géologique	11
IV.2.La série lithostratigraphique.....	12
IV.2.1.Le secondaire	12
A.Les grés de Boumediene	12
B.Les calcaires de Zarifet.....	13
C.Les Dolomies de Tlemcen.....	13
D.Les marno-calcaires de Raourai	13
E.Les Dolomies de Terny (Tithonien inférieur).....	13
F.Les marno-calcaires de Hariga (Tithonien supérieur).....	13
IV.2.2.Le tertiaire.....	15
A.L'Eocène	15
B.Le Miocène inférieur	15
C.Miocène moyen (Helvétien)	15
D.Miocène supérieur (Tortonien).....	15
IV.2.3.Le quaternaire	15
A.Les alluvions anciennes	15
B.Les alluvions récentes.....	16
IV.3.Analyse structurale	16
IV.4.Hydrogéologie de la région	17
V.Synthèse climatique	18
V.1.Changement climatique	18

V.1.1.Changement climatique en Algérie	19
V.1.2.Climat en Algérie du nord.....	19
Conclusion partielle	24

Chapitre II : PARTIE D'APPLICATION

I.Critique des données	25
I.1.Introduction.....	25
I.2.Contrôle des données.....	25
I.3.Etude d'homogénéité des séries.....	26
I.3.1.La méthode de simple cumul.....	26
I.3.2.La méthode de double cumul.....	27
I.4.La localisation des stations.....	27
I.5.Recherche de l'homogénéité des données.....	29
I.5.1.Les données des précipitations.....	29
I.5.1.1.Méthode de simple cumul.....	29
I.5.1.2.Méthode du double cumul.....	30
I.5.2.Données de températures.....	31
I.5.2.1.Méthode de simple cumul.....	31
I.5.2.2.Méthode de double cumul.....	32
I.5.3.Données de débit.....	33
I.5.3.1.Méthode de simple cumul.....	33
II.Analyse des tendances et des ruptures du bassin étudié.....	33
II.1.Détection de tendances linéaires.....	34
II.2.Mise en œuvre.....	34
II.2.1.Analyse des précipitations.....	34
II.2.1.1.Etude des tendances sur les précipitations.....	38
II.2.1.2.Estimation de la lame d'eau écoulee.....	38
II.2.2.Analyse des températures.....	39
a.Température moyenne mensuelle.....	39

b. Température moyenne annuelle de la station de barrage meffrouche.	41
II.2.2.1. Etude de tendance sur les températures.....	42
II.2.3. Analyse des débits.....	42
II.2.3.1. Etude des tendances sur les débits.....	43
II.2.4. Analyse de la population	44
II.2.4.1. Etudes des tendances sur la croissance de la population	44
Conclusion partielle	47
Conclusion générale.....	49
Références bibliographiques.....	52
Liste des figures.....	55
Liste des tableaux.....	57