

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université D'Oran 2

FACULTE DES SCIENCES DE TERRE ET DE L'UNIVER

DEPARTEMENT DE GEOLOGIE



MEMOIRE

Présente pour l'obtention du grade de Master II en science de la terre

Option : HYDROSYSTEME ET RESSOURCES EN EAU

Thème

Application de la méthode de Gradex simple au bassin versant d'Oued Sebdou

Réalisés par :

Belkheir Abdessamad

Bouziane chérif Malika

Soutenu le 2019, devant la commission d'examen :

Mr. Bouzid Rabah	MCB	Université d'Oran	Président
Mme. Bakreti Amel	MCB	Université d'Oran	Rapporteur
Mme. Ablaoui Halima	MAA	Université d'Oran	Examinatrice

Oran octobre 2019

Remerciement

Tout d'abord, je remercie *ALLAH* tout-puissant de m'avoir donné le courage la volonté la sante et la patience afin de mener à terme ce modeste travail.

Je tiens à remercier fortement mon directeur de mémoire

Mme BAKRETI Amel maitre de conférence à l'université d'ORAN 2 pour la confiance qu'il m'accordé en acceptant de diriger ce travail et je lui exprime particulièrement toute ma reconnaissance pour m'avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques ses conseils et sa constante disponibilité j'ai été vraiment sensible à ses qualités humaines de respect d'écouté et même de compréhension tout au long de ma formation master Merci infiniment

Madame **Bakreti Amel**

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à l'ensemble des membres de jury compose de :

Monsieur **Bouzid Rabeh**

Madame **Ablaoui Halima**

Pour avoir accepté d'examiner ce travail

J'exprime ma gratitude a

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin a la réalisation de ce travail.

BOUZIANE CHERIF MALIKA

Sommaire

Remerciement

Sommaire

Liste de figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Première Partie : Considérations Générales

I-1. Situation géographique 2

I.2 Localisation du secteur étudié 2

I.3 Synthèse géologique..... 3

A -Le Secondaire 4

a. Le Tertiaire 4

b. Le Quaternaire 5

I.4 Synthèse Géomorphologique 7

I.5 -Synthèse hydrogéologique 10

I.6 Aperçu climatique de la zone d'étude..... 11

Deuxième partie : Traitement et analyse des précipitations

II. Méthodes de critique et analyse des données pluviométriques 12

II.1.L'utilite de la critique de donnees 12

II.2.Choix des stations 13

a- Contrôle des données pluviométriques..... 14

1-Méthode des cumuls simples appliquée sur les mesures pluies..... 14

2-Méthode des doubles cumuls 15

II.3.Analyse des régimes pluviométriques 16

1. Régime pluviométrique 16

a. Précipitations annuelles 17

b.Précipitations mensuelles 18

b. Précipitations saisonnières.....	19
II.4.Mise en œuvre de la méthode GRADEX.....	19
1. Principe et concept de base.....	19
2. Hypothèses de la méthode du GRADEX	21
3. Calcul du Gradex des pluies spatiales	21
Conclusion générale	28
Références bibliographiques	29

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

L'application de la méthode Gradex a été longuement utilisée pour les bassins à climat tempérés où les précipitations sont régulières autrement dit, une distribution temporelle et spatiale homogène.

Son application au bassin versant de l'oued Sebdou est une première. Nous voulons à travers cette étude de vouloir 1) valider si l'application de la méthode Gradex est possible dans notre bassin puisqu'il présente la particularité de l'irrégularité des pluies 2) extraire les Gradex de pluies pour une éventuelle estimation de la lame d'eau écoulée et 3) de pouvoir évaluer le risque d'inondation à travers une simple prévision des débits issue des Gradex de pluies.

Dans cette optique, nous subdivisons notre travail en deux parties ;

- **Première partie :**

Nous présentons dans cette partie le contexte géologique, hydrologique et climatologique.

- **Deuxième partie :**

Englobe la partie de traitement et analyse des données pluviométrique suivie de la partie mise en œuvre de la méthode Gradex et nous terminons par une conclusion générale.

Première Partie

Considérations Générales

Première Partie : Considérations Générales**I-1. Situation géographique**

Le bassin de l'oued Sebdou fait partie intégrante du grand bassin versant de la Tafna. Ce dernier que nous appelons bassin « mère » occupe la totalité de la wilaya de Tlemcen sur une superficie de 7450 km². Globalement, ce bassin est subdivisé en trois grandes parties:

- *Partie septentrionale* débute pratiquement du village Tafna et s'étend jusqu'à la plage de Rachgoune, embouchure de la Tafna sur la mer.
- *Partie orientale* avec comme principaux affluents l'oued Isser et l'oued Sikkak).
- *Partie occidentale* comprenant la Haute Tafna représenté par l'Oued Sebdou, oued Khemis et l'oued Mouilah.

Le bassin de la Tafna est hydrologiquement subdivisé en deux parties (Bakreti, 2013) : la haute Tafna et la basse Tafna, on y trouve

***La haute Tafna**

L'oued prend naissance dans les OuledOuriach et s'affirme après la jonction d'un grand nombre de ramifications creusées dans les terrains jurassiques et descendent de crêtes atteignant 1500m. Cette région est montagneuse, l'oued Tafna reçoit l'oued Khemis à sa rive droite et l'oued Sebdou à sa rive gauche. (in Bakriti 20013).

***La basse Tafna**

Cette partie du bassin est sillonnée par de nombreux affluents seul l'oued Mouilah prend naissance au Maroc. Le cours inférieur de la Tafna s'étend depuis les gorges de Tahouaret vers le village de Pierre Chat jusqu'à la plage de Rachgoune sur une distance de 20 Km.

I.2 Localisation du secteur étudié

La zone d'étude se situe au sud de la wilaya de Tlemcen **Figure.1**. Elle est traversée par la route nationale n° 22 reliant le Nord au Sud, caractérisant les monts de Tlemcen d'une part et les hautes plaines steppiques d'autre part.(Ghazi)

La zone de Sebdou se trouve limitée au Nord par Ain Ghoraba et Terni, à l'Est par El Gour et Béni Semiel, à l'Ouest par Sidi Djilali et Béni Snous et au Sud par El Aricha. Elle s'élève à une altitude de 920m environ avec 1° 19' de longitude ouest et 34° 38' de latitude nord.

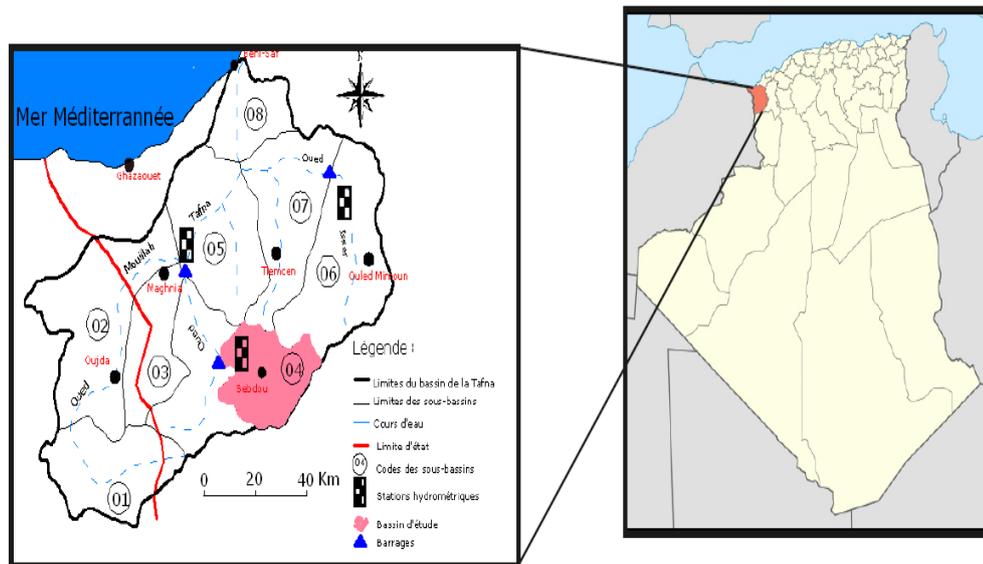


Figure 1: Carte schématique de localisation de la région d'étude (A.Megnounif, al, 2004)

I.3 Synthèse géologique

La géologie du bassin de la Tafna a été étudiée dans une série de travaux qui ont débuté par les travaux de Gentil (1903) et ont continué avec Elmi (1972), Benest(1986), Collignon (1986 et 1993),.... Ces travaux ont contribué à l'identification des grands ensembles stratigraphiques avec lesquels il a été possible de retracer l'histoire géologique de la région ainsi que sa structure. Le bassin de la Tafna est caractérisé par l'abondance de deux faciès, le premier carbonaté d'âge secondaire dominant le secteur d'étude et le second marneux du Miocène moins abondant. (Benest, 1986), **Figure.2.**

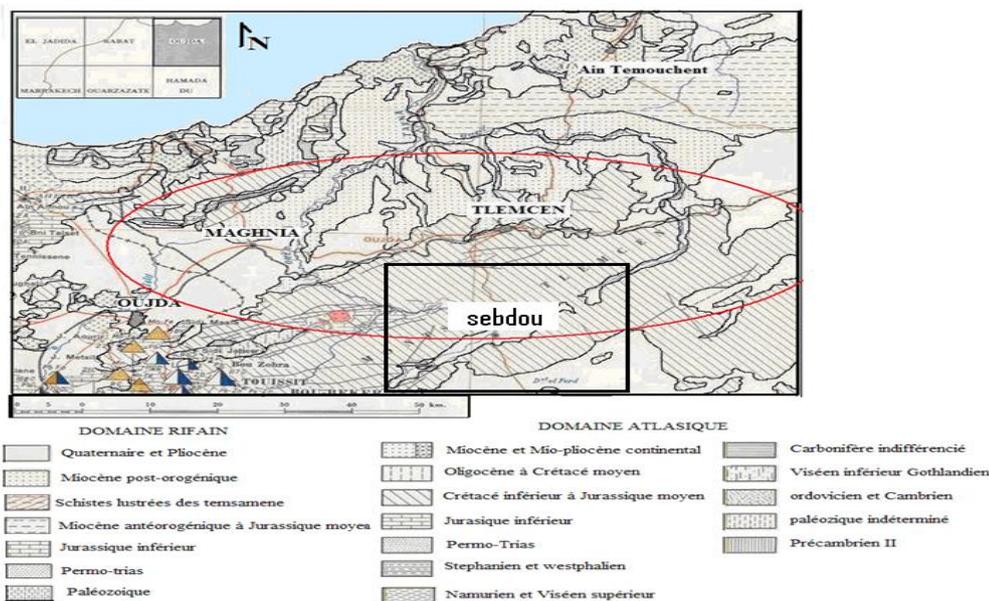


Figure 2: Extrait de carte géologique de la région étudiée (in Bakreti,2014)

Les formations carbonatées sont représentées par des calcaires et des dolomies très karstifiées qui donnent une certaine spécificité à cette partie de l'ouest algérien. Le bassin de la Tafna dispose d'une structure contrastée, qui se manifeste tantôt par des reliefs abrupts et tantôt par des zones de plaines ou des fossés d'effondrement. Les faciès carbonatés sont localisés principalement dans deux parties : au Nord du bassin dans les monts des Traras et à Djebel Fellaoucène et dans la partie Sud au niveau de la région Khémis, Sikkak et de Sebdou.

Le Miocène occupe pour sa part, le domaine des plaines. Ses dépôts surmontent initialement les formations carbonatées mais le plus souvent, on les retrouve sous les massifs calcaires à la suite de la tectonique intense qui a affecté la région. On y trouve :

A -Le Secondaire

Il forme l'ossature principale représentée par le jurassique supérieur. On distingue:

- Les Grès de Boumediene: alternance de grès à ciment calcaire et d'argile jaunâtre, sableuse à perméabilité médiocre, couvrant de grands étendues et contiennent des réserves permanentes en eaux souterraines.
- Les Dolomies de Tlemcen: calcaire dolomitique karstifié (relatif au processus de formation de karst, relief calcaire au sol très perméable, avec circulation souterraine des eaux), on y trouve des grottes à très forte perméabilité.

a. Le Tertiaire

Formé par des dépôts, essentiellement de marnes et grès d'âge Miocène inférieur et moyen à perméabilité très faible, localisés aux pieds des reliefs à partir des quelles jaillissent des sources à faible débit. **Figure.3.**

b. Le Quaternaire

Formé par des dépôts continentaux à profondeur moyenne se développant sur des croûtes calcaires qu'on retrouve au niveau des fonds de vallées sous forme de terrasses à haute valeur agricole selon BOUABDELLAH (1992), la région de Sebdou est caractérisée par les formations géologiques suivantes:

- Le crétacé inférieur est moyen au sud de Sebdou.
- Le pliocène continental formé de calcaire lacustres et d'argile s'apparait au sud de Sidi-Aissa(Sebdou).
- Le quaternaire continental est un ensemble d'alluvions sur la cuvette de Sebdou, Chaâbane (1993) confirme que le substrat du Quaternaire est de trois types: un continental, l'autre marin littoral et sableux et le dernier lagunaire riche en évaporites.

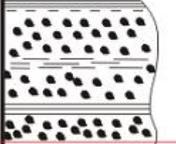
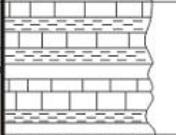
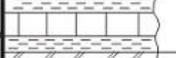
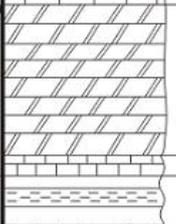
Age	Colonne lithologique	Formations rencontrées	Description
Quaternaire		Formation conglomératique	Alluvions, croûte calcaires et dépôts continentaux avec au sommet des couches marneuses
Plio-Quaternaire		Formation de Sebdou	Dépôts de conglomérats redressés Calcaires lacustres vacuolaires
Barremien		Grès de Berthelot	Grès avec de la chlorite
Berriasien supérieur		Argiles de Lamoricière	Argiles avec des passées gréseuses
Tithonien supérieur Berriasien inférieur		Marno-calcaires d'Ouled Mimoun Grès de Merchiche	Grès, calcaires et marnes souvent biodétritiques
Kimmeridgien		Marno-calcaires de Hariga	Alternance de marnes et calcaires
		Dolomies de Terny	Dolomies vacuolaires à patine rousse avec des stratifications obliques
		Calcaire de Lato Marno-calcaires de Raourai	Micrite et pelmicrite, alternance de marnes grises verdâtres et de calcaires
		Calcaires de Stah Dolomies de Tlemcen	Dolomies cristallines grises à patine rousse, dans les dolomies on observe des lentilles stromatolitiques
		Calcaires de Zarifet	Calcaires bleus
Oxfordien supérieur		Grès de Boumédine	Grès bruns en gros bancs séparés par des interlits argileux Au sommet, on trouve quelques passées marneuses et calcaires
	300 200 100 0m		

Figure 3: Log stratigraphique des Monts de Tlemcen (Baba-Hamed et Kerzabi, 1991)

D'un point de vue structurale, l'Algérie du Nord est liée aux mouvements hercyniens et alpins qui ont permis l'individualisation de plusieurs domaines.

En Oranie, on distingue du Nord au Sud (d'après M Benest, 1985) :

- Le domaine Tlemcenien.
- Les hautes plaines oranaises.
- Le domaine atlasique.
- Et enfin le domaine saharien.

Le bassin d'étude se situe entre le Tell et les monts de Tlemcen, ces monts forment des reliefs importants dont les sommets dépassent les 1500m **Figure.2**. Notons que le bassin versant de l'oued sebdou, se trouve dans le bassin sédimentaire de la moyenne Tafna qui est constitué par des dépôts du Miocène inférieur du domaine autochtone atlasique. (log, ci-joint. Baba Hamed& R. Kerzabi, 1991) **Figure.3**.

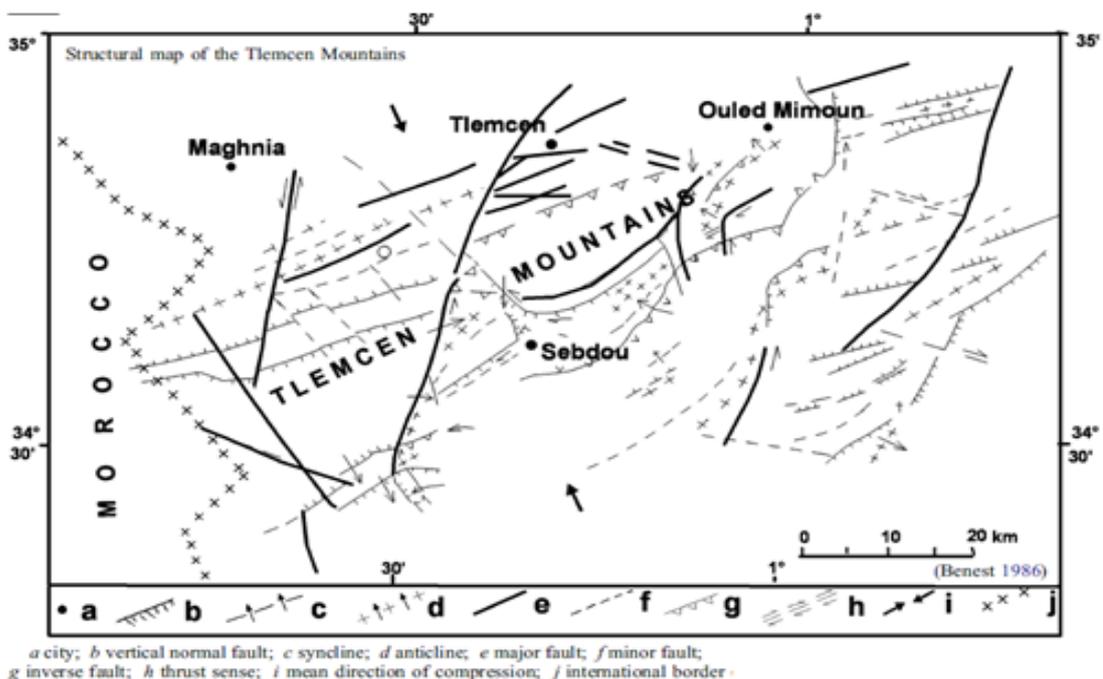


Figure 4: Extrait de carte structurale(Benest986)

I.4 Synthèse Géomorphologique

En générale, la géomorphologie de la région d'étude et selon Benest (1986) est très affectée par l'orographie globalement contrastée qui caractérise l'Algérie. Le bassin de la Tafna s'insère dans une zone du domaine tellien entourée, au Nord, par les monts des Traras et Sebâa-Chioukh. Ce sont des reliefs d'altitude dépassant les (>1000m) avec une structure issue des mouvements alpins. A l'Est et au Sud-est, les monts de Tlemcen représentent les reliefs les plus importants du bassin. L'altitude peut y dépasser 1800 m. Au Sud-ouest, les monts de Ghar-Roubane constituent la terminaison occidentale des monts de Tlemcen au niveau de la frontière algéro-marocaine (Benest et al (1987). La plaine de Maghnia est la

plus étendue des plaines du bassin. Elle correspond à une zone d'effondrement dont la superficie avoisine les 52 km². Elle est formée essentiellement par des dépôts alluvionnaires issus du passage de l'oued Tafna (Elmi ,1972) ; Mekahli, 1988)

Cet aspect morpho-structural contrasté du bassin est à l'origine d'une subdivision de trois zones (Benest, 1990) (i) la zone de la haute Tafna (ii) la zone de la moyenne Tafna et la zone de la basse Tafna. Cette subdivision est la plus couramment utilisée.

L'examen du MNT de la Figure.5 rend compte de la variation de la dénivelé et de la pente des parties citées, ci-dessus.

Le sous bassin de Sebdou, quant à lui, occupe une superficie avoisinant les 603 km².

Cette aire dépasse largement la superficie attribuée habituellement au bassin de Sebdou. Il s'agit de la surface réelle du bassin donné par leMNT (Bakreti, 2014). Ce sous bassin est caractérisé en général par la présence de zones de horsts dont l'altitude dépasse les 1110 m et par des fossés d'effondrement correspondant à la zone dite effondrée de Sebdou où l'altitude avoisine les 850 m. l'état érosif du bassin s'apparente relativement à celui du bassin de Khemis avec une tendance vers l'équilibre.

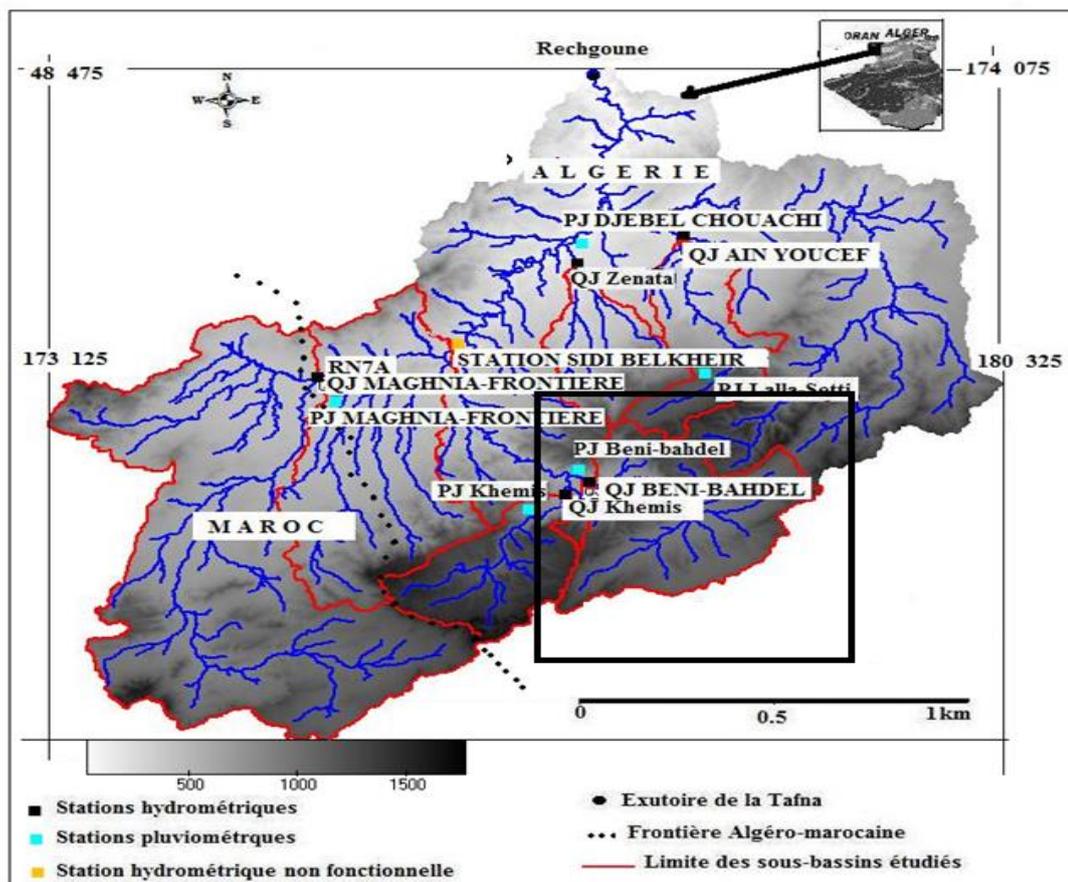


Figure 5: Extrait du modèle numérique de terrain couvrant le bassin versant de SEBDOU (in Bakriti 20014).

Dans cette partie nous nous contentons de présenter les résultats de l'étude morphométrique recensé dans la bibliographie.

Tableau 1: Caractéristiques morphométrique du bassin de Sebdou (in Baba Hamed et R. Kerzabi, 1991)

caractéristiques morphométrique du sous bassin n de Sebdou	
Superficie en km ²	603
Périmètre	78
IP (Indice de compacité de gravelius)	1.37
Indice de pente	7.52
Indice de pente globale	16.61
Largeur	30.70
Longueur	8.32
Rapport de confluence	3.16
Coefficient de torrentialité	15.27
Densité de drainage	2.88

Nous avons vu utile de présenter, la répartition des tranches d'altitude « l'hypsométrie ». Elle indique la présence de pentes très fortes représentées par les Horsts qui délimitent le fossé. Vers les basses altitudes, la pente accentuée de la courbe hypsométrique indique que l'oued Sebdu se termine dans la vallée encaissée de Béni Bahdel.

La forme de la courbe est caractéristique d'un bassin à l'état de jeunesse allant vers l'équilibre, d'où un potentiel érosif assez important.

Tableau 2: Répartition hypsométrique du bassin d'oued Sebdu (haute Tafna)

Tranches d'altitudes	Ai (Km ²)	Ai cumulées (Km ²)	Ai (%)	% Ai cumulés	% altitudes cumulées
1700-1550	28,3	28,3	8,08	8,08	100
1550-1400	98	126,3	28	36,08	85,74
1400-1250	134	260,3	38,28	74,36	71,45
1250-1100	29,6	289,9	8,45	82,81	57,16
1100-950	26,5	316,47	7,57	90,38	42,87
950-800	25,2	341,6	7,2	97,58	28,58
800-650	8,,4	390	2,4	100	14,29

Les pentes au niveau du bassin sont en majorité très fortes 49% de la superficie est à pente supérieure à 25%. Cette classe de pente est localisée principalement au Nord au Sud du bassin correspondant à la zone montagneuse. Au niveau du fossé de Sebdu, les pentes s'adoucissent et oscillent entre 0 et 3% occupant 10.50% de la superficie du bassin à partir de cette zone, les pentes augmentent pour atteindre des valeurs de 3 à 12% s'étalant sur une superficie de 31.20% du bassin et de 12 à 25% sur une superficie de 9.30% de la surface totale du bassin.

I.5 -Synthèse hydrogéologique

Dans la région d'étude on retrouve le plus en abondant les aquifères karstiques le plus souvent perchés dominant les zones de reliefs (Khemis, Tlemcen, Sebdu) (Fig.6). La plus grande concentration des formations perméables fortement karstifié se localise principalement au niveau des sous bassins de la haute Tafna (Figure 16b) : Khemis, Sebdu ou Béni-Bahdel

Les sous bassins sont formés essentiellement par des formations perméables à semi perméables qui occupent la presque totalité de la superficie du bassin, ce qui favorise l'infiltration des eaux de surface. Toutefois, l'abondance relative de formations carbonatées karstiques représentées le plus souvent par les dolomies de Tlemcen et de Terny dans les bassins de Sebdu.

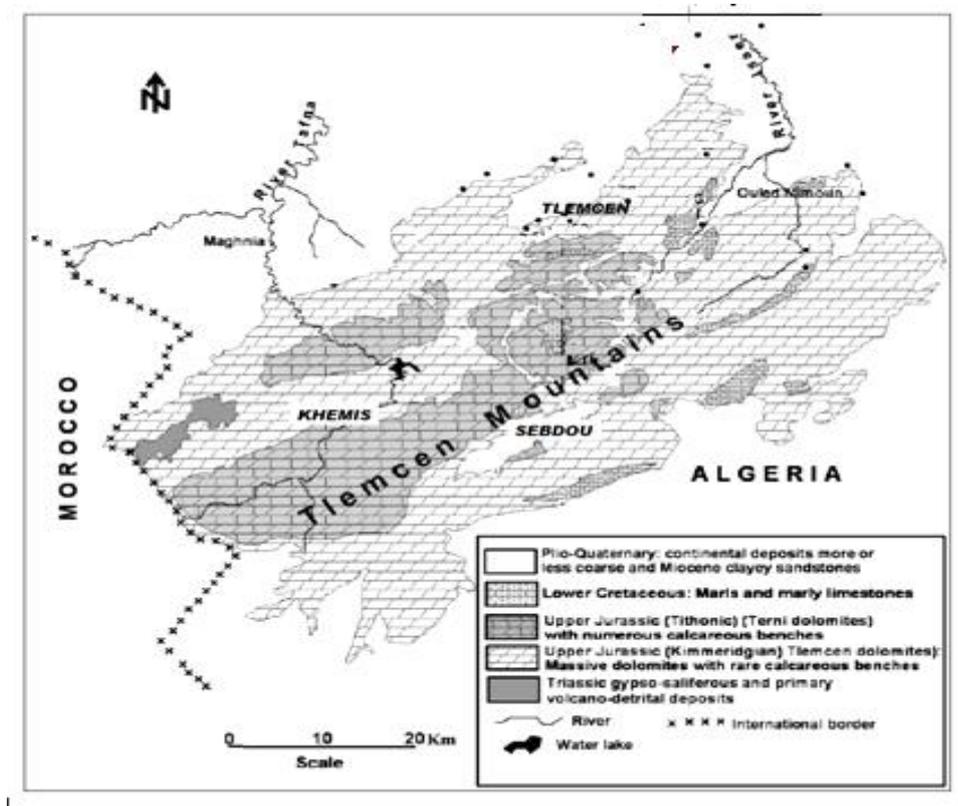


Figure 6: Situation hydrogéologie du bassin versant d'oued de Sebdu. (in Bakriti20014).

I.6 Aperçu climatique de la zone d'étude

Nous avons effectué une recherche bibliographique très large et une analyse pour l'étude du climat en Algérie. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux grandes tendances à la sécheresse de la partie ouest qui nous intéresse. Nous rapportons dans ce chapitre que les grands traits du climat du secteur étudié. Les détails en seront discutés dans le chapitre analyse des données pluviométriques. Il en ressort que plusieurs facteurs sont responsables du cadre climatique actuel qui prédomine le climat en Algérie. Relevant que le relief a tendance à y augmenter de l'ouest en l'est. Les parties orientales sont les zones les plus arrosées du pays (Figure.7). En revanche, la zone occidentale est caractérisée par des reliefs moins importants en altitude. Les perturbations se trouvent piéger entre les massifs côtiers algériens et la chaîne du Rif.

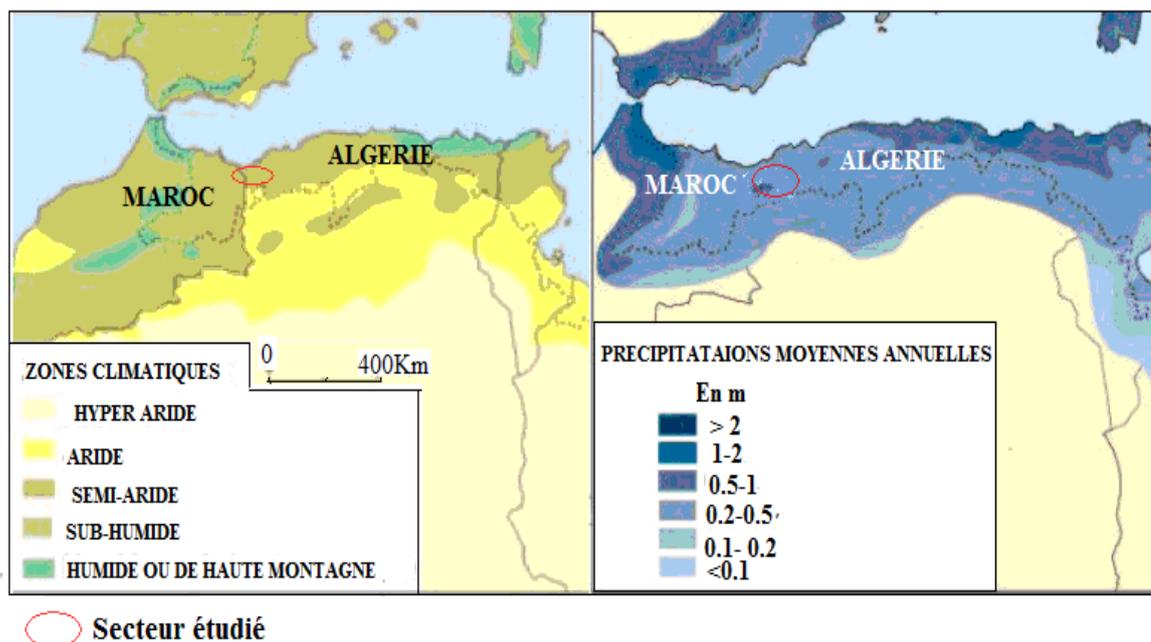


Figure 7: Climat général du secteur étudié

http://www.planbleu.org/donnees/eau/simed/eau_simed_bassin_versant.html (in Bakriti 2013)

Le climat du secteur d'étude est de type semi-aride avec un été très chaud et sec et un hiver froid et pluvieux parfois neigeux. Les apports pluvieux du bassin sont élevés en printemps et moindres en hiver. En été (Juin à Septembre), les précipitations sont quasi nulles (Meddi & Hubert, 2003). C'est la période la plus sévère en étiage. Les précipitations du bassin de la Tafna sont inégalement réparties : les zones les plus arrosées sont les bassins en altitude avec 400 mm et les bassins en plaine sont les moins arrosés avec une moyenne inférieure à 300 mm. L'irrégularité des précipitations, la forte évaporation et les périodes neigeuses épisodiques sont les caractéristiques du bassin de la Tafna.

Deuxième partie

Traitement et analyse des précipitations

Deuxième partie : Traitement et analyse des précipitations

II. Méthodes de critique et analyse des données pluviométriques

Nous discutons, en premier lieu, dans ce chapitre, la fiabilité de l'ensemble des données recueillies pour notre étude. Cette discussion inclut en grande partie l'analyse et le contrôle des données. Nous y exposons les principales méthodes adoptées et les techniques de correction appliquées. Les mesures de base utilisées sont des chroniques de pluies à pas de temps journalier couvrant une période de 31 ans 1975-2006.

Le comportement irrégulier en terme de précipitations dans le bassin de la Tafna notamment celui de Sebdou a retenu l'attention de plusieurs auteurs et la nôtre. En effet, on enregistre, dans certains des sous-bassins, des réponses uniquement pendant les périodes pluvieuses, alors que d'autres parties continuent à maintenir un écoulement pendant les saisons les plus sèches (Bouanani 2004). Le bassin de Sebdou est considéré comme sous un bassin soumis au climat semi-aride (Boudjadja 2003) et représente même la partie du pays la plus fragilisée par la sécheresse (Meddi et Hubert 2003).

II.1. L'utilité de la critique de données

La mesure en hydrologie (soit pour les données des précipitations ou des débits) constitue la connaissance de base. Son acquisition représente l'étape la plus sensible sur laquelle repose la qualité de l'ensemble des analyses ultérieures (Renard, 2006 ; Bois et al., 2007). Il est important de signaler que malgré toutes les précautions prises lors de la mesure (in situ), il arrive que certaines erreurs puissent affecter les chroniques.

Plusieurs auteurs classent ces erreurs en deux catégories (Bois *et al.* (2007), Morell *et al.* (2008),...), suivantes:

- **Erreurs aléatoires** qui influent particulièrement la *précision* de la donnée. Elles sont principalement liées à la surévaluation ou la sousévaluation de la valeur obtenue par rapport à la valeur réelle

- **Erreurs systématiques** qui affectent principalement la *fiabilité* de la mesure. Elles résultent d'une surévaluation ou sous évaluation permanente de la valeur mesurée.

Notre recherche bibliographique nous a montré que la plupart des études, quand elles abordent la partie critique des données, commencent par la recherche de l'homogénéité. Cette étape essentielle consiste à examiner la stationnarité du phénomène étudié en recherchant à montrer que les caractéristiques de la série chronologique étudiée n'évoluent pas dans le

Deuxième partie Traitement et analyse des précipitations

temps et gardent une certaine stabilité (Beaulieu, 2009). Cette étape s'effectue sur deux niveaux par rapport à :

1) **La donnée:** on recherche à déterminer si les mesures appartiennent bien à une même population et ne proviennent pas de plusieurs échantillons.

2) **La station :** on choisit une station repère considérée comme étant correcte et prise comme une référence à condition que son homogénéité ait déjà été validée par des études antérieures. Cette station nous servira à comparer la fiabilité des autres stations dont les mesures sont douteuses en respectant, toutefois le critère de proximité spatiale.

Par ailleurs, nous maintenons que cette étape est décisive pour toute utilisation ultérieure, et conditionne la fiabilité des analyses qui en seront déduites.

II.2.Choix des stations

Avant de se lancer dans l'étape du choix des stations pluviométriques, nous nous sommes fixés deux critères de sélection. Le premier consiste à n'accepter que les stations ayant des chroniques couvrant de longues périodes, une durée minimale de 30 ans. Le second critère consiste à ne prendre en considération que les séries comportant un minimum de lacunes.

Compte tenu des conditions de sélection que nous nous sommes imposées, la seule issue qui nous restait pour un choix définitif et fiable des stations a été de rechercher les stations implantées dans les anciens barrages ou à proximité.

Le tableau, ci-dessous, représente la répartition des stations pluviométriques et hydrométriques au niveau du bassin de la Tafna et celle choisie pour l'étude du bassin de Sebdou.

Tableau3: stations choisies pour l'étude des précipitations

Stations pluviométrique	Codes	Altitudes (m)	Durée (an)	Superficie (km ²)	Coordonnées (Lambert algérien)	
					X (km)	Y (km)
1) Beni-Bahdel	160402	665	31	603	118,80	163,400
2) Khemis	160409	760	31	343	114,65	161,5

a- Contrôle des données pluviométriques

1-Méthode des cumuls simples appliquée sur les mesures pluies

Nous avons effectué un premier examen pour évaluer l'organisation interne des données dans une même station à travers la méthode des cumuls simples. Cette méthode nous permet de détecter si les données collectées appartiennent bien à la même population.

Nous avons reporté pour les deux chroniques de pluies, en abscisse le temps en années et en ordonnée le cumul des précipitations, tels que :

$$Y_k = \sum_{i=1}^k p_i \text{ pour les précipitations}$$

Les cumuls simples obtenus correspondent aux totaux annuels des précipitations sur la période de 31 ans. Quand il y a stationnarité, les points relatifs de pluies sur le graphique devraient s'aligner (Brunet-Moret, 1971). Dans le cas contraire, les données vont s'individualiser en formant plusieurs segments indiquant la présence d'incohérences.

Pour le cas étudié (figure.8), l'ensemble des points s'alignent bien selon une droite, les mesures se répartissent de part et d'autre de la droite). Ce résultat suggère que l'échantillon de données a été bien tiré d'une même population. Cette méthode reste peu utilisée par la communauté des chercheurs ; elle n'aide pas vraiment à identifier s'il y a lieu de tendance et ou de rupture sur les séries étudiées et ne fait pas intervenir la notion de corrélation entre stations puisqu'on ne travaille qu'avec des chroniques individuelles (Brunet-Moret, 1971) mais, elle reste un bon moyen de vérification de données d'une même station.

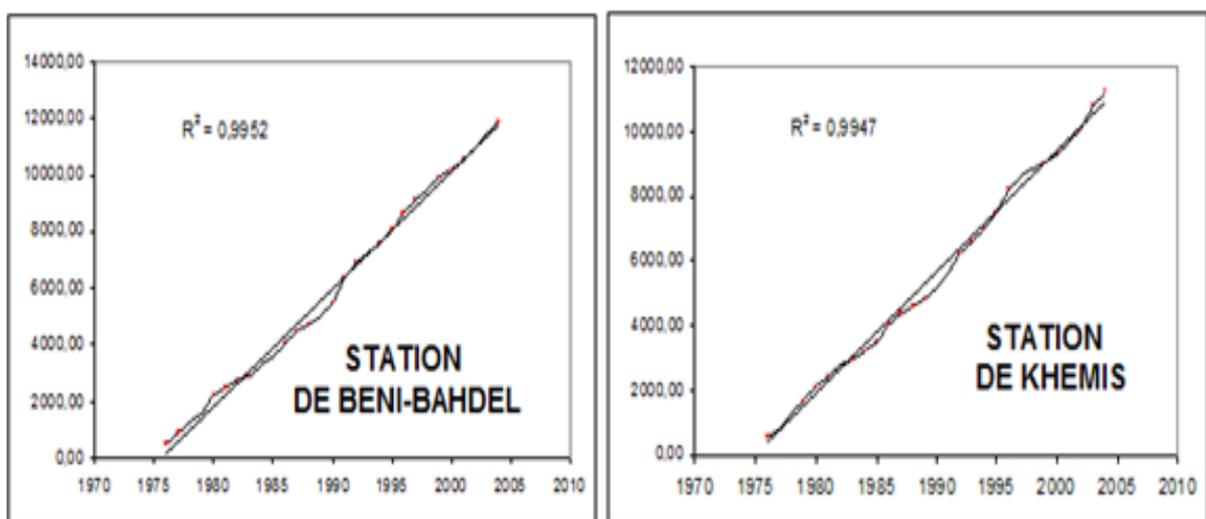


Figure 8: Représentations des cumuls simples

2-Méthode des doubles cumuls

appliquée aux données pluviométriques. Partant du principe que les précipitations ont un comportement régional, nous avons essayé de mettre en évidence, à travers cette méthode, que deux stations spatialement voisines ont un même comportement. La méthode consiste à représenter graphiquement une station de référence en fonction d'une autre à vérifier. Il en résulte un nuage de points qui devrait se présenter selon une droite bien définie. La non homogénéité des points se traduit par le regroupement de ces derniers selon des segments non alignés. Si ce cas se présente, la station comporte nécessairement des données douteuses qui seront identifiables sur les graphes à partir des points d'inflexion ou de rupture.

On construit le graphe comportant en abscisse les cumuls de la station de référence et en ordonnée ceux de la station à vérifier.

$$X_i = \sum_{i=1}^i x_i$$

$$Y_i = \sum_{i=1}^i y_i$$

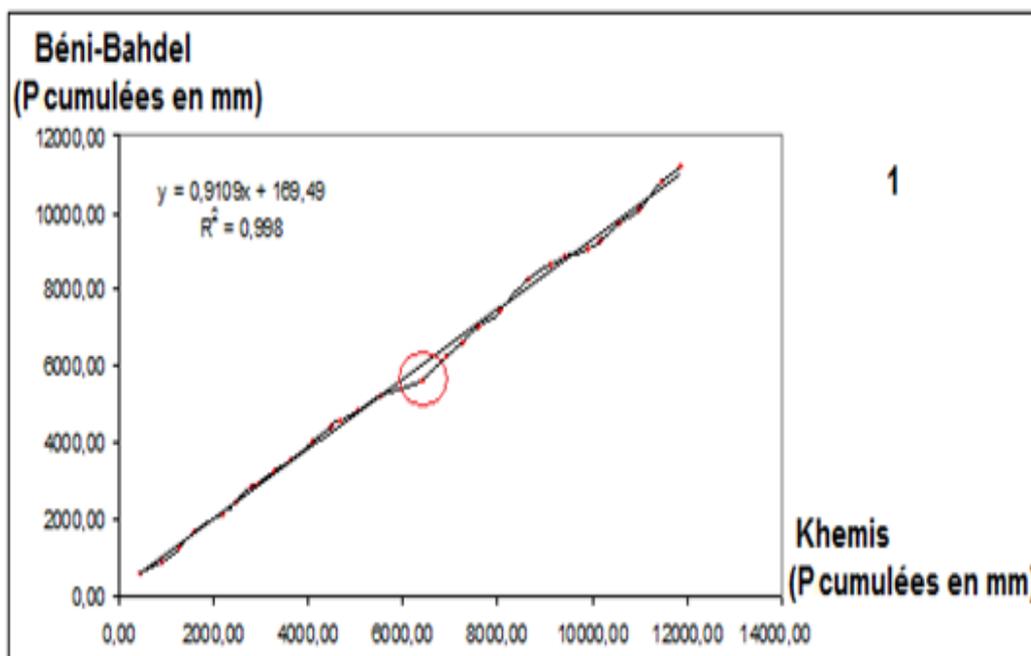


Figure 9: Méthode double cumuls appliquée à la station de Beni-Bahdel et Khemis

Les résultats de la méthode sont reportés sur la figure.9. Nous avons pris en considération le critère de proximité spatiale pour cette application. Selon le principe de voisinage nous avons choisi d'effectuer les comparaisons entre les stations de Béni-Bahdel/ Khemis. La majorité des points représentés sur la figure, ci-dessus, suivent une droite sauf

quelques points qui se dégagent relativement du nuage obtenu mais, sans qu'ils manifestent un état net de non homogénéité.

II.3. Analyse des régimes pluviométriques

Dans cette section, nous présentons quelques approches qui nous ont permis d'avoir une synthèse sur l'évolution des précipitations dans le bassin étudié. Bien que l'analyse se soit avérée difficile au début compte tenu de l'incohérence des données, nous avons néanmoins réussi à proposer une synthèse sur les régimes de pluies et leurs variations dans le bassin étudié. Une synthèse bien détaillée se trouve dans la thèse de Bakreti (2014).

Les grandeurs calculées pour mettre en exergue ces variations sont : les régimes annuels et mensuels des pluies, et l'indice de concentration saisonnier des pluies (PCI) et l'étude des événements extrêmes (pluies).

Sur la plupart de ses grandeurs, nous avons appliqué des tests de détection de rupture et de tendance. L'objectif visé est d'identifier les tendances à la sécheresse qui pourrait présenter un risque menaçant le bassin étudié.

1. Régime pluviométrique

Pour la description des régimes pluviométriques, nous avons calculé, sur les 31 années disponibles, les cumuls annuels de pluie. Ces derniers ont été aussi calculés à l'échelle mensuelle, année par année, ce qui nous a permis d'examiner leur variabilité interannuelle.

Pour avoir plus d'information sur leur régime saisonnier, nous avons recherché à estimer l'indice de la concentration des précipitations, noté PCI (Oliver, 1980) le plus souvent suggéré dans des études similaires. Il est déterminé par la formule :

$$PCI = 100 \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P_a^2}$$

$i = 1, \dots, 12$ avec $P_i =$ précipitations mensuelles en mm et $P_a =$ précipitations annuelles en mm.

Nous nous sommes appuyés pour nos interprétations sur le tableau 6 l'explication

Tableau 3 : Indice de concentration des précipitations

Indice de concentration des précipitations "PCI"	Saisonnalité
<10	Uniforme
11-15	Modérée
16-20	Saisonnier
>20	Forte

a. Précipitations annuelles

Les variations interannuelles des précipitations à la station de Sebduou présentent des irrégularités assez prononcées. La région est caractérisée par des périodes humides dont les valeurs sont supérieures à la moyenne avec un maximum de 694 mm en 1994/1995 et des périodes sèches dont les valeurs sont inférieures à la moyenne avec un minimum de 185,9 mm enregistré en 1944-1945, la moyenne interannuelle le long de la période d'étude est de 369,4 mm, **Figure.10**.

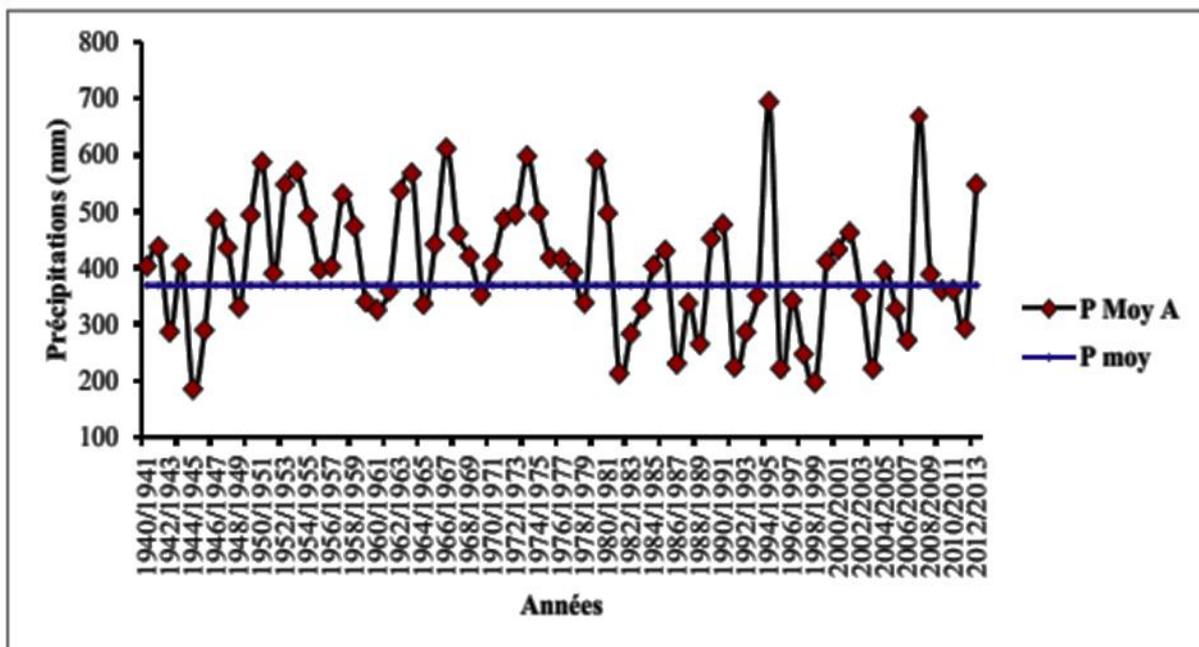


Figure 10: Variations interannuelles des précipitations à la station de Sebduou

b. Précipitations mensuelles

Les régimes des pluies mensuelles sont présentés sur la figure.11. Les périodes les plus sèches s'étendent de juin à août pour toutes les stations. On distingue clairement que les minima sont observés en période d'été (juin, juillet, août) alors que les périodes d'hiver, de printemps et d'automne sont les plus humides. La même figure révèle une forte variabilité interannuelle des précipitations des différents mois, surtout sur les périodes les plus pluvieuses (automne et hiver). Pour la période étudiée, on observe des distinctions relativement marquées en termes de quantités de pluie reçue.

Les données des précipitations mensuelles sont données par le **tableau.5** sur une période allant de 1940/1941 jusqu'au 2012/2013. **Figure.7.**

Tableau 4: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Sebdou (1940/1941-2012/2013)

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
P (mm)	23,4	33,2	43,4	38,6	51,6	44	43,1	38	29,3	10,6	5,4	8,8	369

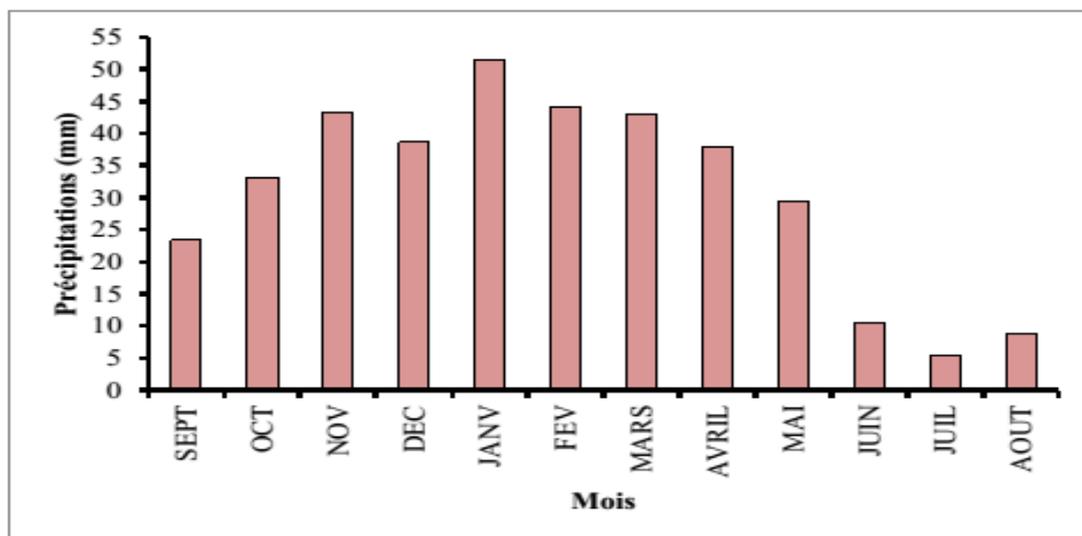


Figure 11: Répartition des précipitations mensuelles à la station de Sebdou

Les variations mensuelles des précipitations montrent que les valeurs des Précipitations maximales sont notées principalement en mois de Janvier, Février et Novembre avec un maximum de 51,6 mm pour le mois de Janvier et un minimum de 5,4 mm réservé pour le mois de Juillet.

b. Précipitations saisonnières

La figure montre la distribution saisonnière des précipitations où l’Hiver représente la saison la plus humide et l’été la plus sèche. (Fig.12).

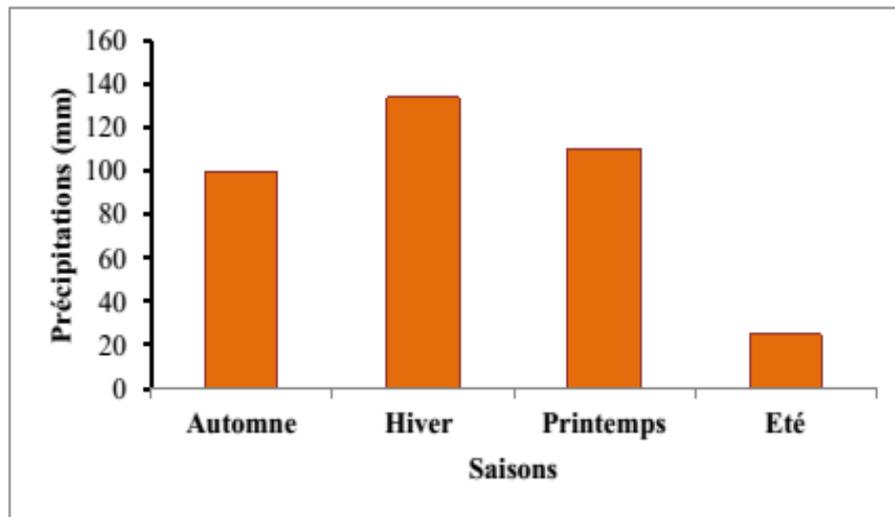
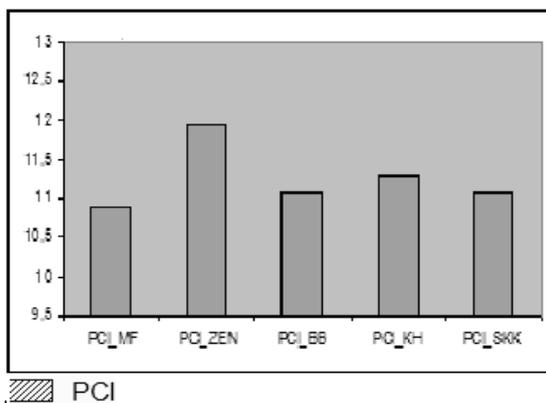


Figure 12: Répartition des précipitations saisonnières à la station de Sebdu

L'indice saisonnier PCI est présenté sur la Figure13, le PCI traduit pour les deux stations une saisonnalité modérée avec des valeurs toutes comprises dans l'intervalle [11-15].



Stations pluviométriques	PCI
PCI_BB(Beni –BAHDEL)	11.1
PCI_KH(KHEMIS)	11.3

Figure 13: Précipitations saisonnières et calcul du PCI

II.4. Mise en œuvre de la méthode GRADEX

1. Principe et concept de base

La méthode du Gradex, développée par EDF pour la sécurité des grands barrages, est utilisée couramment en France pour l’estimation des débits de fréquences rare et

Deuxième partie Traitement et analyse des précipitations

exceptionnelle. La méthode utilise l'information pluviométrique pour extrapoler la distribution de fréquence des débits.

Il s'agit d'une approche hydropluviométrique probabiliste du calcul des débits de crues extrêmes de période de retour supérieure à cent ans. La méthode se base sur l'information apportée par la loi de probabilité de la pluie spatiale pour les valeurs fortes. En effet, on suppose que la loi de distribution de la rétention du bassin ne change pas pour les pluies intenses, d'où on déduit le comportement asymptotique des volumes des crues extrêmes à partir de la distribution de la pluie moyenne maximale annuelle (pour un pas de temps adéquat).

La méthode s'applique à des bassins de quelques dizaines à plusieurs milliers de kilomètres carrés, qui sont homogènes en quantité de pluie reçue (la méthode ne s'applique pas à des bassins trop grands, où le comportement asymptotique de la pluie spatiale tend à devenir normal).

Le Gradex des pluies est le coefficient directeur de la droite d'ajustement de l'échantillon pluviométrique à une loi de Gumbel. Il est déterminé à partir des courbes intensité-fréquence des postes pluviométriques, ceci pour diverses durées de pluie.

Les calculs sont réalisés pour des pluies moyennes sur la durée D, caractéristique du bassin versant. Les débits instantanés peuvent être calculés grâce à un coefficient, appelé coefficient de forme, qui correspond au rapport moyen entre le débit maximum instantané et le débit maximum moyen sur la durée D.

$$Q_p(T) = Q_p(T0) + \left[(u(T) - u(T0)) * G_p * R_m * S / (3,6D) \right]$$

$$u = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

Avec :

$Q_p(T)$: valeur "instantanée" du débit recherché en m³/s (Q100),

$Q_p(T0)$: valeur "instantanée" du débit du seuil d'extrapolation en m³/s,

D : temps de base de l'hydrogramme de ruissellement ou temps de concentration du bassin versant en heures (assimilé à la durée caractéristique),

G_p : Gradex des pluies pour la durée caractéristique,

G_q : Gradex des débits moyens sur la durée caractéristique au seuil

d'extrapolation,

R_m : coefficient de forme (rapport débit instantané/débit moyen sur durée D),

T : période de retour en années,

T_0 : période de retour du seuil d'extrapolation (point pivot),

S : superficie du bassin versant (km^2).

2. Hypothèses de la méthode du GRADEX

La méthode prend en considération les points suivants :

* La distribution des pluies de quelques heures à plusieurs jours ponctuelles ou spatiales sur un bassin versant est à décroissance exponentielle (loi de Gumbel, Somme de deux exponentielles, ...).

*La distribution de la rétention ne change pas pour les pluies intenses (valable à partir d'une certaine période de retour), c'est à dire l'espérance de la rétention reste constante, d'où le comportement asymptotique des volumes moyens de crues extrêmes aura le même comportement asymptotique que les pluies spatiales maximales annuelles.

*La dernière hypothèse se base sur l'invariance de l'hydrogramme unitaire, c'est à dire quelle que soit la quantité de pluie tombée, la fonction de transfert entre la pluie efficace et le débit ne change pas. On peut exprimer cette hypothèse par la relation entre le débit instantané maximal et le débit moyen de crue extrême, qui donne un coefficient de forme moyen des hydrogrammes de ruissellement direct.

3. Calcul du Gradex des pluies spatiales

L'hypothèse sur les pluies se base sur la distribution à décroissance exponentielle asymptotique de toutes les pluies ponctuelles ou spatiales de quelques heures à plusieurs jours. On propose deux lois de probabilité à décroissance exponentielle.

-Loi de Gumbel

Loi de probabilité souvent utilisée pour les valeurs extrêmes :

$$F(x) = \exp(-\exp(-(x-x_0)/a))$$

* $a = \frac{6}{p} \cdot s_x$ paramètre d'échelle (Gradex)

Deuxième partie Traitement et analyse des précipitations

* $x_0 = mx - 0.455'sx$ paramètre de forme (mode)

* m_x, s_x moyenne et écart-type de la population

-Loi Somme de deux exponentielles

La distribution de toutes les pluies y compris les valeurs nulles (loi ajustée sur toutes les pluies successives de durées comprises entre 4 heures à 72 heures) :

$$F(x) = 1 - a'e^{-x/a} - b'e^{-x/c}$$

* $a = 1/CV^2$ vérifiés expérimentalement

* $1 - F(0) = a + b$ probabilité des valeurs non nulles

$\square\square\square = 1/CV^2$ vérifiés expérimentalement

* $1 - F(0) = \square + \square\square$ probabilité des valeurs non nulles

$$a = \frac{\mu}{\alpha + \beta} \left(\sqrt{\frac{\beta}{\alpha} \left[\frac{\alpha + \beta}{2} (1 + CV^2) - 1 \right]} \right)$$

* $c = (m - a'a)/b$ pente des valeurs faibles (paramètre très inférieur à a)

* $CV = \square/\square\square$ coefficient de variation

* $CV = s/m$ coefficient de variation

Le paramètre "a" que nous appelons Gradex (gradient des valeurs extrêmes) représente les risques des précipitations intenses. C'est la pente de la droite de Gumbel sur un papier de probabilité à échelle de Gumbel.

Cette dernière loi de probabilité est plus proche de la réalité, par son comportement à l'origine (inflexion dans la partie inférieure de la distribution et dans les fortes valeurs. Par une simple translation de $-\ln(n)$ sur le graphique $(x, -\ln(-\ln(F)))$, on peut déterminer la distribution de la pluie journalière maximale de n jours, car elle a pour expression $[F(x)]^n$, dans l'hypothèse où les pluies sont indépendantes et ont même loi sur la période de saison considérée:

$$-\ln[-\ln(F(x)/n)] = -\ln[-\ln(F(x))] - \ln(n)$$

Le paramètre "a" ou Gradex varie avec la saison et selon le climat régional. En effet, on fait un découpage saisonnier, en prenant des mois ayant des Gradex comparables (à 10 ou 20 % de différence). Le Gradex des pluies journalières maximales annuelles est le même pour la saison à plus fort risque (avec une translation sur la distribution des pluies journalières saisonnières de $-\ln(n)$, n étant le rapport entre la taille des pluies journalières et la taille de la saison).

L'application de la méthode Gradex nous a amené, en premier lieu, à identifier puis à extraire tout événement extrême pluvieux durant une année autrement dit, on se met à extraire le maxima de pluie journalière annuelle.

La figure, ci-dessous, illustre un ensemble de maxima de pluie répartie sur les trente et un ans choisis pour notre étude. Dans un premier temps, la figure montre un grand contraste dans la répartition des précipitations notamment dans la redondance des pluies max qui ne semble pas être rattachées à la saison. Les maximas pour les années 1975 jusqu'à 1990 sont importantes puis tendent à être plus faibles en avançant vers les années 2000.

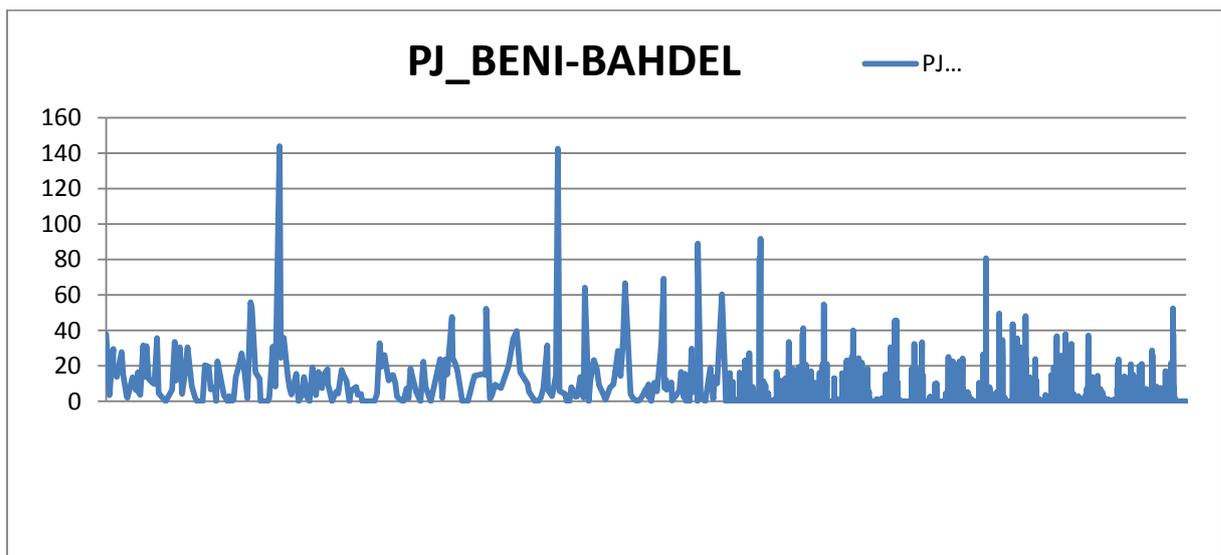


Figure 14: Répartition des précipitations sur la période étudiée.

Afin de mieux appréhender le comportement de la pluie extrême, nous avons adopté la démarche suivante :

Deuxième partie Traitement et analyse des précipitations

Pour chaque année étudiée nous avons extrait l'évènement représentatif puis reporté comme étant la valeur maximale annuel, l'ensemble des pluies extraites sont représentées dans le tableau, ci-dessous :

précipitations maximales journalières annuelles [mm/24 h]	rang [-]	fréquence empirique selon Hazen [-]	variable réduite de Gumbel u [-]	précipitations maximales journalières annuelles [mm/24 h]	précipitations estimées [mm/24h]
16,7	1	0,017	-1,41	16,7	4,6
18,1	2	0,050	-1,10	18,1	11,3
23,7	3	0,083	-0,91	23,7	15,3
23,8	4	0,117	-0,76	23,8	18,4
24,3	5	0,150	-0,64	24,3	21,0
25	6	0,183	-0,53	25	23,4
26,2	7	0,217	-0,42	26,2	25,6
27	8	0,250	-0,33	27	27,7
28,6	9	0,283	-0,23	28,6	29,7
30,5	10	0,317	-0,14	30,5	31,7
31,5	11	0,350	-0,05	31,5	33,6
31,6	12	0,383	0,04	31,6	35,6
35,7	13	0,417	0,13	35,7	37,5
35,8	14	0,450	0,23	35,8	39,5
37,7	15	0,483	0,32	37,7	41,5
37,8	16	0,517	0,41	37,8	43,5
41,2	17	0,550	0,51	41,2	45,6
45,6	18	0,583	0,62	45,6	47,9
48,2	19	0,617	0,73	48,2	50,2
49,5	20	0,650	0,84	49,5	52,6
52,2	21	0,683	0,97	52,2	55,3
54,5	22	0,717	1,10	54,5	58,1

Coefficients a et b - PLUIE	
Méthode des Moments	
b	a
21,3	34,7

moyenne =	47,0	[mm]
Ecart Type =	27,3	[mm]
Gamma =	0,57721	[mm]

Tableau 5: Résultat Après Analyse Selon La Loi De Gumbel

période de retour T =	10	20	50	100	500	[an]
probabilité de non dépassement de P =	0,9	0,95	0,98	0,99	0,998	
variable réduite de Gumbel =	2,25	2,97	3,90	4,60	6,21	[-]
Pmoy pour période de retour T =	82,7	98,0	117,9	132,7	167,1	[mm]

Le tableau, ci-dessus, résume le calcul de l'ajustement de Gumbel après un classement des mesures d'une façon croissante puis le script calcul les constante a et b et les moments nécessaires pour extraire les temps de retour.

Il en résulte de la représentation graphique du tableau l'ajustement de Gumbel qui est satisfaisant pour les données extrêmes de pluies choisie. Autrement dit, nous pouvons représenter tous les pluies maximales au niveau du bassin de Sebdou par la loi de Gumbel. La représentation peut nous donner accès à estimer d'une part les temps de retour pour les pluies maximales et d'autre part permet l'estimation du débit correspondant pour une éventuelle prévision de débit de crue reporté plus loin dans ce paragraphe.

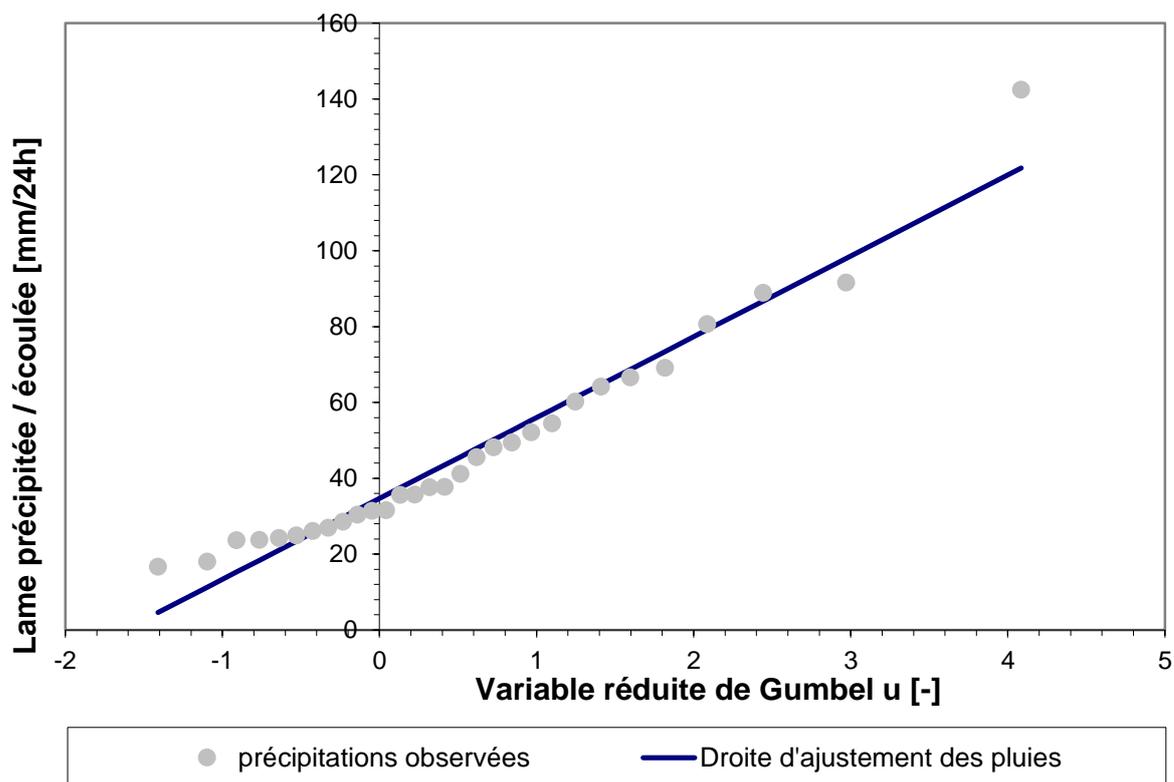


Figure 16 : calcul de l’ajustement de Gumbel

Après l’application de la loi de Gumbel pour extraire les Gradex de pluie nous avons calculé les temps de retour.

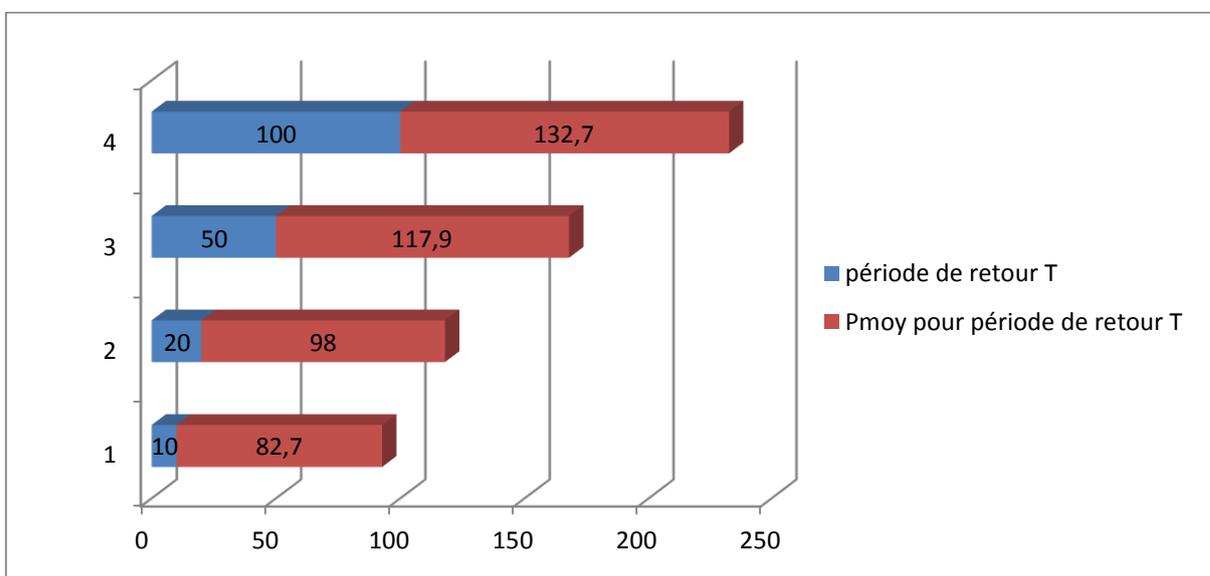


Figure 17: représentation des temps de retour pour les maxima de pluies

Deuxième partie Traitement et analyse des précipitations

A travers le graphique, ci-dessous, nous remarquons que la valeur maximale de la pluie journalière devient de plus en plus importante pour les temps de retour respectivement ; 20 ans , 50 ans et plus (figure, ci-dessous). Cette tendance à la hausse est nettement prononcée et peut nous renseigner potentiellement sur le déclenchement des crues au niveau du bassin en étudié.

Chose qui nous a amené à estimer comme première avantage de la méthode Gradex qui rappelons le, peut aider à estimer les débits sans mesures réel sur le terrain juste à travers l'estimation de la lame d'eau écoulee à partir des Gradex de pluie calculées

Tableau 6 : Estimation de la valeur de débit moyen journalier maximal annuel

Temps de retour	débits moyens maximaux journalier annuels	débits moyens journaliers maximaux annuels
	[m ³ /s]	[mm/24h]
10	150,0	20,7

En effet, un essai de calcul voire une petite projection de calcul de débit par extrapolation selon la méthode de Gumbel traduit un débit moyen maximum journalier annuel de 150m³/s équivaut à un débit moyen journalier maximal annuel de 21mm/24h. Ce débit est estimé en fonction de temps de retour de 10 ans. Cette valeur reste en quelques sortes importantes si elle se rajoute à un autre débit de fonte de neige qui caractérise la région (Bakreti, 2014). Le risque d'inondation au niveau de la région d'étude devient imminent d'où la nécessité du renforcement de la surveillance au niveau des barrages à proximité et aussi d'un point de vu assainissement de redimensionner les regards et les évacuateurs de crue.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude que nous avons menée sur le bassin de Sebdou nous a permis de cerner le bassin d'un point de vu hydrologique notamment sur le comportement des précipitations.

Le bassin d'un point de vu géologique est constitué par des formations karstifiées et marneuses ce qui donne au bassin un aspect composite par rapport aux écoulements.

Par ailleurs, l'influence du climat jugé par plusieurs études comme semi-aride vu l'irrégularité des précipitations a été certifiée par l'étude des régimes des précipitations qui a montré un régime irrégulier mais qui ne dépend pas des saisons. Cette irrégularité touche les régimes de pluies comme nous l'avons vu sur des cycles de cinq à dix ans.

La méthode Gradex vient valider les interprétations que nous avons citées plus haut.

Les précipitations tombées au niveau du bassin versant de Sebdou ont été présentées par la méthode Gradex d'une manière satisfaisante (d'un point de vu statistique) les lames d'eau écoulee sur le bassin sont bien représentatifs et nous avons pu à travers ces dernières estimer le débit de crue sur seulement dix ans. Les tendances à la hausse des lames d'eau écoulées indiquent une tendance à la hausse pour les temps de retour considérées. Cette tendance « à la hausse » est nettement prononcée et peut renseigner sur un danger de crue potentiel au niveau du bassin en étudié.

Liste de figures

Figure 1: Carte schématique de localisation de la région d'étude (A.Megnounif, al, 2004).....	3
Figure 2: Extrait de carte géologique de la région étude (in Bakreti,2014)	4
Figure 3: Log stratigraphique des Monts de Tlemcen (Baba-Hamed et Kerzabi, 1991)	6
Figure 4: Extrait de carte structurale(Benest986).....	7
Figure 5: Extrait du modèle numérique de terrain couvrant le bassin versant de SEBDOU (in Bakriti 20014).....	9
Figure 6: Situation hydrogéologie du bassin versant d'oued de Sebdou. (in Bakriti20014)....	11
Figure 7: Climat général du secteur étudié http://www.planbleu.org/donnees/eau/simed/eau_simed_bassin_versant.html (in Bakriti 2013)	12
Figure 8: Représentations des cumuls simples	14
Figure 9: Méthode double cumuls appliquée à la station de Beni-Bahdel et Khemis.....	15
Figure 10: Variations interannuelles des précipitations à la station de Sebdou	17
Figure 11: Répartition des précipitations mensuelles à la station de Sebdou.....	18
Figure 12: Répartition des précipitations saisonnières à la station de Sebdou	19
Figure 13: Précipitations saisonnières et calcul du PCI	19
Figure 14: Répartition des précipitations sur la période étudiée.	23
Figure 15:Extrait de calcul de l'ajustement de Gumbel	24
Figure 16 : calcul de l'ajustement de Gumbel.....	26
Figure 17: représentation des temps de retour pour les maxima de pluies.....	26

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques morphométrique du bassin de Sebdou (in Baba Hamed et R. Kerzabi, 1991)	9
Tableau 2: Répartition hypsométrique du bassin d'oued Sebdou (haute Tafna).....	10
Tableau3 : stations choisies pour l'étude des précipitations.....	13
Tableau 4 : Indice de concentration des précipitations	17
Tableau 5: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Sebdou (1940/1941-2012/2013).....	18
Tableau 6: Résultat Après Analyse Selon La Loi De Gumbel	25
Tableau 7 : Estimation de la valeur de débit moyen journalier maximal annuel	27

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Azzaz, H. Cherchali, M., Meddi, M., Houha, B., Puig, Jm et Achachi, A., (2008)** The use of environmental isotopic and hydrochemical tracers to characterize the functioning of karst systems in the Tlemcen Mountains, northwest Aléria *Hydrol. sci. n°*, pp.531-546.
- Baba-Hamed et Kerzabi, (1991)** –Contribution a L'étude hydrologique de la haute Tafna en amont du barrage BENI-BAHDEL (MONTES DE TLEMCEEN). Mèm. Ing. Etat, Univ. Tlemcen, Tome 1 et 2, 424p. , 154 Fig. , 61 Tab. , 5 pl, 15 ph. h. t.
- Beaulieu, (2009)**. Homogénéisation des séries de précipitations : identification des techniques les plus prometteuses et nouveaux développements. Doctorat. Thèse Univ, Québec INRS-ETE , 299p
- Brunet-Moret, y., (1971)** Etude de homogénéité de séries chronologiques de précipitation annuelles par la méthode des doubles masses. *Cala. O.R.S.T.O.M. Sér. Hydrol* , vol. VIII, no 4, 29 p.
- Bakreti, A., Braud, J., Leblois, E., & Benali, A., (2013)** Analyse conjointe des régimes pluviométriques et hydrologiques dans bassin de la Tafna (Algérie Occidentale) *hydrological Sciences Journal* .HSJ-2011-0078.R1
- Benest, M., Bensalah, M., et Truc, G. (1986)** Mise en évidence de l'éocène continental à Bulimes dans la série détritique du djebel Mékaidou, prés d'El Aricha (hauts plaines de l'ouest algérien). 6^e Sémin. Nat. Sci. Terre, Alger, p.37
- Benest, (1985)**. Evolution de la plate-forme de l'ouest algérien et du nord marocain au cours du jurassique supérieur et au début du crétacé :
Stratigraphie, milieu de dépôt et dynamique sédimentaire. *Docum. Lab. Géol.*
Lyon, N° 95, fasc. 1-2, 581 P. ?, 145 fig 2
- Benest, M. (1990)**. Importance du contrôle tectonique de la sédimentation au Tithonique inférieure dans l'avant-pays oranais (Algérie) ; exemple des monts de Tlemcen et de Saida. *Soc. Géol. Nord, Villeneuve d, Ascq, CVIII* , p.155-163. Fig 5.
- Bouanani, A. (2004)** Hydrologie, transport solide et modalisation : Etude de quelques bassins de la Tafna. *Th. Doct. Es-sciences, Univ. Tlemcen* , 250p.
- Boudjadja, A. (2003)** Ressources hydriques en Algérie du Nord. *Rev. Sci. Eau*, 16(3), 2003,

Références bibliographiques

pp.28 Boutoutaou, D, Belaguone,F, et Saggai ,S., 2011 Etude des crus des bassins versants arides et semi-arides de Algérie , Bassin Del Honda ,de Chott Melghir et Des Hauts plateaux(Bassins :05-06-07) Annales des sciences et Technologie Vol .3 N°1 ,Juin 20115-304.

-Bois, Ph Obled, Ch. &Zin, L, (2007) Introduction au traitement des données

-Bois, Ph.,(2000) Hydrologie générale cours. Ecole d' hydraulique et de mécanique de Grenoble .120p

-Collignon B.(1986).Hydrogéologies appliquées des aquifères karstiques des monts de Tlemcen .Thèse doctorat, Université d'Avignon .France .

-Elmi,S,(1972) L'instabilité des Monts de Tlemcen et de Rhar –Roubane (ouest algérien) pendant le jurassique interprétation paléogéographique C.R .Acad. Géol. France ,Paris .pp.1521-1524 fig1 .

-Gentil, L.(1903). Esquisse stratigraphique et pétrographique du bassin de la Tafna (Algérie).

Serv.Carte géol. . France et Carte géol. Algérie .521.p.121 .Fig.5.pl. 2cartes géol.

-Meddi.M, Hubert, p.,(2003) Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressource en eau du Nord –Ouest de L'Algérie Hydrology of Mediterranean and semiaridregions .IAHS.Pub.n°278 ,pp.1-7

-Mekahli.L.(1988) Le jurassique inferieure et moyen de la parie occidentale de Horst de Rhar Roubane (Tlemcen ,Algérie occidentale) :Stratigraphie, Sédimentologie et cadre dynamique . Thèse Magister .Univ Oran .260 p102 fig.

-Oliver, J.E. , 1980. Monthly précipitation distribution : a comparative index . Professional Géographier ,32(3),300-309

-Renard.,(2006) Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France ,Thèse de doctorat de l'institut National Polytechniques de Grenoble,364pp.

-Renard., Lang, M., P., Dupeyrat, A., Mestre, O, Niel., Gailhard,J. ,Laurent,C,Neppel

, L.andSauquet,E.,(2006) Evolution des extrêmes hydrométrique sen France à partir de données observées .La Houille Blanche –Revue international de l'eau ,6,48-54.

[http ;//www.planbleu.org/données/eau/simed/eau_simedbassin_versant .html](http://www.planbleu.org/données/eau/simed/eau_simedbassin_versant.html).