



République Algérienne démocratique et populaire



Ministère de l'enseignement Supérieure et de la recherche scientifique

Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen

Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master II en Hydrogéologie

Spécialité: Hydrogéologie

Titre

Impact des paramètres Hydro-Climatique sur les pertes du sol dans la haute Tafna : Cas du Bassin versant de l'oued Sebdou

M^{er} Soufi Merzouk Sofiane & M^{er} Mahi Abdelhafid

Sous la direction de : Dr. KAZI TANI Hicham

Membres de jury :

- | | |
|--------------------------------|------------|
| - Dr Mme :KERZABI Soumia | Présidente |
| - Dr : KAZI TANI Hicham | Rapporteur |
| - Dr : BOUGUERRA Sidi Mohammed | Examineur |

Année universitaire 2018-2019

DEDICACE

*Nous dédions ce modeste travail à
nos parents,*

*Nos frères et sœurs et à nos petites
familles*

Enfants :

Nibras

Soulef & Wissem

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, El hamdoulillah, avec l'aide du dieu nous avons arrivé a finaliser ce modeste travail.

On tient aussi à remercier vivement Monsieur KaziTanie encadreur, de son grand cœur, de sa patience et aussi pour la confiance qui m'a accordée de me suivre durant toutes les phases de réalisation de ce travail.

Sans oublier de remercier mes anciens professeurs qui ont été à l'origine de ma réussite durant le cursus du système d'ingéniorat et à ceux qui nous ont accompagnés durant la formation master II, parmi eux citons : Monsieur et madame Kerzabi ,Monsieur et madame boudjemaa, MonsieurKazi et Bouguerra, MonsieurHabib.

Mes remerciement pour les membres des jurys, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Toute ma reconnaissance pour son soutien, ses remarques pertinentes et ses conseils précieux qui m'ont beaucoup aidé a présenté un travail de qualité

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE.I : L'Erosion

- 1. phénomènes d'érosion**
- 2. Travaux sur l'érosion en Algérie**
- 3. Formes d'érosion hydrique**
- 4. Les facteurs de l'érosion hydrique**
- 5. Transport solide dans la bassin versant de Oued Sebdou**

CHAPITRE.II : L'Etude Climatique

- 1. Situation géographique du secteur d'étude**
- 2. Précipitations**
- 3. Etude du climat**

CHAPITRE.III : Transport Solide

- 1. Analyse des données**
- 2. Estimation de l'apport liquide et solide interannuel**
- 3. Bilan interannuel des apports solides**
- 4. Bilan saisonnier des apports solides**
- 5. Bilan mensuel des apports solides**
- 6. Etude des crues**

CONCLUSION GENERALE

LISTE DES TABLEAUX

CHAP	N°	Titre	page
1	1.1	Les formes d'incision dues à l'érosion linéaire	07
2	2.1	Cordonnée géographiques de la station de Sebdou Hydraulique	15
2	2.2	Précipitations mensuelles moyennes (mm) à la station Sebdou-Hydraulique (1990/2005)	15
2	2.3	Précipitations saisonnières (mm) à la station Sebdou-Hydraulique(1990/2005)	16
2	2.4	Précipitations mensuelles moyennes (mm) à la station Beni Bahdel Hydraulique (1990/2005)	17
2	2.5	Précipitations saisonnières (mm) à la station Beni Bahdel hydraulique (1990/2005)	17
2	2.6	Températures mensuelles moyennes (C°) à la station Beni Bahdel Hydraulique (1990/2005)	19
2	2.7	Précipitations et Températures mensuelles moyennes (C°) à la station Beni Bahdel Hydraulique (1990/2005)	19
2	2.8	Valeurs d'indice d'aridité mensuel	24
2	2.9	Calcul de l'indice mensuel de Moral.	25
2	2.10	Classification des mois.	25
2	2.11	valeur de y par la méthode de COUTAGNE	27
2	2.12	ETP corrigée à la station de Sebdou-Hydraulique.	28
2	2.13	Bilan hydrique calculé par la méthode de Thornthwaite pour la station de Beni bahdel-Hydraulique(1990/2003).	30
3	3.1	Valeurs de α en fonction de la perméabilité	34
3	3.2	Valeurs de α en fonction de la perméabilité	35
3	3.3	Relations entre débits solides et débits liquides (1990-2014).	37
3	3.4	Répartition saisonnière des apports liquides et solides et des dégradations spécifiques (1990-2010).	38
3	3.5	Répartition de quelques classes de crues pour la série d'observation (1990-2010).	44

LISTE DES SCHEMAS

CHAP	N°	Titre	page
1	1.1	Phases principales de l'érosion et de sédimentation	4
1	1.2	Importance relative des principaux mécanismes de dégradation des sols	5
1	1.3	Humectation d'une motte en terre après précipitation	13
2	2.1	Situation du bassin versant de la Tafna	13
2	2.2	Réseau hydrographique du sous bassin versant de OuedSebdou	13
2	2.3	Précipitations moyennes annuelles de la station de Sebdou (1990/2005)	16
2	2.4	Précipitations saisonnières de la station de Sebdou	16
2	2.5	Précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station de Beni Bahdel (1990/2005)	18
2	2.5	Précipitations saisonnières (mm) de la station de Beni Bahdel (1990/2005)	18
2	2.6	Températures moyennes annuelles de la station de Beni Bahdel (1990/2005)	20
2	2.7	Courbe pluviothermique de la station de Beni Bahdel (1990/2005)	20
2	2.8	Abaque de calcul de l'indice de DEMARTOMNE STATION DE BENI BAHDEL (1990-2005)	21
2	2.9	Abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE	22
2	2.10	Climagramme d'EMBERGER (la station de Beni Bahdel - 1990/2005)	23
3	3.1	Relation entre débits solides et les débits liquides instantanés (1990-2010).	35
3	3.2	Relation entre débits solides et les débits liquides pour pas de temps saisonnier	36
3	3.3	Variation interannuelle des apports solides spécifiques.	38
3	3.4	Répartition saisonnière des apports solides spécifiques (1990-2010).	39
3	3.5	Répartition mensuelle des apports solides spécifiques (1990-2010).	39
3	3.6	Différentes classes d'hystérésis dans les relations concentration en MES-Débit liquide.	40
3	3.7	Hydrogramme et Solidogramme de la crue de septembre 1987	41
3	3.8	Hydrogramme et Solidogramme de la crue de Mai 1990	42
3	3.9	Hydrogramme et Solidogramme de la crue d'Avril 1991	43

INTRODUCTION GENERALE

L'eau étant le vecteur privilégié de la vie, constitue l'élément indispensable pour l'alimentation, la santé et le bien-être de l'humanité, habitat d'une partie de la faune et de la flore, vecteur de matières érodant et modifiant les paysages. Le Saint Coran, dans lequel rien n'a été négligé, évoque dans de nombreux versets l'importance de l'eau (Sabir Ahmed, 2013). Le savant grec Thalès de Milet disait déjà au VI^e siècle av. J.-C. « L'eau est à l'origine et à la base de toutes choses », (Bouguerra, 2003). Abondante ou rare, l'eau disait Léonard de Vinci au XVI^e siècle, "est la force conductrice de la nature", (Khaldi, 2005). Les besoins en eau d'un pays augmentent relativement à ses exigences économiques. Cette problématique se trouve accentuée aussi bien dans l'espace que dans le temps à laquelle s'ajoute l'effet destructeur du changement climatique.

Les pertes en sols des terres, leur transport et sédimentation dans les infrastructures hydrauliques, hydro-agricoles, routières... ont poussé les décideurs à ouvrir des axes de recherche sur cette problématique, vu son ampleur et les conséquences qu'elle engendre sur les rendements économiques.

L'érosion hydrique est un phénomène bien connu en Algérie, mais de nos jours, elle prend de plus en plus de l'ampleur. Elle reste une préoccupation majeure. Environ 45% des terres fertiles en Algérie sont érodées (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2000). L'Algérie est classée parmi les pays aux sols les plus érodables du monde (Touaibia 2010), vu la morphométrie de ses bassins versants qui sont connus par la forte inclinaison de leurs pentes. Environ 6 millions d'hectares sont exposés à une érosion active Heddaj (1997).

Dans ce contexte, le barrage Béni Bahdel qui est l'exutoire du bassin versant de Sebdu avec une capacité initiale de 63 millions de m³ mis en service en 1944, s'affronte actuellement à un alluvionnement non négligeable. En effet, son bassin-versant est occupé sur 44 % de sa superficie par un couvert forestier dégradé (Ghenim 2007). Durant 20 ans d'observation des précipitations on a enregistré une moyenne interannuelle de 413 mm/an. Le présent travail a pour objectif d'expliquer le phénomène d'exportations de matières en suspension véhiculées par l'oued Sebdu aussi bien d'analyser ses conséquences sur l'envasement du barrage de Béni Bahdel. Pour cela, on a exploité les données de prélèvements journaliers la station située juste à l'amont du barrage effectués par l'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) durant la période comprise entre 1990 et 2010. L'objectif du travail a été fait sous la base de:

-L'étude des précipitations et des températures pour vingt ans d'observations afin de déterminer le climat dans la zone d'étude.

-L'analyse et les couples mesurées instantanément en période des crues des débits liquides-concentrations des particules en suspension, pour l'établissement du modèle puissance, aussi bien l'étude des crues pour le pas de temps horaire afin de déterminer l'hystérésis convenable à l'évènement.

CHAPITRE I:L'Erosion

- 1. phénomènes d'érosion**
- 2. Travaux sur l'érosion en Algérie**
- 3. Formes d'érosion hydrique**
- 4. Les facteurs de l'érosion hydrique**
- 5. Transport solide dans la bassin versant de Oued Sebdou**

I. phénomènes d'érosion

Le capital sol, véritable ressource, s'érode normalement, il se dégrade aussi et de façon accélérée du fait des activités humaines. Un sol apparaît et s'enrichit, mais il peut aussi s'appauvrir et mourir (Breton, 1997) in Morsli (2015). La dégradation des sols, c'est la perte des qualités essentielles des sols pour remplir ses fonctions naturelles de stockage de l'eau et des nutriments, de milieu de soutien des plantes, de réservoir de la biodiversité et de séquestration du carbone. La dégradation des sols peut avoir diverses origines : épuisement des nutriments des sols, salinisation, pollution, érosion des sols

L'érosion hydrique est un phénomène compliqué, qui menace particulièrement les potentialités en eau et en sol. Elle se détermine comme le détachement et le transport de particules de sol de son emplacement d'origine par différents agents vers un lieu de dépôt. Donc, les trois étapes par lesquelles passe l'érosion sont le détachement, le transport et la sédimentation. Cependant, il est à signaler que la pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine du détachement, du transport et du dépôt des particules du sol arrachées (figure I.1)

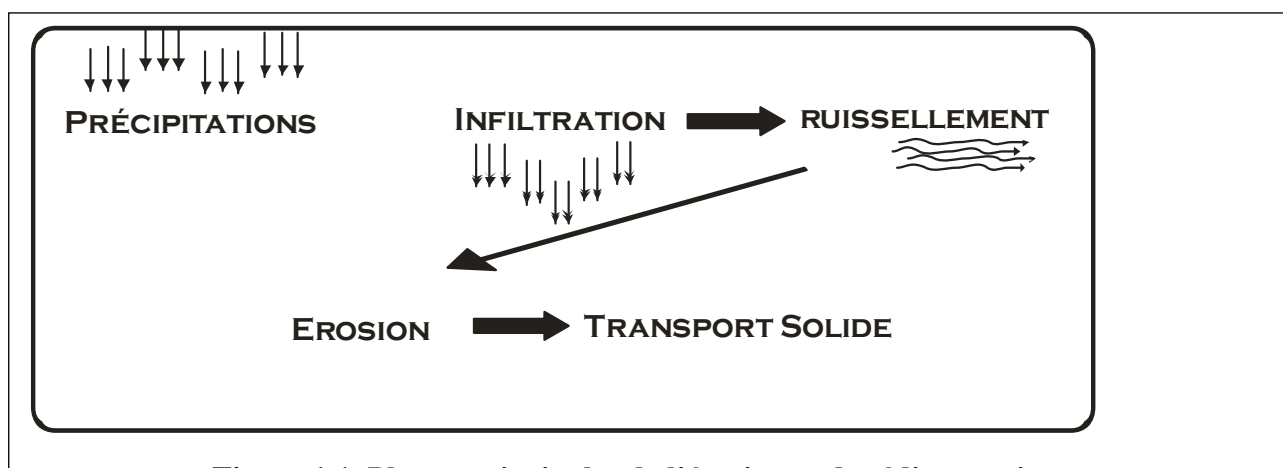


Figure 1.1. Phases principales de l'érosion et de sédimentation

A l'échelle universelle, une surface plus grande que celles du Mexique et des états unis réunis représentant 2 milliards d'hectares de terres agricoles est touchée par l'érosion e du sol (Ghenim 2008).

Une perte de 5 à 7 millions d'hectares de terres agricoles productives est enregistrée Chaque année, dont 56% de ces pertes productives sont dues à l'érosion hydrique et 28 à 33% à l'érosion éolienne (FAO, 1994) (figure I.2).

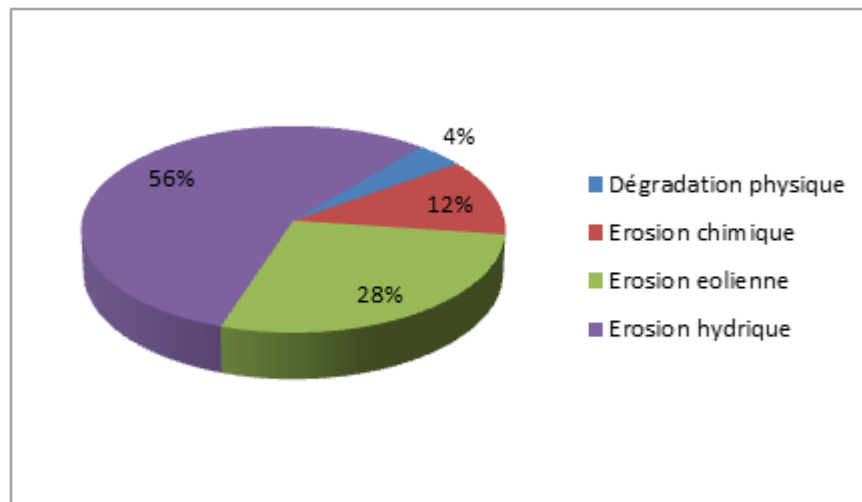


Figure I.2 Différents types d'érosion dans le monde

L'étude de l'érosion et du transport des sédiments, dans un bassin versant, fait appel à un grand nombre de disciplines et de dynamismes dans les domaines des hydrologues, des agronomes, des hydrauliciens, des mécaniciens de fluides et des géomorphologues (Erosion et transport solide).

2. Travaux sur l'érosion en Algérie

L'Algérie se classe parmi les pays du monde parmi les plus prétendus par une érosion spécifique moyenne annuelle variant entre 55 et 2800 t.km⁻².an⁻¹. L'Algérie du nord reste soumise à des fortes pressions humaines qui ont engendré une sévère dégradation du couvert végétal et des sols. On estime à plus de 20 millions d'hectares de terres touchées par l'érosion particulièrement dans les zones où sont implantés plus de 90% d'ouvrages hydrauliques et où vivent environ 20 millions d'habitants (Mazour, 1992). Les zones de montagne restent les plus touchées par l'érosion. Beaucoup de chercheurs ont travaillé sur ce phénomène. On cite les travaux de Demmak (1982), Meddi (1992), Bourouba (1997), Touaibia (2001), Terfous et al (2001, 2003), Megnounif et al (2003), Bouanani (2004), Megnounif (2007), Ghenim (2008), Yles et al (2012), Khenchoul (2012), Meddi (2015), Aicha el mahi (2012), Bouguerra et al (2016), Yles et Bouanani (2016), Kouadri et al (2016), Meddi et al (2016), Ghernaout et al (2016), Benstaali et al (2017).

3. Formes d'érosion hydrique

Les gouttes de pluie heurtant un sol nu détachent des particules qui sont éjectées dans toutes les directions, c'est un phénomène connu de longue date (De Ploey et Savat, 1968). Le ruissellement, est donc les forces érosives, sont d'autant plus importantes que la pente du

terrain est grande, que le taux d'humidité du sol est élevé et que l'intensité de la pluie est forte.

La résistance des terres à l'érosion dépend essentiellement de la texture du sol et couvert végétal (taille des grains, forces de cohésion, ...). La relation entre forces érosives et forces résistantes est bien sur influencée par les pratiques culturales (désherbage chimique, enherbement, labours et griffage,...) et par l'occupation du sol.

3.1 L'érosion de rejaillissement

C'est l'érosion élémentaire causée par le choc des gouttes de pluies (effet de Splash) qui a ainsi une incidence considérable sur l'érosion, la modification des propriétés physiques de la surface du sol et la qualité des eaux de ruissellement. Ce phénomène conduit à la désagrégation mécanique par quatre processus.

a/ L'éclatement (figure I.3), correspondant à la désagrégation par compression de l'air piégé lors de l'humectation. L'intensité de l'éclatement dépend entre autres, du volume d'air piégé, donc de la teneur en eau initiale des agrégats et de leur porosité.

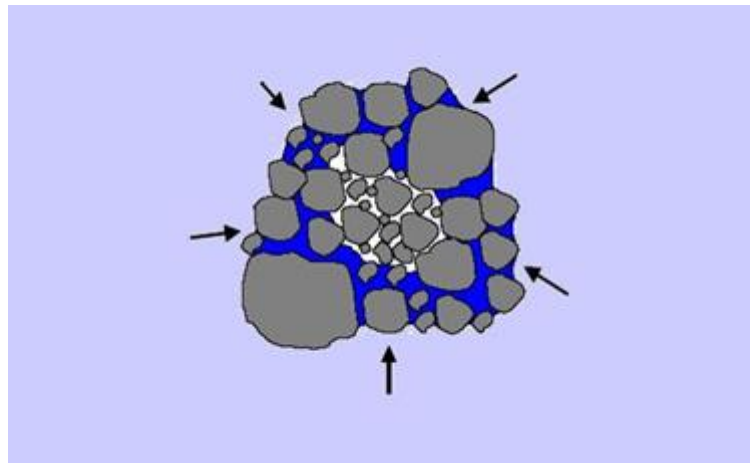


Figure I.3. Humectation d'une motte de terre après précipitation

b/ Le gonflement différentiel : Ce phénomène intervient suite à l'humectation et la dessiccation des argiles, entraînant des fissurations dans les agrégats. L'importance de ce mécanisme dépend en grande partie de la teneur et de la nature de l'argile des sols.

c/ La dispersion physico-chimique : Elle correspond à la réduction des forces d'attraction entre particules colloïdales lors de l'humectation. Elle dépend de la taille et la valence des cations (particulièrement du sodium) pouvant lier les charges négatives dans le sol.

d/ La désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie (Détachement par spallsh) : L'impact des gouttes de pluie par ces différentes trajectoires peut fragmenter les agrégats et surtout détacher les particules de leur surface. Ce mécanisme intervient en général conjointement aux autres mécanismes cités précédemment et nécessite une pluie d'une certaine énergie qui est variable selon les sols. L'énergie cinétique des gouttes n'est plus absorbée mais est transformée en force de cisaillement qui provoque le détachement.

3.2. L'érosion en nappe:

C'est le premier stade de la dégradation des sols par érosion. Ce type d'érosion entraîne la détérioration du sol sur l'ensemble de sa surface, autrement dit c'est une forme d'érosion diffuse. De ce fait, elle est peu sensible d'une année à l'autre.

Le signe le plus connu de l'érosion en nappe est donc l'existence de plages de couleur claire aux endroits les plus décapés. Egalement, il y a un autre symptôme de l'érosion en nappe est la remontée des cailloux en surface par les outils de travail du sol.

3.3. L'érosion linéaire

Lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltration de la surface du sol ou lorsque la pluie survient sur une surface partiellement ou totalement saturée par une pluie antérieure, il se forme dans un premier temps des flaques d'eau, qui en débordant vont communiquer entre elles par des filets qui prennent de la vitesse et développent une énergie propre capable de creuser le sol. Le tableau (I.1) montre les différentes formes de l'érosion linéaire.

Tableau 1.1 Les formes d'incision dues à l'érosion linéaire.

Formes	Tracé	Longueur	Largeur	Profondeur
Petit ravin	Peu sinueux	Centaine de mètre	50cm à 1m	50-200cm
Ravine	Peu sinueux	Centaine de mètre	50cm à 1m	30-50cm
Rigole	Sinueux	Dizaine de mètre	5-70cm	10-30cm
Rill	Rectiligne	Centaine de mètre	10-20cm	5-10cm
Griffe	Sinueux	<1m	<10cm	5-6cm

La ravine est une rigole approfondie où s'accumulent les filets d'eau. Cette érosion par ruissellement concentré ou érosion de talweg peut se produire même dans des régions à faible pente. Dans la nature, il existe des ravines en forme de V, dont l'enfoncement a eu lieu lors des averses exceptionnelles. La première averse par an suffit pour dégager toutes les particules collectionnées durant l'année au fond de la ravine et pour entailler le fond de la ravine par abrasion des matériaux que le ruissellement charrie.

3.4. L'érosion en masse

L'érosion accumulée quant à elle correspond plutôt une propriété linéaire des flux de matière. Les ravines sont, par exemple, le résultat de ce type d'érosion. Les chutes de blocs et les écroulements rocheux sont aussi des mécanismes générant le phénomène de l'érosion. Le terme chute est utilisé pour des éléments tombant isolément ou en groupe. Lorsqu'il s'agit de la chute soudaine d'une masse de plus d'un mètre cube, on parle dans ce cas-ci d'une érosion en masse.

4. Les facteurs de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique est fonction de multiples facteurs agissant sur ses principaux agents de mobilisation, parmi lesquels :

4.1. Climat

Le climat est un facteur sérieux qui enveloppe d'une façon directe le mécanisme de l'érosion. En plus de l'influence du vent et de la température, la pluie représente le facteur climatique le plus capital de l'érosion hydrique. Plus les pluies sont abondantes et intenses, plus elles libèrent une énergie cinétique et accroissent une agressivité nuisible des agrégats : ceux-ci seront d'autant plus fragiles que le sol est très sec (explosion des agrégats) ou très humide (faible cohésion) : l'impact des gouttes de pluie peut briser et disperser les agrégats, les particules les plus fines de sol (sables fins, limons, argiles et matières organiques) peuvent facilement être emportées par le ruissellement (Morsli 2015).

4.2. Couvert végétal

Le couvert végétal joue un rôle très important dans la protection des sols en diminuant le pouvoir érosif des pluies en réduisant leurs énergies cinétiques et réduit l'ampleur de ruissellement, ce rôle n'est efficace que si la surface des sols n'est pas dégradée avant que la végétation se soit suffisamment développée pour cette protection (Boiffin et Papy, 1988). La protection peut être assurée par des débris végétaux qui augmentent les forces de frottement,

favorisent l'infiltration et diminuent la vitesse de ruissellement. selon Mayer et Mannering (cité par Ludvig, 2000), entre un sol nu et un sol couvert par 2,5t/ha de résidus, la réduction de ruissellement est de l'ordre de 40% alors que celle des pertes en terre atteint 90%. Les eaux de pluies ruissellent au lieu d'être retenues ou infiltrées sur un terrain nu en pente. cela a deux conséquences : d'une part les crues sont potentiellement plus fortes que sur un sol couvert, d'autre part l'eau arrache et entraîne en plus grande quantité des particules de sol, provoquant une importante érosion.

4.3. L'activité anthropique

Indique l'état dégradé du milieu et montre l'exagération du phénomène de l'érosion, en méditerranée, des postulats sont avancées faisant état d'un rythme d'évolution rapide ou catastrophique où l'espace subit des pressions très fortes (Dufaure et al, 1984), il est a noté que l'activité culturelles, la déforestation ou le déboisement, la pollution de la biosphère et les aménagements et les travaux réalisés sur le réseau hydrographique peuvent affecter significativement l'intensité de l'érosion hydrique (Ouvry, 1990 ; Benchaabane, 1997).

En Algérie, on a répondu à une augmentation des besoins agricoles par :

- Par l'extension des terres cultivées et la mise en culture des pentes fortes allons jusqu'à 60%, le système fondé sur la culture des céréales au détriment l'arboriculture favorisent mieux la stabilisation des sols en pente.

- Par l'adoption d'un système moderne de production agricole sans maîtriser les techniques et avoir les moyens financiers d'appliquer correctement les méthodes de culture moderne.

4.4. Pente et longueur de pente

L'influence de la pente est complexe, dans plusieurs cas on observé une réduction du volume ruisselé lorsque la pente augmente(Roose, 1993), le plus souvent l'érosion augmente avec la pente car se développe une érosion en rigoles dix fois plus agressive que l'érosion en nappe (Roose et al, 1997), dans les régions arides et semi-arides le gradient de la pente est corrélé positivement avec le recouvrement de la surface du sol par des fragments de roches réduisant le ruissellement et la pente de sol(Cooke et al, 1993 ; Simanton et Toy, 1994). En Algérie l'influence de la pente sur l'ampleur de l'érosion est très significative car 85% des surfaces cultivables sont situées dans les régions montagneuses dont le quart présente des pentes supérieures à 25%.

L'érosion moyenne par unité de surface croit avec la longueur de la pente car les pentes les plus longues favorisent une plus forte accumulation de ruissellement.

4.5. L'infiltration

Le coefficient de perméabilité qui présente la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol dépend essentiellement de la porosité du sol qui sont plus aux moins perméables.

La surface des sols homogènes non saturés présente une certaine infiltrabilité définie comme le maximum qu'elle peut absorber lorsqu'elle est maintenue en contact avec l'eau à la pression atmosphérique, cette infiltrabilité baisse au cours du temps par des agents climatiques ou l'action de l'homme qui conduit à une réduction de la porosité.

V. Transport solide dans la bassin versant de Oued Sebdou

V.1 Transport solide en suspension

La suspension est un processus de transport de sédiments par l'eau ou par le vent. Les particules (de la taille des limons, voir des sables fins) sont emportées, sans se redéposer, sur de longues distances . dans le cas de transport éolien, la suspension fait suite à une érosion des matériaux par déflation. Le phénomène est à l'origine du dépôts de loess. Les particules transportées en suspension sont appelées des matières en suspension.

V.2 Transport solide par charriage

Le charriage (ou roulement ou roulage) désigne en géomorphologie un processus de déplacement des sédiments sous l'effet du vent ou de l'eau. Il affecte les particules les plus massives qui restent en contact avec le sol, se déplaçant de manière relativement lente et discontinue.

CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude et étude climatique

- 1. Situation géographique du secteur d'étude**
- 2. Précipitations**
- 3. Etude du climat**

1.Situation géographique du secteur d'étude

Le bassin versant de la Tafna d'une superficie de 694 km² et situé au nord-ouest de l'Algérie . IL s'étale sur la localité de la wilaya de Tlemcen(77% de la superficie totale) et déborde sur le territoire marocain. Son principal cours d'eau d'environ 150 km prend sa source dans les monte de Tlemcen, sont écoulement y est d'abord sous terrain et sont exurgence se trouve sur les rebord en amant de Sebdou, au niveau de la grotte de Ghar Boumaza, se qui constitue la haut de Tafna. Le nombre et l'importance des affluents diminuent considérablement sud au nord. A l'aval du barrage béni Bahdel , le cours d'eau débouche en taillant des gorges abruptes sur la pleine de Maghnia. A ce niveau la partie ouest et principalement alimenté par oued mouilah et les oueds du versant nord des monte de Tlemcen jusqu'au barrage de hammam boughrara. C'est la moyenne tafna.il traversent ensuite les pleine de remchi, ou il reçoit sont principale affluent oued isser et termine sont parcours par un estuaire au niveau de la plage Rachgoune. C'est la basse Tafna. le long de sont parcourt, la tafna reçoit plusieurs affluant dont les plus importants : oued isser et oued mouilah certain sont permanant et ne tarissent jamais, ils sont représenté par : oued Elkhemisse, mouilah, Isser, Sekkak, Chouly. D'autres sont temporaire, non alimenté par les sources et ne dépendant que des précipitations. leur apport sont toute fois considérable quand il sont on crue.

1.1. Oued sebdou

Le bassin versant de l'oued Sebdou figure (II.1) occupe une superficie de 255,50 klm² dans un périmètre de 78 km . la forme allongée du bassin traduite part sont coefficient de compacité de gravelés (1.37)ainsi que le rapport entre la longueur et la largeur (3,70), facilite l'écoulement des eaux superficielle vers l'exutoire du bassin et favorise l'érosion du type linéaire. Sont cors d'eau (oued Sebdou) le draine sur une longueur de 29.7 km et se jette dans la cuvette du barrage de beni bahdel(63 million m³).

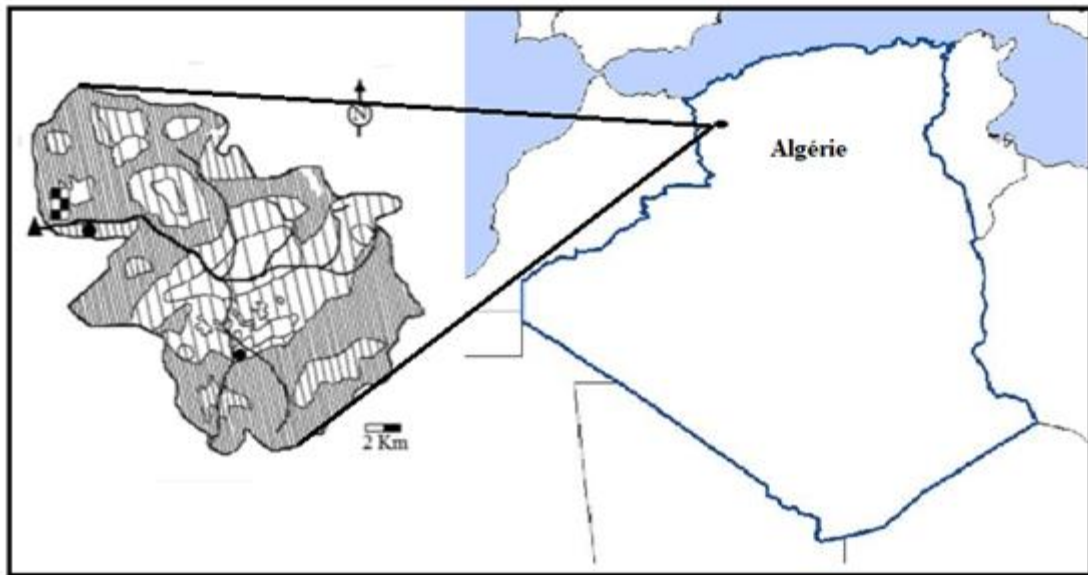


Figure 1.1. Situation géographique du bassin versant de l'oued Sebdu

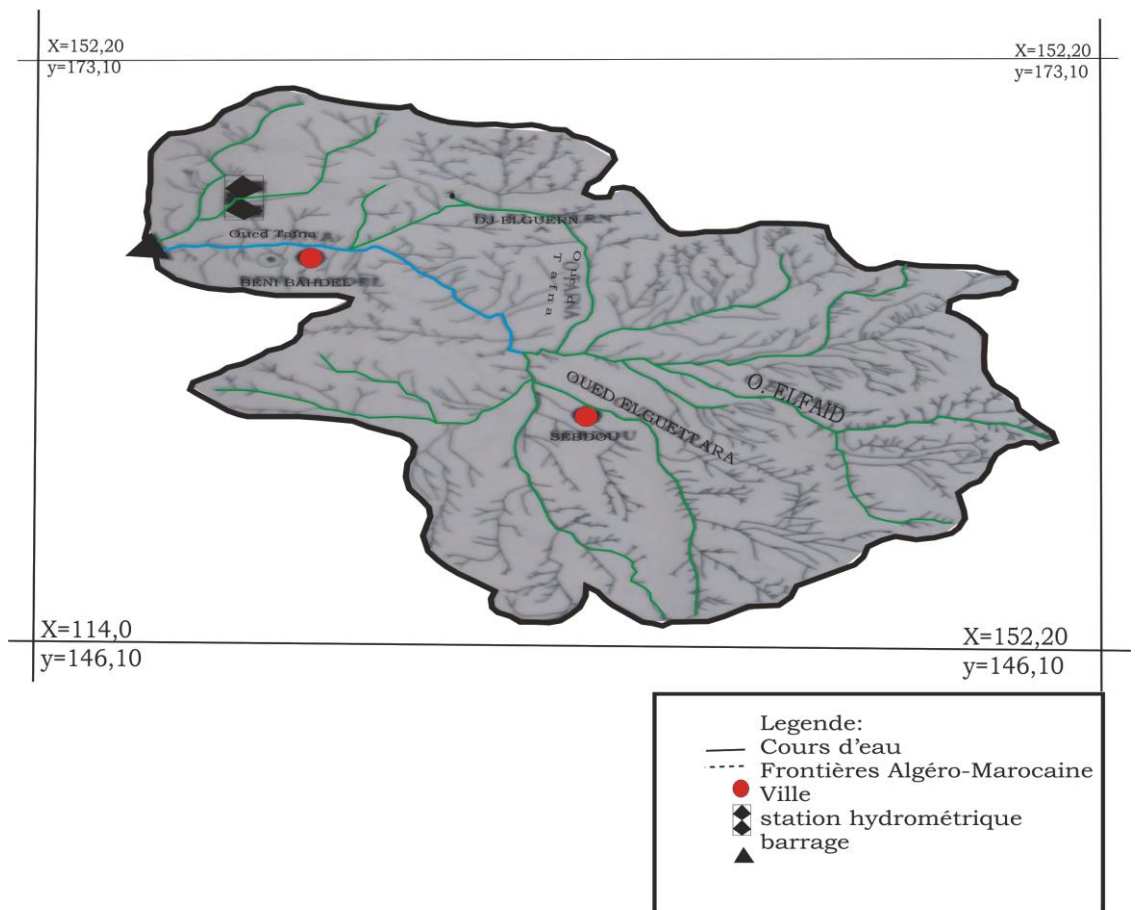


Fig II.2 :réseau hydrographique du sous bassin versant de Oued Sebdu

L'entaille du cours d'eau est creusée dans des formations essentiellement gréseuses. Occupé principalement par des montagnes de formation orogénèses alpine dont les sommets culminent à 1465m d'altitude (Monts de Tlemcen), le bassin versant est caractérisé par relief accidenté. 49% de sa superficie est à une pente supérieure à 25%. Cette classe de pente est localisée principalement au nord et au sud du bassin correspondant à la zone montagneuse.

Sa lithologie dominée par les terrains calcaires essentiellement karstiques, comporte aussi des sols alluvionnaires au niveau de la cuvette de Sebdou d'où émergent de nombreuses sources et des croutes marno-gréseuses et calcaire-gréseuses sur les hauteurs des monts des Tlemcen (Benest et Elmi,1987).

Le bassin versant qui semble au regard bienboisé , est occupé sur 44% de son étendue par un couvert végétal maigre et discontinu dominé par un couvert forestier dégradé. Ce dernier protège mal le sol vis-à-vis de l'érosion hydrique d'autant plus qu'il est localisé dans la partie du bassin à pentes fortes.

2. Le climat

Le climat par définition est l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, précipitations, évaporation, vents...) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné.

D'autres facteurs régissent le climat comme la situation géographique de la région (altitude, latitude, et éloignement de la mer)et par la circulation des pressions atmosphériques.

Les conditions climatiques jouent un rôle très important dans le comportement hydraulique des cours d'eau et hydrogéologique sur les eaux de surface et surtout la température, l'évapotranspiration et les précipitations.

Cette étude climatologique nous permet de :

- 1- Déterminer le type du climat de la région
- 2- Voir les variations des caractéristiques climatiques
- 3- Observer les potentialités en eau de la région.
- 4- Déterminer le type général du climat semi

Dans notre secteur d'étude nous disposons des données (températures, précipitations et évaporation) de la station de Sebdou Hydraulique.

Cette station est proche de notre secteur d'étude et a pour coordonnées :

**Tableau II.1: Cordonnée géographiques de la station de Sebdou& Beni Bahdel
Hydraulique**

Station de Sebdou	Station de Beni Bahdel
$X= 131.2$	$X= 115.0$
$Y= 158.5$	$Y= 164.6$
$Z= 900m$	$Z= 645m$

2 .1. Précipitations

Ce qui relie l'hydrologie au climat c'est surtout les précipitations, c'est le facteur important qui alimente l'aquifère.

Les études sur les précipitations ont été réalisées sur une période de 1990 à 2005.

2.1.1. Précipitations moyennes mensuelles :

La répartition inter mensuelle des précipitations pour la station de Sebdou est montrée dans le tableau (2.2), avec une moyenne de 32 mm, un maximum observé au mois de Janvier 49.88 mm environ et un total annuel de 360,79 mm.

**Tableau.2.2: Précipitations mensuelles moyennes (mm) à la station Sebdou-
Hydraulique (1990/2005)**

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Jet.	Aout	Total annuel
P(mm)	26.24	30.70	38.42	38.48	49.88	41.30	43.56	34.61	32.33	10.16	4.93	10.19	360,79

D'après ces résultats, on constate que le mois le plus sec est le mois Juillet et le mois le plus arrosé est celui de janvier.

2.1.2. Précipitation saisonnières : (1990/2005)

Tableau 2.3 Précipitations saisonnières (mm) à la station Sebdu-ydraulique(1990/2005)

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
P(mm)	95	146,1	107,9	24,4

2-3. Irrégularité du régime des précipitations :

Le coefficient d’irrégularité est donné par le rapport de l’année la plus humide à celui de l’année la plus sèche. $\frac{PM}{Pm} = 3.1$

PM : Précipitations moyennes annuelles max.

Pm :Précipitations moyennes annuelles min.

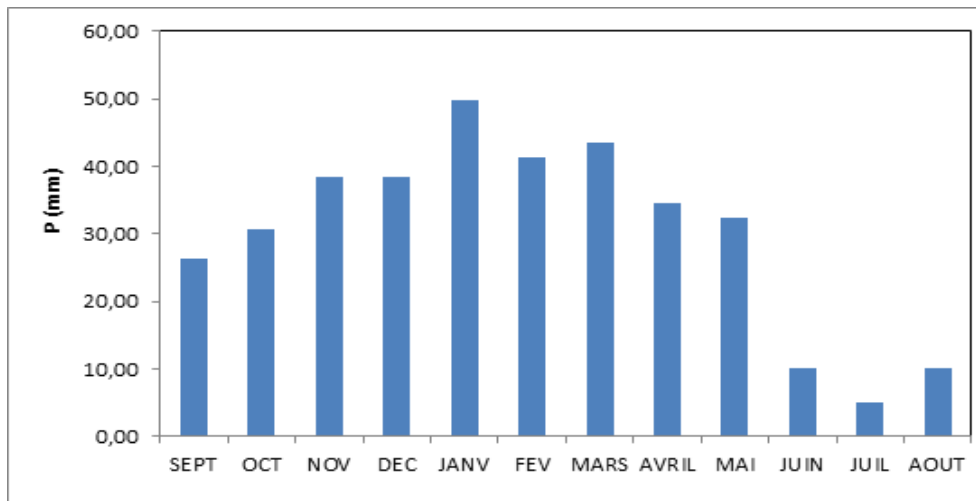


Figure 2.3. Précipitations mensuelles de la station de Sebdu(1990/2005)

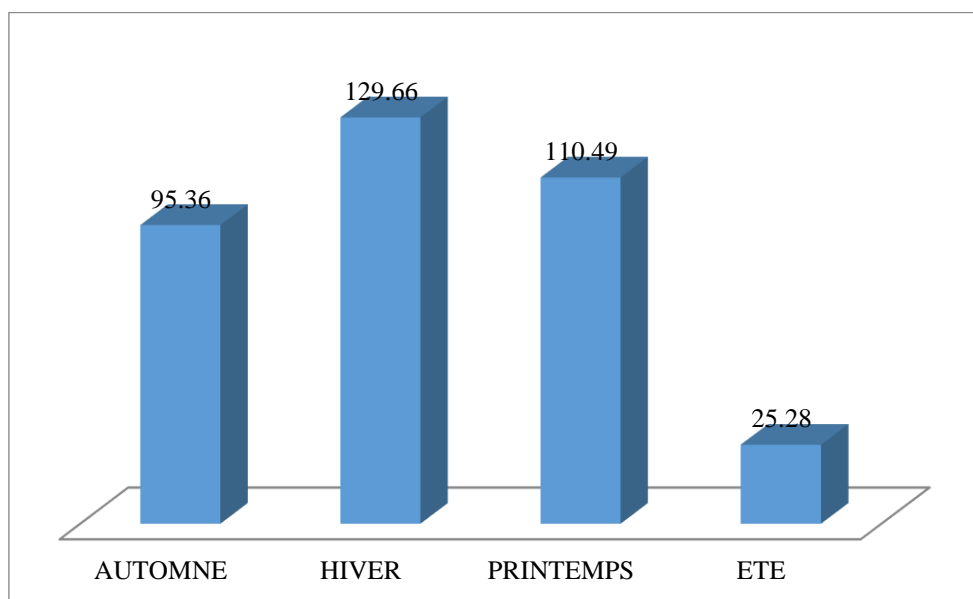


Figure 2.4. Précipitations saisonnières de la station de Sebdu(1990/2005)

Remarque : la station de Sebdou se trouve en amont du bassin versant, et comme nous ne disposons pas des données de la température pour cette station on va se contenter de travailler avec les données de la station de Beni Bahdel appartenant toujours au bassin et se trouvant à l'exutoire .

2.1.3. Précipitations moyennes mensuelles : (1990/2005)

Tableau.2.4 Précipitations mensuelles moyennes (mm) à la station Beni Bahdel Hydraulique (1990/2005)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Jet.	Aout	Moyenne annuelle
P(mm)	25.14	29.93	47.81	44.91	55.79	47.59	59.13	37.25	44.15	9.01	3.98	8.44	413,12

D'après ces résultats, on constate que le mois le plus sec est le mois Juillet (3.98mm) et le mois le plus arrosé est celui de mars (59.13mm).

2.1.4. Précipitation saisonnières : (1990/2005)

Tableau.2.5 Précipitations saisonnières (mm) à la station Beni Bahdel hydraulique (1990/2005)

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Eté
P(mm)	102,87	148,29	140,53	21.4

La répartition inter mensuelle des précipitations pour la station de Beni Bahdel est montrée dans la figure (2.5), avec une moyenne de 34 mm, un maximum observé au mois de Janvier 56 mm environ et un total annuel de 413 mm.

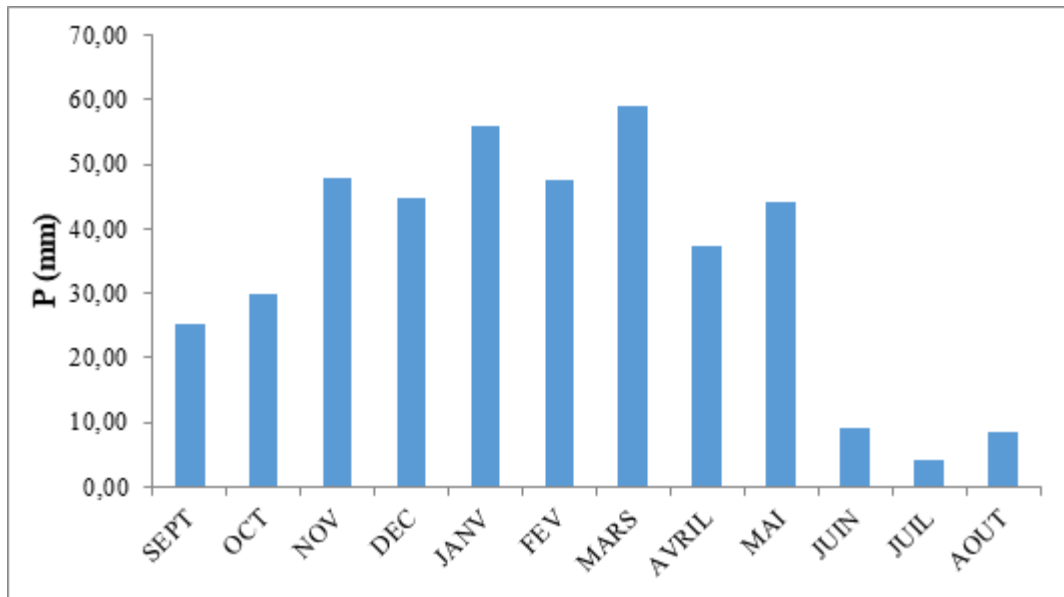


Figure 2.5. Précipitations mensuelles de la station de Beni Bahdel(1990/2005)

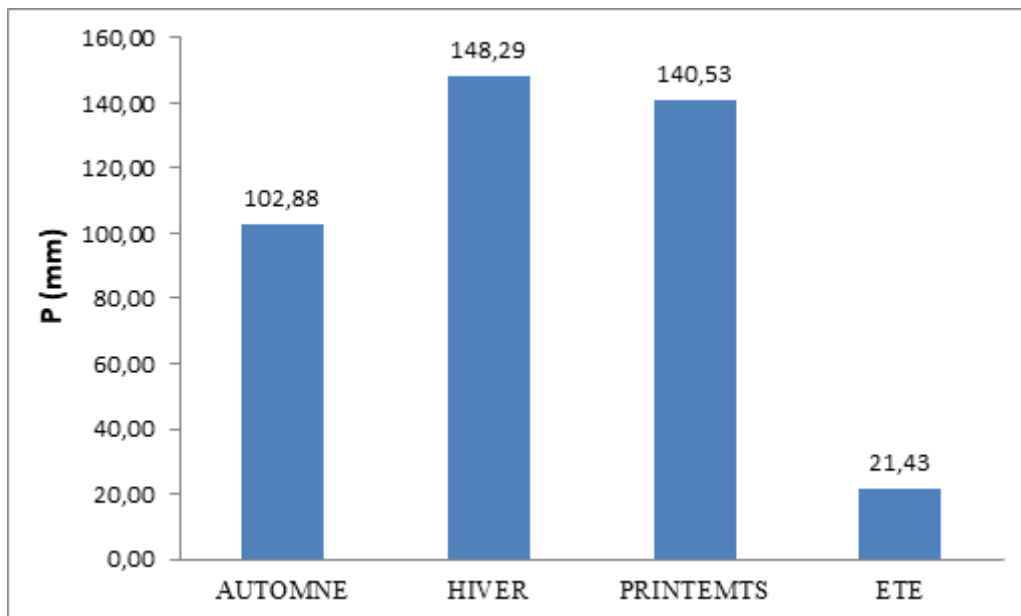


Figure 2.6. Précipitations saisonnières de la station de Beni Bahdel(1990/2005).

La répartition saisonnières des précipitations pour les deux stations Beni Bahdel et Sebdu figure (2.4) et figure (2.6), montre un petit rapprochement des valeurs pour les quatre saisons. La station de Beni Bahdel marque une petite hausse des pluies parapporta la station de sebdu.

2.2. Les températures

La température joue un grand rôle dans la détermination du climat de la région avec les autres paramètres météorologiques. Elle a des effets sur l'eau soit physiques comme l'évaporation soit chimiques telle que la variation du pH et des éléments ci-dessous.

**Tableau.2.6 Températures mensuelles moyennes (C°) à la station Beni Bahdel
Hydraulique (1990/2005)**

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Jet.	Aout	Moyenne annuelle
T C°	23,25	18.73	13.33	10.48	9.21	10.34	13.30	14.74	18.7	23.86	27.42	27.70	17.59

Les températures moyennes mensuelles de la station de Beni Bahdel (1990 /2005) montrent que le mois d’Août est le mois le plus chaud (27,70°C) et janvier le mois le plus froid avec (9,21°C).

La température moyenne annuelle est de 17,12°C.

**Tableau.2.7. Précipitations et Températures mensuelles moyennes (C°) à la station Beni
Bahdel Hydraulique (1990/2005)**

MOIS	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
Temp. (C°)	23,25	18.73	13.33	10.48	9.21	10.34	13.30	14.74	18.7	23.86	27.42	27.70
Précip. (mm)	25.14	29.93	47.81	44.91	55.79	47.59	59.13	37.25	44.15	9.01	3.98	8.44

2. Etude du climat

Méthode graphiques

Courbe pluviothermique de Bagnouls et Gausсен

Proposée par Bagnouls et Gausсен en 1953, comme définition des conditions climatiques des régions par l’importance de la saison sèche.

Le mois le plus sec est celui où le total moyen des précipitations(mm) est égal ou inférieur au double de la température(°C).

- Des périodes sèches où la courbe des températures est au-dessus de celle des précipitations, qui s’étend du début du mois de Mai jusqu’à la fin du mois de septembre.
- Des périodes humides où la courbe des températures est au-dessous de celle des précipitations, qui s’étend du début du mois d’octobre jusqu’à la fin du mois d’avril.

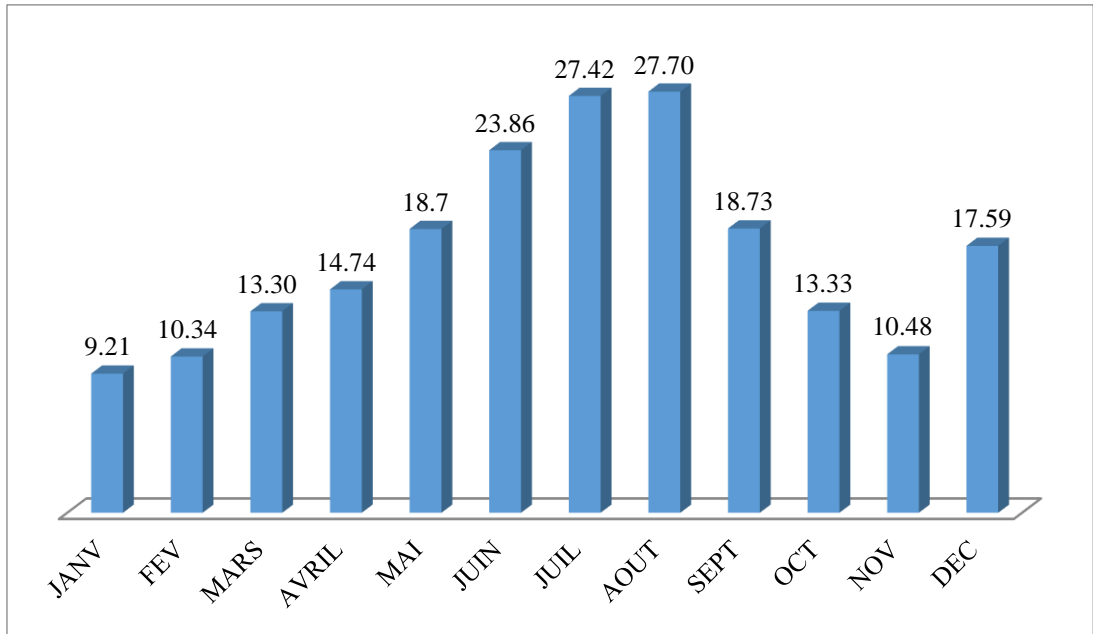


Fig. 2.7. Températures moyennes mensuelles de la station de Beni Bahdel (1990/2005)

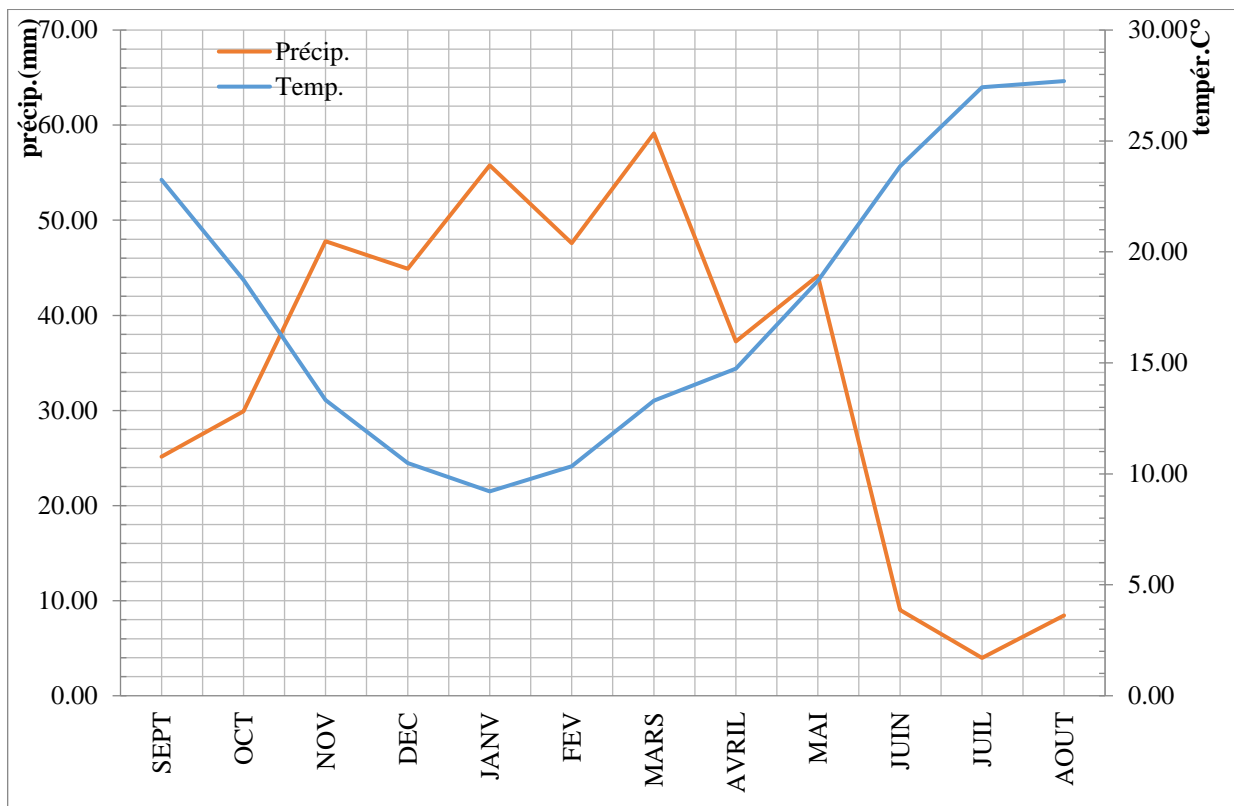


Fig. 2.8 Courbe pluviothermique de la station de Beni Bahdel (1990/2005)

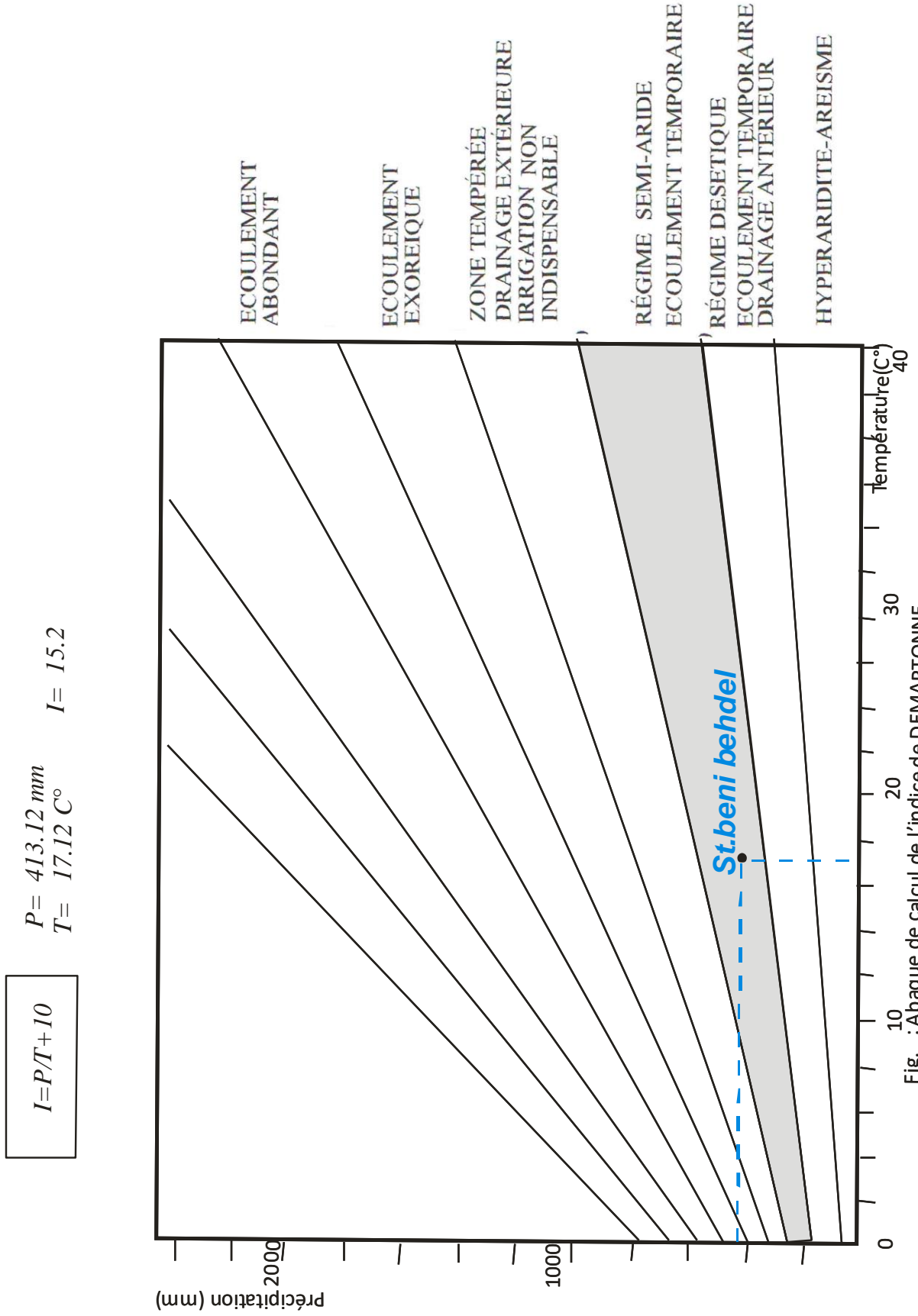


Fig. :Abaque de calcul de l'indice de DEMARTONNE
STATION DE BENI BAHDEL (1990- 2005)

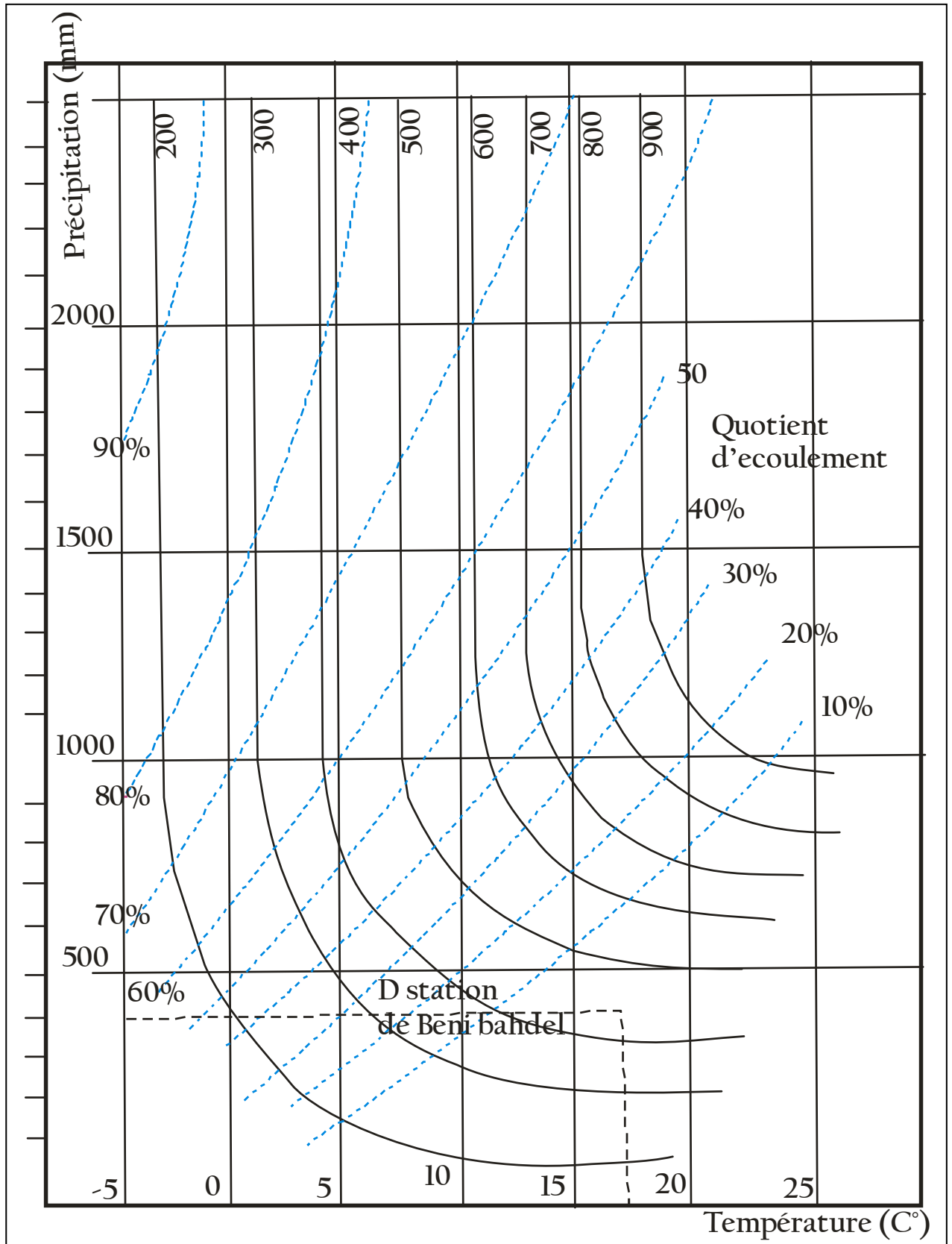


Fig.2.8 Fig.2.9 Abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE ON DE BENI

Fig. :Abaque de WUNDT modifié par COUTAGNE

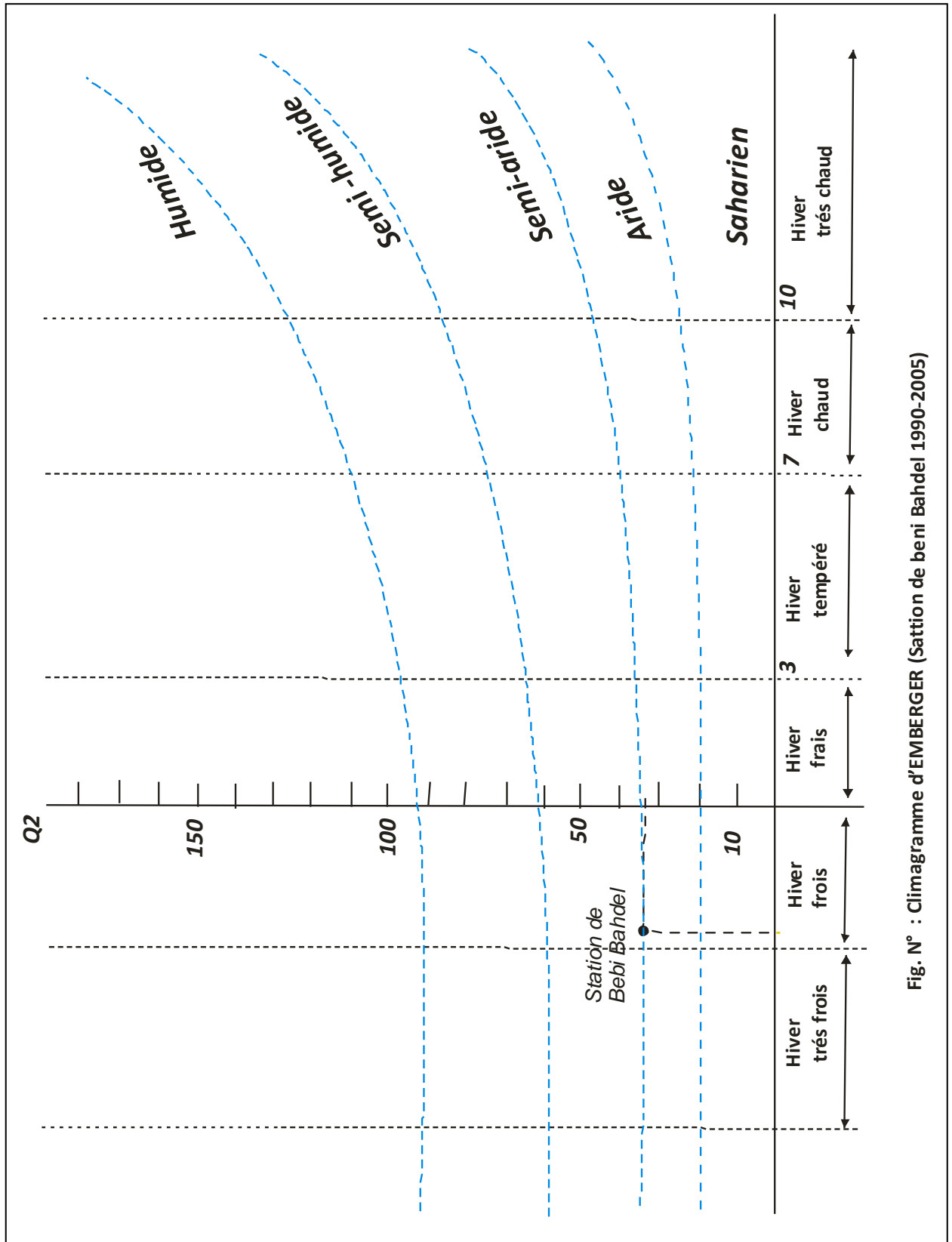


Fig. N° : Climagramme d'EMBERGER (Station de Beni Bahdel 1990-2005)

Fig.2.10. Climagramme d'EMBERGER (la station de Beni Bahdel - 1990/2005)

2.3. Les indices climatiques

A. Indice d'aridité de DEMARTONNE

a- Indice d'aridité annuel :

$$I = \frac{p}{(T+10)} = 15.23 \quad \text{climat semi-aride}$$

P : précipitation moyennes annuelles (mm).

T : Température moyennes annuelles °C.

b- In dice d'aridité mensuelle (i) :

$$i = \frac{12P}{(T+10)}$$

P :précipitation moyennes annuelles (mm).

T : Température moyennes annuelles °C.

Tableau.2.8. valeurs d'indice d'aridité mensuel

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jet	Aout
I m	9.07	12.50	24.59	26.31	34.85	28.07	30.45	18.06	18.45	3.19	1.27	2.68

Interprétation :

- Si $I > 10$: climat aride.
- Si $10 > I > 20$: climat semi-aride.
- Si $20 > I > 30$: climat tempéré.

$I=15,23$ donc le type du climat est **semi-aride**.

B. Le Climagramme d'Emberger

Il est basé sur les limites occupées par les différentes associations végétales.

$$Q2 = \frac{P}{M2 - m2} \times 2000$$

Q2 :quotient pluviométrique d'Emberger.

P : précipitation moyennes annuelles.

M : Maxima moyen du mois le plus chaud °k. (température journalière).

m : minima moyens du mois le plus froid °k ..(température journalière).

Q2=31,23

C. Indice de Moral

$$I = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

$$Im = \frac{Pm}{\frac{Tm^2}{10} - Tm + 20}$$

Im :indice mensuel.

Pm :précipitations mensuelles.

Tm :température moyenne annuelle.

Tableau.2.9 calcul de l'indice mensuel de Moral.

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Jui.	Jet	Aout
Im	0,49	0,82	1,95	2,19	2,89	2,33	2,42	1,38	1,21	1.16	0.05	0.12

Tableau 2.10 classification des mois.

P	$p > 0,1T^2 + T + 30$	$0,1T^2 + T + 30 > p > 0,1T^2 - T + 20$	$0,1T^2 - T + 20 > P > 0,05T^2 - T + 10$	$p < 0,05T^2 - T + 10$
Mois	Mois Pluvieux	Mois humide	Mois Sec	Mois Aride
Station Beni snous-hydraulique	Janvier,	février, Mars ,Avril, Mai, Novembre, Décembre.	Septembre, octobre.	Juin, juillet Aout .

2.4. Evapotranspiration et déficit d'écoulement

L'évapotranspiration désigne une perte d'eau par deux phénomènes :

- Le premier est physique : Evaporation.
- Le deuxième est biologique : Transpiration.

Le déficit d'écoulement est défini comme étant la différence entre les précipitations et la lame d'eau écoulée.

Pour l'évaluation de l'évapotranspiration réelle ou potentielle plusieurs formules ont été utilisées. Parmi lesquelles on a celle de Turc(1954) et celle de Thornthwaite(1948).

2.5. Evapotranspiration

2.5.1. formule de Turc

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

E TR :évapotranspiration réelle annuelle (mm).

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T :Températures moyennes annuelles °C.

L :hauteur de lame d'eau écoulée.

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3 \quad \mathbf{L = 1011,87 \text{ mm}}$$

$$ETR = 434,73 \text{ mm/an.}$$

L'écoulement est de 69 ,8 mm.

2.5.2. Formule de Thornthwaite : pour la station de Beni Bahdel (1990/2005)

$$ETP=1,6\left[\frac{T_m}{I} \times 10\right]^p \text{ K} = 226,06\text{mm/an.}$$

2.6. Déficit d'écoulement

2.6.1. Méthode de Coutagne:

C'est l'équivalent de l'évapotranspiration réelle et il peut être calculé à partir de la hauteur moyenne annuelle des précipitations (mm) et la température moyenne annuelle °C.

$$D=P-yP^2$$

D : déficit d'écoulement (mm/an).

P :Précipitations moyennes annuelles(mm).

T :Températures moyennes annuelles °C.

Y :1/(0,8+0,14).

Cette formule n'est applicable que pour P compris 1/2y.

Tableau.2.11 valeur de y par la méthode de COUTAGNE

Station	Paramètres	Valeurs
Beni bahdel hydraulique	P	0,511
	Y	0,316
	1/2y	1,615
	1/8y	0,403

Donc, pour P=0,511m/an on a déficit d'écoulement D=0,426m/an.

2-Méthode de Wundt :

Le déficit d'écoulement est calculé à partir de la projection de la température moyenne annuelle et des précipitations moyennes annuelles sur un abaque établi par Wundt.

2.7. Bilan hydrique :

1- Méthode de Thornthwaite :

Evapotranspiration potentielle(ETP) :

On doit d'abord calculer l'évapotranspiration potentielle pour chaque mois liées à la température, après on fait une correction en fonction de la latitude et la durée du jour.

$$ETP=1,6\left[\frac{Tm}{I} \times 10\right]^a = 817.6 \text{ mm/an}$$

$$a = \left(\frac{1,6 I}{100}\right) + 0,5 = 1.85$$

I : est la somme des 12 indices mensuelles(i) : $i = \left(\frac{Tm}{5}\right)^{1,514}$

Tm : températures moyennes mensuelles.

ETP : évapotranspiration potentielle.

Tableau.2.12 ETP corrigée à la station de beni Bahdel -Hydraulique.

Mois Paramétrés	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jet	Aout	Moyenne annuelle
T °C	23,25	18,73	13,33	10,48	09,21	10,34	13,3	14,74	18,7	23,86	27,42	27,7	17,59
I indice thermique	10,24	07,38	04,41	03,06	02,52	3,00	04,39	5,13	07,36	10,65	13,15	13,35	84,7
ETP non corrigée	16,63	18,08	20,61	22,61	23,77	22,73	20,63	19,81	18,09	16,47	15,61	15,55	230,65
Facteur de correction	1,03	0,57	0,87	0,86	0,88	0,83	1,03	1,09	1,2	1,2	1,22	1,16	
ETP corrigée	17,13	10,30	17,93	19,44	20,92	18,86	21,25	21,59	21,71	19,76	19,04	18,12	226,05

2.8. Evapotranspiration réelle ETR :

- Si P est supérieure à ETP ; alors $ETR=ETP$.
- Si P est inférieure à ETP ; alors $ETR=P$ et $ETR < ETP$.

Calcul de la réserve utile Ru de la station de Sebdou :

C'est la quantité d'eau stockée dans le sol. Son calcul est en fonction de la du sol et sa profondeur, elle est calculée à partir de la formule de Hallaire :

$$Ru = \frac{C-F}{100} \times H \times D + 30(mm)$$

Ru : la réserve utile.

C : Capacité au champ.

F : point de tarissement.

D :Densité apparente.

H :profondeur du sol.

Pour C-F : C-F=50% sol sableux.

C-f=10-15% sol limoneux.

C-f=20% sol argilo limoneux.

Le type du sol est argilo-limoneux,alors : C-F=20%=0,2

$$H=80cm$$

$$D=1$$

$$Ru=30,16 mm$$

Calcul du ruissellement :

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

$$R = 0,035 \text{ m/an (08,49\%)}$$

Calcul de l'infiltration :

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

$$I = 0,122 \text{ m/an (24,15\%)}$$

Tableau.2.13 Bilan hydrique calculé par la méthode de Thornthwaite pour la station de Beni bahdel - Hydraulique(1990/2003).

Mois Paramètres	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jet	Aout	Moyenn e annuelle
P (mm)	25.14	29.93	47.81	44.91	55.79	47.59	59.13	37.25	44.15	9.01	3.98	8.44	413
E T P (mm)	17,13	10,30	17,93	19.44	20,92	18,86	21,25	21,59	21,71	19,76	19,04	18,12	226.05
Variation de la réserve (mm)	08.01	19.63	29.87	25.47	34.87	28.73	37.88	15.66	22.4	-10.75	-15.06	-9.68	/
Ru (mm)	0	0	27	32	32	32	31,6	3,3	0	0	0	0	/
E T R (mm)	17,13	10,30	17,93	19.44	20,92	18,86	21,25	21,59	21,71	9.01	3.98	8.44	434.73
Déficit agricole (mm)	76,8								20,3	115,6	145,2	145,5	/

Conclusion :

Cette étude nous a permis de déterminer le type de climat prévalant au niveau de bassin versant de la Tafna , pour la période de 1990 à 2005 à station de Beni Bahdel. Il s'agit d'un climat semi-aride à hiver froid et caractérisé par :

- Une pluviométrie moyenne annuelle de $P= 413$ mm/an.
- Une température moyenne annuelle $T=17,57^{\circ}\text{C}$.
- Le mois le plus chaud est le mois d'aout ($27.7.^{\circ}\text{C}$) et le mois le plus froid est le mois de janvier avec (09.21°C).
- Le mois le plus sec est le mois de juillet et le mois le plus humide est le mois de mars.

Une évapotranspiration potentielle $ETP = 226,06$ mm/an et $ETR = 434.73$ mm/an.

- Une infiltration $I=0,122$ m/an.
- Un ruissellement $R=0,030$ m/an.

CHAPITRE III : Transport Solide

- 1. Analyse des données**
- 2. Estimation de l'apport liquide et solide interannuel**
- 3. Bilan interannuel des apports solides**
- 4. Bilan saisonnier des apports solides**
- 5. Bilan mensuel des apports solides**
- 6. Etude des crues**

Introduction

L'étude du transport des sédiments est nécessaire dans un bassin versant, dans ce contexte la recherche de modèles reliant les paramètres hydroclimatiques, écoulement et/ou transport de matériaux solides en zones arides ou semi-arides a fait l'objet de nombreuses études. Nous citons les travaux de Meddi (1992), Megnounif *et al.*, (2003), Bouanani (2004), Megnounif (2007), Terfouset *et al.*, (2001 et 2003), Cherif *et al.*, (2009), Elhacene (2009 et 2012), Yles et Bouanani (2012), Bouanani *et al.*, (2013), qui ont établis des relations pouvant être appliquées à des régions ou à des bassins versants. Le taux du transport solide est assez élevé dans les cours d'eau algériens, 1330 t·km⁻²·an⁻¹ à Oued Sebdou Nord-Ouest algérien Ghenim (2007), la Tafna 150 t·km⁻²·an⁻¹ Sogreah (1967), Oueds Mazafran (cotier algérois) 1610 t·km⁻²·an⁻¹ Bouroba (1997), l'Isser Lakhdaria 2300 t·km⁻²·an⁻¹, Oued Mouilah 126 t·km⁻²·an⁻¹ Terfouset *et al.*, (2001).

1. Analyse des données

Cette étude est basée sur les valeurs instantanées des concentrations (C) de matières en suspension et des débits liquides (Q_L) mesurées par l'ANRH durant la période 1990 -2010 au niveau de la station hydrométrique de la station de Béni Bahdel (X = 34° 42' 33", Y = 01° 29' 48", Z = 660 m) située juste à l'amont du barrage. Les valeurs des débits liquides sont obtenues à partir de la courbe de tarage sur la base de lecture sur une échelle limnimétrique. Par Ailleurs l'échantillonnage des matières en suspension s'effectue par le mode suivant : A chaque lecture de hauteur d'eau on prélève un échantillon d'eau chargé dans un flacon en plastique à 30 cm à partir de la rive, et sur une profondeur de 20 cm. Les échantillons prélevés sont stockés dans une glacière à 4°C ; puis ramenés au laboratoire. L'analyse des échantillons se fait par filtration sur un papier filtre d'une porosité de 10µm, puis ces matières sont séchées à l'étuve à 105°C durant 30 min. Ramenée à l'unité de volume 1 litre, cette charge est attribuée à la concentration en suspension instantanée véhiculée par le cours d'eau et ses affluents en g.L⁻¹ Les prélèvements sont effectués un jour sur deux, mais lors des crues l'écart de prise est réduit jusqu'à 15 minutes.

2. Estimation de l'apport liquide et solide interannuel

2.1. Méthode par extrapolation

L'apport solide en suspension A_s est calculé par la méthode qui se base sur le produit du débit solide en suspension dans le temps. En considérant une linéarisation du débit solide dans le temps, l'apport solide moyen pour la période entre les temps t_i et t_{i+1} est donné par la relation :

$$A_S = \sum_1^N (t_{i+1} - t_i) Q_i C_i \text{ (III.1)}$$

L'apport solide total d'une période (mois, saison, année et crue) est donné par la somme arithmétique des apports solides élémentaires de cette période.

La quantification du tonnage spécifique ou l'apport spécifique exprimé en tonne par kilomètre carré ($t.km^{-2}.an^{-1}$), est obtenu en divisant l'apport total annuel par la surface du bassin versant.

De même l'apport liquide exprimé en (Hm^3) correspondant est donné par la relation :

$$A_L = \sum_1^N (t_{i+1} - t_i) Q_i \text{ (III.2)}$$

2.1.1 Formule de la Sogréah

Basée sur les données de 30 bassins algériens, cette formule est donnée par la relation :

$$A_{SS} = \alpha E^{0.15} \quad \text{(III.3)}$$

Avec :

A_{SS} : Apport solide spécifique ($T/km^2/an$),

E : Ecoulement annuel (mm),

α : Coefficient dépendant de la perméabilité du sol ;

Le tableau (III.1) donne les différentes valeurs de α correspondant à la perméabilité du terrain.

Tableau 3.1. Valeurs de α en fonction de la perméabilité.

$\alpha = 8,5$	perméabilité élevée
$\alpha = 75$	perméabilité moyenne élevée
$\alpha = 350$	perméabilité faible à moyenne
$\alpha = 1400$	perméabilité faible
$\alpha = 3200$	Imperméables

2.1.2. Modélisation débit liquide-débit solide

La relation empirique, communément appelée courbe du transport solide Cambell et al., (1940), Crawford (1991), lie le débit solide au débit liquide :

$$Q_S = aQ^b \quad \text{(III.4)}$$

Proposée par Kennedy (1895 in Lefort 1992), la relation puissance qui relie le débit solide au débit liquide (où les paramètres a et b sont des coefficients) a été vérifiée pour la plupart des cours d'eau dans le monde. L'exposant b , fonction des caractéristiques physiques, climatiques et hydrologiques des bassins-versants Probst (1986), Vivian (1980) ou des conditions hydrauliques de l'écoulement dans les cours d'eau Kattan et al., (1987) varie généralement entre 1 et 2.

2.2. Echelle instantanée

La représentation graphique de la relation (Q_s - Q_L) à l'échelle interannuelle (Fig2), montre bien une relation de type en puissance donnée par l'équation : $Q_s = a Q^b$

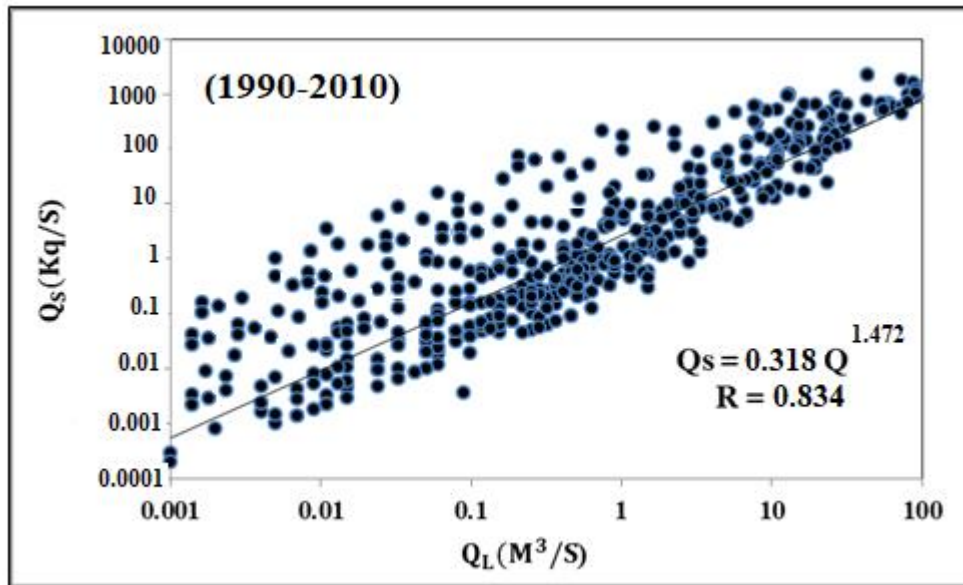


Fig3.1. Relation entre débits solides et les débits liquides instantanés(1990-2010).

Les valeurs des paramètres a et b , le coefficient de corrélation (R) sont regroupés dans le tableau (III.2). On remarque pour des faibles débits liquides on a des faibles débits solides, puis sa varie proportionnellement plus le débit liquide augmente plus le taux de transport solide prospère jusqu'à 1000 kg/s pour des flux liquides de 100 m³/s.

Tableau 3.2. Valeurs de α en fonction de la perméabilité.

Station	Période	N	A	b	R	Modèle obtenu
Beni Bahdel	1990/2010	910	0.318	1.472	0.83	$Q_s = 0.318 Q_L^{1.472}$

2.3. Echelle saisonnière

En utilisant la relation puissance reliant le débit liquide au débit solide pour le pas saisonnier durant la période (1990-2010), on conclut qu'il existe une bonne corrélation entre Q_s et Q_L pour les quatre saisons avec des coefficients de corrélation qui varient entre 0,8 et 0,97.

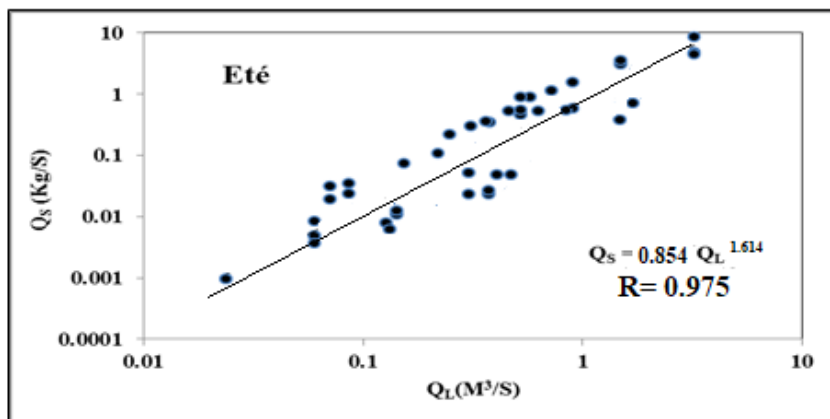
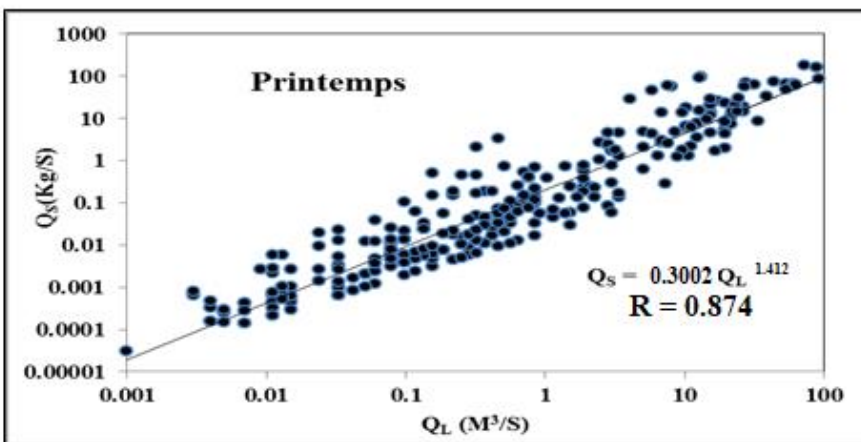
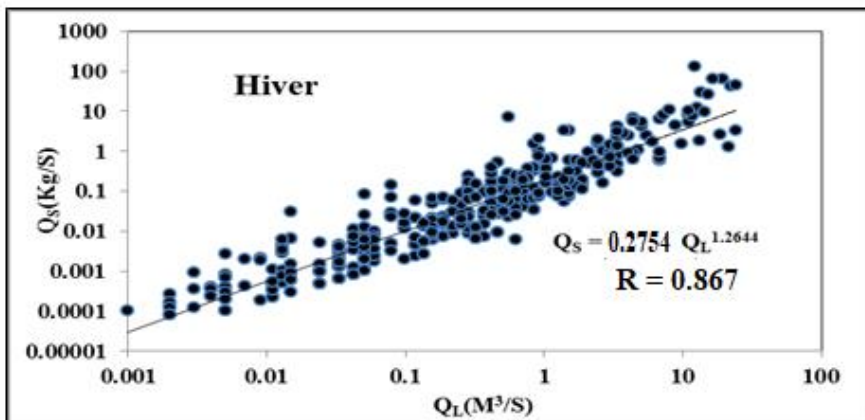
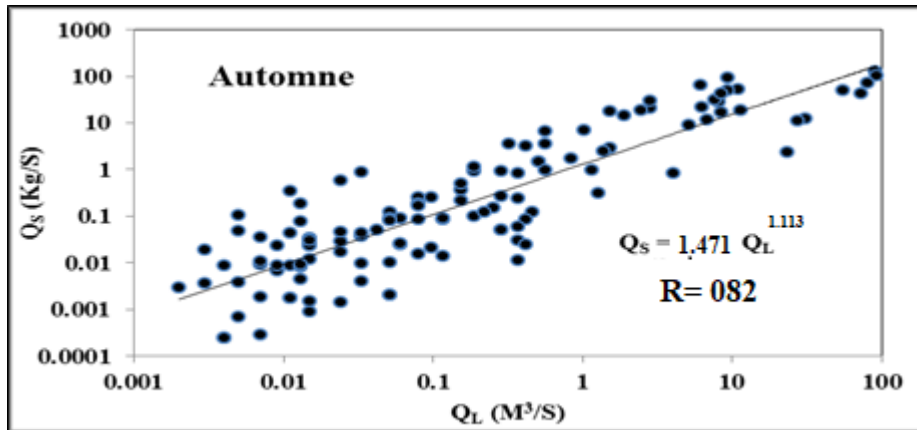


Fig. 3.2. Relation entre débits solides et les débits liquides pour pas de temps saisonnier

Tableau .3.3 Relations entre débits solides et débits liquides (1990-2014).

Echelle temporelle	Relation	Coefficient de détermination R ²
Automne	$Q_S = 1,471 Q_L^{1,1}$ 13	0,82
Hiver	$Q_S = 0,2754 Q_L^{1,264}$	0,86
Printemps	$Q_S = 0,3 Q_L^{1,412}$	0,88
Eté	$Q_S = 0,854 Q_L^{1,6}$ 14	0,98

En Automne, le facteur a de 1,471 est plus élevé relativement aux autres saisons. L'exposant b de 1,113 associé à un débit solide maximal de 89.2 kg.s⁻¹ correspondant au débit liquide de 10 m³.s⁻¹. L'Automne est une saison où le sol encore dépourvu de végétation recevant des averses violentes permettant une érosion intense entraînant une concentration élevée de sédiments.

En Hiver, le modèle puissance indique une diminution des paramètres a et b, respectivement 0,27 et 1,26, dans cette saison les débits augmentent suite à la hausse des précipitations.

Au Printemps, l'exposant b de 1,412 présente une valeur moyenne par rapport aux autres saisons. Cette saison la vidange des nappes contribue à l'écoulement de surface

Finalement l'été, le facteur a de 0,854 supérieur à celui de l'Hiver et du Printemps et b de 1,614 supérieur à celui des autres saisons, peuvent expliquer que le faible nombre d'averses d'été peut engendrer un transport en suspension remarquable.

3. Bilan interannuel des apports solides

La figure (3.3), présente les variations interannuelles des apports solides spécifiques. Les apports solides spécifiques varient entre 40 et 350 tonnes annuellement, une différence de 10 fois, ce qui montre un régime très irrégulier des précipitations. Les pics sont enregistrés en 1990-1991 et 2008-2009 où il y'a eu des pluies remarquables. Pour les taux d'érosions enregistrés (Apport solide spécifique),

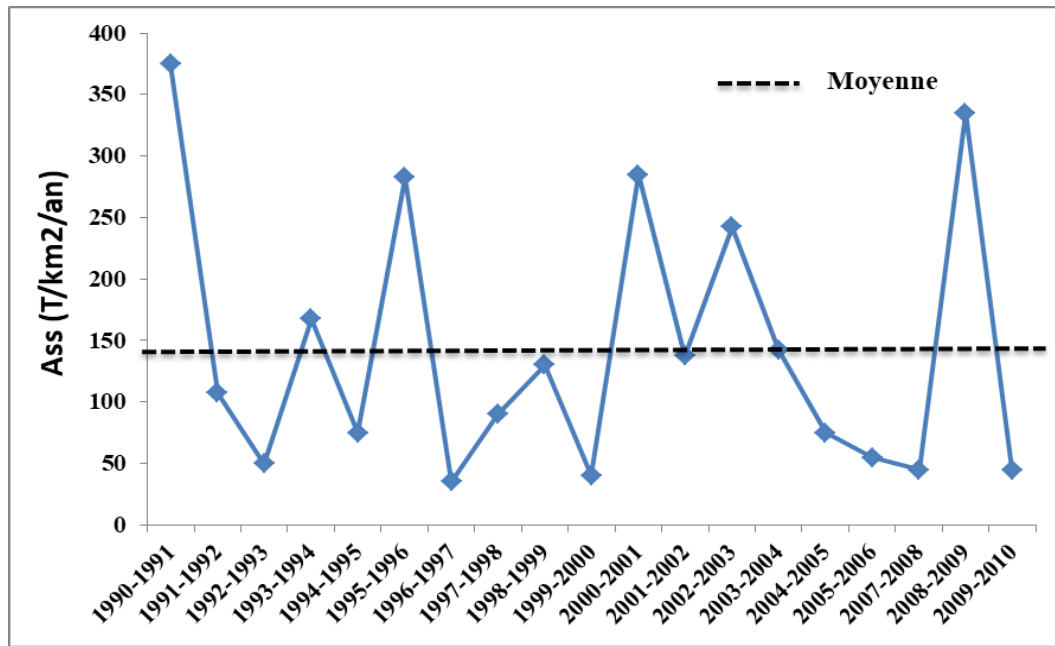


Fig.3.3. Variation interannuelle des apports solides spécifiques.

4. Bilan saisonnier des apports solides

Le bilan des apports solides est récapitulé dans le tableau III.4 et représenté en figure III.4. Avec $53.4 \text{ t.km}^2.\text{an}^{-1}$ au printemps et $47 \text{ t.km}^2.\text{an}^{-1}$, soit respectivement des fractions de 38% et 33% suivi de l'Automne avec une portion de 22% montrant un taux de $31 \text{ t.km}^2.\text{an}^{-1}$ d'où dans cette saison après une longue période sèche d'été les premières pluies érodent une très grande quantité des sols qui finit par être transportée par les cours d'eau. Le contraire se produit au Printemps, ou le sol est saturé après la saison hivernale. Cette saison marque les débits liquides les plus importants, ce qui implique que le taux solide provient essentiellement de l'érosion des berges et des lits des cours d'eau.

Tableau 3.4. Répartition saisonnière des apports liquides et solides et des dégradations spécifiques (1990-2010).

Année	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Ass	3147	53.4	10.8	142.2

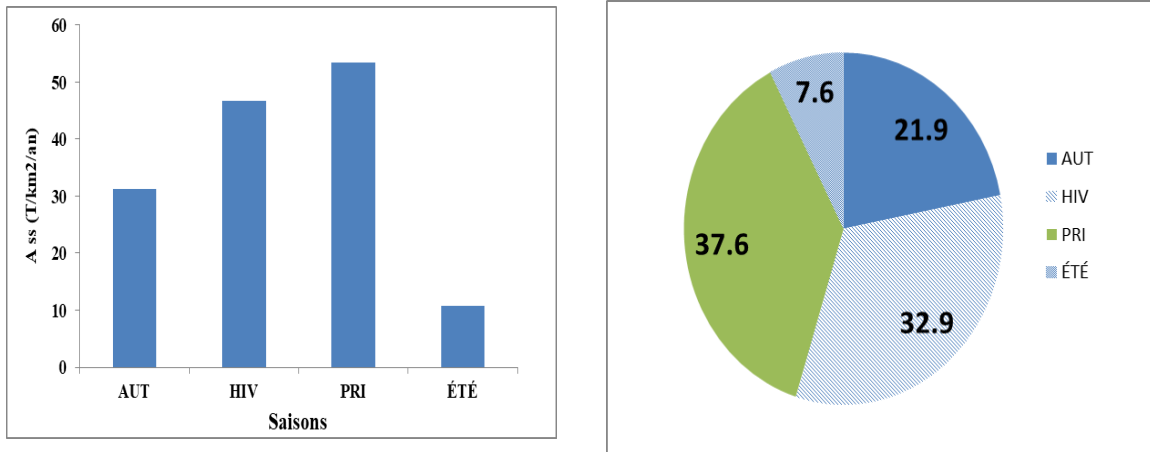


Fig. 3.4. Répartition saisonnière des apports solides spécifiques (1990-2010).

5. Bilan mensuel des apports solides

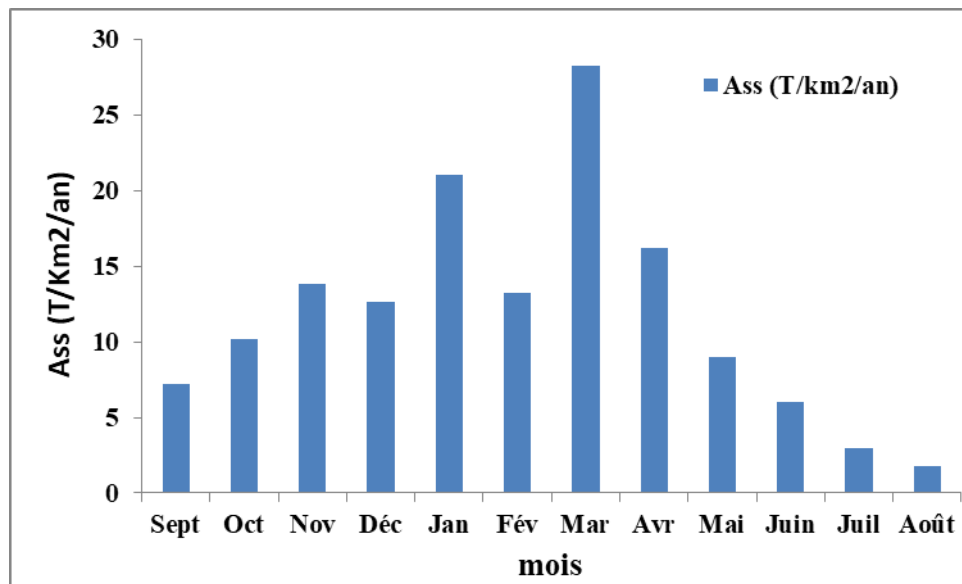


Fig. 3.5. Répartition mensuelle des apports solides spécifiques (1990-2010).

6. Etude des crues

L'étude des événements des crues permet de détailler le phénomène du transport solide qui permet de déterminer la provenance des sédiments transportés, vers l'analyse des relations entre la concentration en MES et le débit liquide, particulièrement lorsque ces relations forment des hystérésis. Beaucoup d'auteurs (Heidel, 1956 ; Klein, 1984 ; de Boer and Campbell, 1989 ; Williams, 1989 ; Hudson, 2003 ; Seeger *et al.*, 2004 ; Fang *et al.*, 2011) s'orientent vers l'étude des hystérésis pour déterminer la source des sédiments. On peut alors distinguer différentes formes d'hystérésis que l'on peut regrouper ici en 4 classes (fig.3.6) :

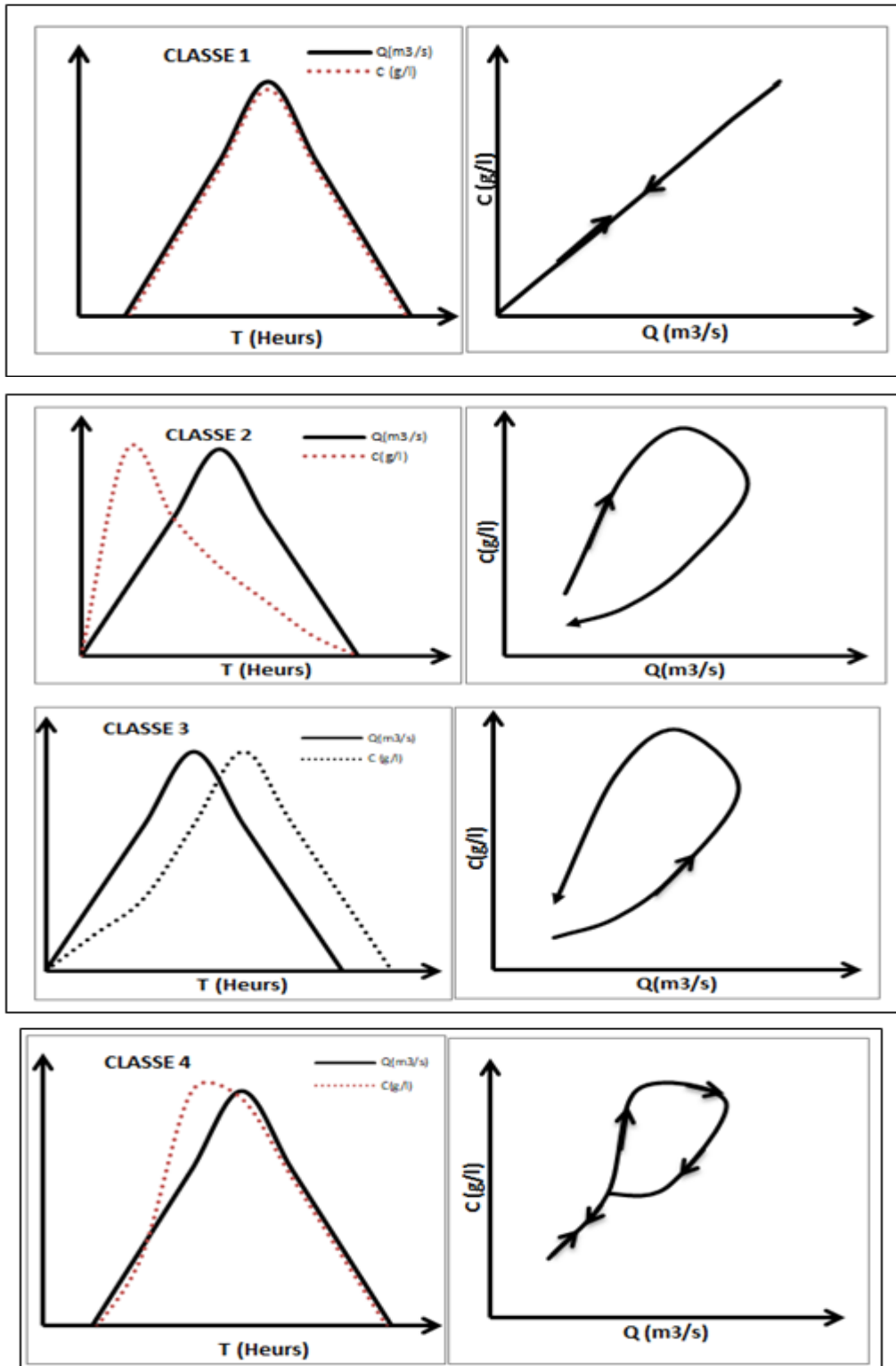


Fig.3.6. Différentes classes d'hystérésis dans les relations concentration en MES-Débit liquide.

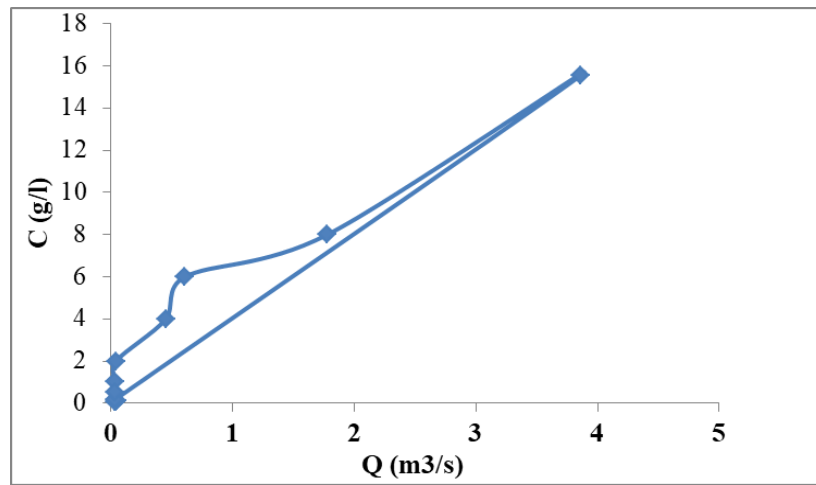
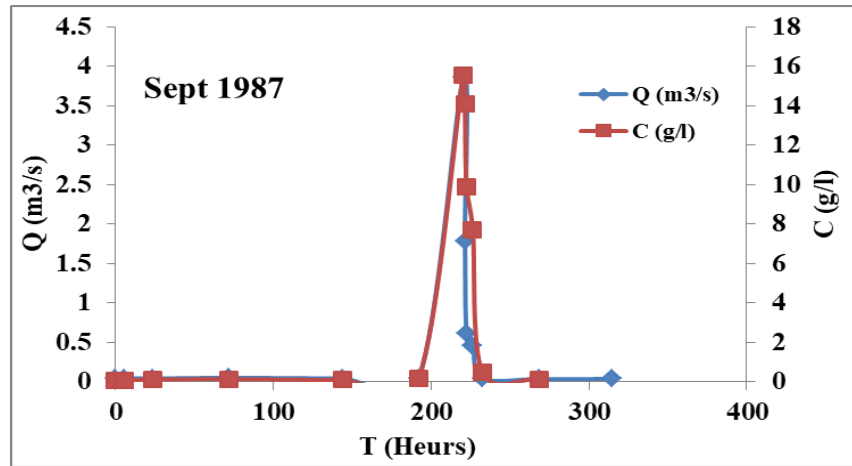


Fig. 3.7. Hydrogramme et Solidogramme de la crue de septembre 1987

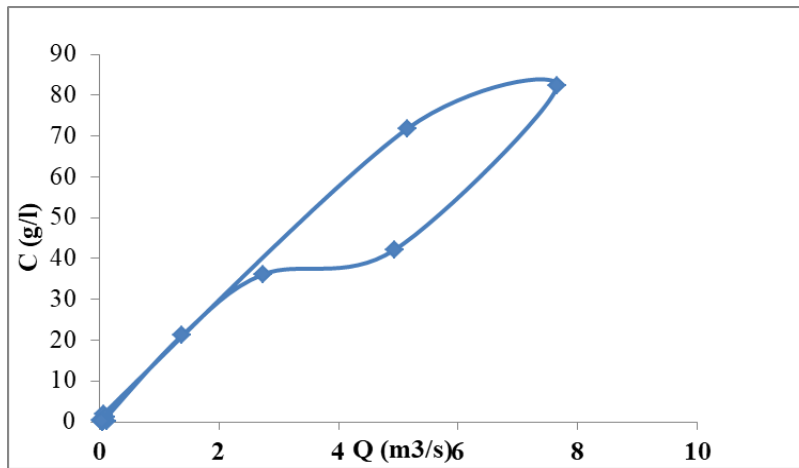
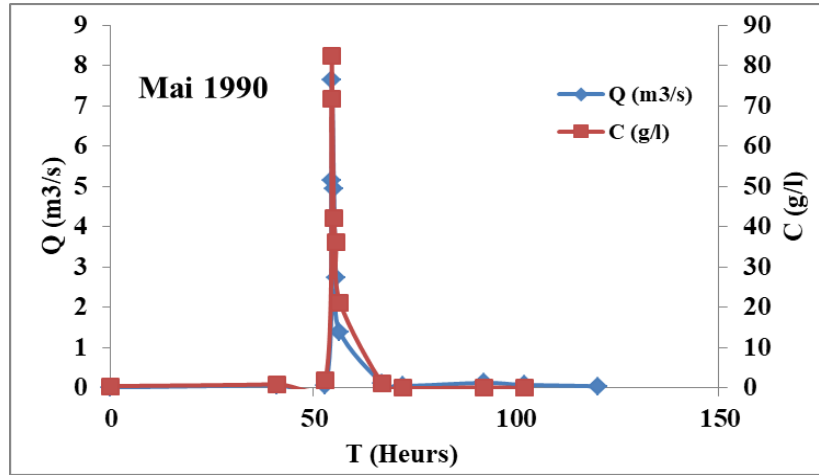


Fig. 3.8. Hydrogramme et Solidogramme de la crue de Mai 1990

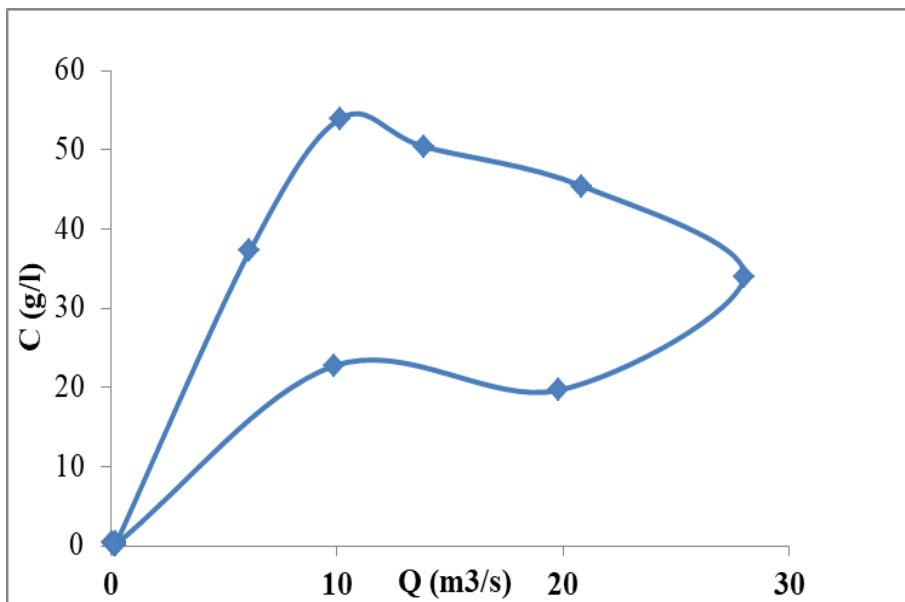
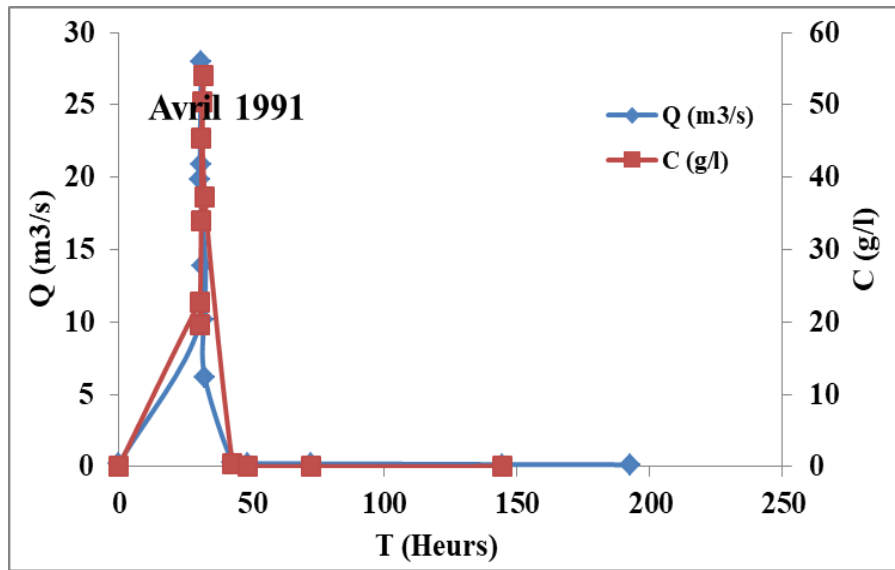


Fig 3.9. Hydrogramme et Solidogramme de la crue d'Avril 1991

Tableau 3.5. Répartition de quelques classes de crues pour la série d'observation (1990-2010).

Date de crue	Type	AL (m3)	AS (tonne)
Sept 1987	Classe 1	43028	3405
Mai 1990	Classe 4	52608	2952
Avril 1991	Classe 3	224046	8617

Pour l'analyse sédimentaire dans le bassin versant de Sebdou, on a choisi trois crues les plus représentatives dans toute la série, afin de bien montrer l'évolution de la relation concentration débit liquide. La première crue enregistrée en septembre 1987 apporte plus un flux sédimentaire de 3405 tonnes pour un apport liquide de 43028 m³, contre un apport solide de 2952, contre la crue de Mai 1990 qui transporte 2952 tonne pour un volume hydrique de 52608 m³ ; ces résultats expliquent que dans la saison de l'automne les sols sont plus vulnérables à l'érosion hydrique. Enfin le maximum des apports solides spécifique est observé pour la crue d'avril 1991 ou on enregistre un tonnage de 8617 tonnes qui est le résultat d'un ruissèlement de surface très important de 224046 m³.

Conclusion

L'étude du transport solide en suspension dans le bassin versant de Sebdou a donné sur la base de mesures instantanées continues réalisées dans la station hydrométrique entre 1990 et 2005 le modèle puissance qui relie les débits liquides en fonction des débits solides $Q_S = 0,318Q_L^{1,472}$ avec un coefficient de corrélation de 0.834. L'étude a montré que l'Automne et le Printemps sont les saisons où le transport solide en suspension est le plus important, ce qui a été justifié par l'étude des crues où on a remarqué qu'avec peu d'apports liquide on obtient un volume solide important.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude du transport de sédiments en suspension dans l'oued Sebdou pour 20 ans d'observations au niveau de la station de Beni Bahdel, nous a permis de comprendre la complexité du phénomène de l'érosion et du transport dans les zones semi-aride comme notre cas de la haute Tafna. En effet, nous avons traité le problème dans son ensemble. Dans ce contexte, notre démarche a été structurée en une analyse des données de concentrations en MES recueillies au niveau de l'ANRH, la conception des processus hydrologiques à l'échelle du bassin versant, l'étude des épisodes de crues, la modélisation des flux de MES.

Les différentes caractéristiques physiographiques du bassin versant de Sebdou se récapitulent dans son coefficient de Gravelius qui est de 1.37 expliquant que le bassin par une forme allongée favorisant l'érosion linéaire et régressive.

L'étude des précipitations interannuelle de la région donne une moyenne de **413,12 mm** avec un coefficient de variation $C_v = 0.32$. Durant toute la série d'observation le maximum de 1062mm a été apparu en (1973-1974) et le minimum de 211 mm en (1981-1982). La variation saisonnière des pluies montre que les valeurs maximales sont enregistrées en Hiver et au Printemps avec respectivement **149,2 mm** et **138,2 mm**, tout en représentant **35,5%** et **33 %** de la moyenne interannuelle des précipitations, la période sèche de l'année (Juin, Juillet, Août) a été déterminé par un déficit pluviométrique bien marqué. Pour ce qui concerne la variation des pluies à l'échelle mensuelle, l'enta un pic au mois de Janvier (**55mm**), au-delà débute la diminution du régime pluvial mensuel jusqu' au minimum au mois d'Août de (**7,2 mm**).

Enfin, l'évaluation du transport solide en suspension dans le bassin versant de Sebdou, a été effectuée sur la base de mesures instantanées continues réalisées dans la station hydrométrique de Beni Bahdel pour une période de 15 ans comprise entre 1990 et 2005. En appliquant la relation puissance nous avons pu évaluer les apports solides spécifiques à différentes échelles temporelles. La relation des débits solides en suspension en fonction des débits liquides (données instantanées), a été donné par la relation puissance suivante $Q_s = 0.318Q_L^{1.472}$. L'hiver et le printemps sont les saisons où le transport solide en suspension est le plus exhaustive avec des valeurs respectivement de 47 et 53 $T.km^2.an^{-1}$. Le taux du transport solide fléchit en automne et régresse à son minimum en été. Dans la compréhension des mécanismes de transferts des concentrations des particules en suspension en fonction des débits liquides (Evènements des crues), on a pu étudier quelque typologie de crues (classes 1, classe 3 et classe 4), avec des apports solides variant entre 3405 et 8617 tonnes.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUANANI A. 2004. Hydrologie, Transport solide et modélisation, Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW- Algérie). Thèse de Doctorat d'Etat. Univ, Tlemcen, Algérie, 250p.
- BOUANANI A., K. BABA HAMED et W. FANDI .2013. Production et transport des sédiments en suspension dans l'Oued Sikkak (Tafna-Nord-Ouest Algérie). Rev. Sci. Eau., 26, 119-132.
- BOUGUERRA M. L.2003. Les batailles de l'eau : pour un bien commun de l'humanité. Éditions Écosociété, Collection Enjeux planète, 239 p.
- BOUGUERRA S., BOUANANI A. & BABA-HAMED K. (2016). Transport solide dans un cours d'eau en climat semi-aride : cas du bassin versant de l'Oued Boumessaoud (nord-ouest de l'Algérie). Revue des sciences de l'eau, 29(3), 179–195.
- GHENIM A., A.TERFOUS., A. SEDDINI. 2007. Étude du transport solide en suspension dans les régions semi-arides méditerranéennes : cas du bassin versant de l'Oued Sebdou (Nord ouest algérien). Sécheresse, 18, 39-44.
- H.A. KAZI TANI, A. BOUANANI, ET K. BABA-HAMED. Estimations et quantifications des apports solide et liquide du bassin versant du Meffrouche (Nord-Ouest algérien). TSM, 9 (2017) 35-46 P.
- HEDDADJ D. La lutte contre l'érosion en Algérie. Bull. réseau-érosion n° 17, Edit. IRD, Montpellier, 168-175, 1997.
- 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. 229 p.
- MEDDI M. 1992. Hydro-pluviométrie et transport solide dans le bassin-versant de l'Oued Mina (Algérie). Thèse de Doctorat, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, France, 285 p.
- MEGNOUNIF. A, 2007. Étude du transport des sédiments en suspension dans les écoulements de surface. Thèse de Doctorat. Univ, Tlemcen, Algérie, 164 p.
- SABIR AHMED S.2013. Les versets de l'eau dans le Coran. Le Ministère égyptien des ressources hydriques et de l'irrigation, 19 p.
- TERFOUS.A., MEGNOUNIF.A., BOUANANI.A (2001). Étude du transport solide en suspension dans l'oued Mouilah (Nord-Ouest Algérien). Rev. Sci. Eau, 14, 175-185.
- TERFOUS A., MEGNOUNIF A., BOUANANI A. (2003). Détermination des dégradations spécifiques dans trois bassins versants des régions méditerranéennes algériennes : Hydrology in the mediterranean and semi-aridregions. (Proc. Sympo. Montpellier, France, avril, 366-372. IAHS Pub. 278, IAHS Press, Wallingford, UK.
- TOUAÏBIA BENINA., SYLVIA DAUTREBANDE., DIETER GOMER., ABDELLAH AIDAOUI. 1999. Approche quantitative de l'érosion hydrique a différentes échelles spatiales : bassin versant de l'oued mina. Journal des Sciences Hydrologiques 44(6) - pp.973-990.
- YLES F., BOUANANI A. 2012. Quantification et modélisation du transport solide dans le bassin versant de l'oued Saida (Hauts plateaux algériens), Sécheresse, 1-8.

ANNEXES

	page
Dédicace & Remercîments	
Sommaire	
Résumé	
Introduction générale	
Chapitre.1:L'Erosion	
1. phénomènes d'érosion	
2. Travaux sur l'érosion en Algérie	
3. Formes d'érosion hydrique	
3.1 L'érosion de rejaillissement	
3.2 L'érosion en nappe ou aréolaire ou laminaire	
3.3 L'érosion linéaire	
3.4 L'érosion en masse	
4. Les facteurs de l'érosion hydrique	
4.1 Climat	
4.2 Couvert végétal	
4.3 L'activité anthropique	
4.4. Le sol et son état hydrique initial	
4.5. Pente et longueur de pente	
4.6 L'infiltration	
5. Transport solide dans la bassin versant de Oued Sebdou	
5.1 Transport solide en suspension	
5.2 Transport solide par charriage	
Chapitre II: Etude Climatique	
1.Situation géographique du secteur d'étude	
1.1. Oued sebdou	
1.2. Le climat	
2 . Précipitations	
2.1. Précipitations moyennes mensuelles : (1975/2017)	
2.2. Précipitation saisonnières: (1975/2017)	
2.3. Précipitations moyennes mensuelles : (1990/2005)	
2.4. Précipitation saisonnières : (1990/2005)	
1. Les températures	

3. Etude du climat	
Méthode graphiques	
Courbe pluviothermique de Bagnouls et Gausсен	
Les indices climatiques	
A. Indice d'aridité de DEMARTONNE	
B. Le Climagramme d'Emberger	
C. Indice de Moral	
Evapotranspiration et déficit d'écoulement	
Evapotranspiration	
Déficit d'écoulement	
Bilan hydrique	
Méthode de Thornthwaite	
Evapotranspiration potentielle(ETP)	
Evapotranspiration réelle ETR	
Conclusion	
Chapitre.III: Transport Solide	
Introduction	
1. Analyse des données	
2. Estimation de l'apport liquide et solide interannuel	
2.1. Méthode par extrapolation	
2.1.1 Formule de la Sogréah	
2.1.2. Modélisation débit liquide-débit solide	
2.2. Echelle instantanée	
2.3. Echelle saisonnière	
3. Bilan interannuel des apports solides	
4. Bilan saisonnier des apports solides	
5. Bilan mensuel des apports solides	
6. Etude des crues	
Conclusion	
Conclusion Générale	
Bibliographie	
Tables des matières	

Résumé

Le secteur d'étude est situé au sud du chef lieu de la wilaya de Tlemcen, le sous bassin versant de Sebdou qui s'étant sur une superficie de 694.75 Km², son étude hydro-climatique a montré qu'il est soumis à un climat semi-aride à hiver froid et caractérisé par

.Une pluviométrie moyenne annuelle de $P = 413$ mm/an

.Une température moyenne annuelle $T = 17,57^{\circ}\text{C}$

Le mois le plus chaud est le mois d'août ($27,7^{\circ}\text{C}$) et le mois le plus froid est le mois de janvier avec ($09,21^{\circ}\text{C}$)

Le mois le plus sec est le mois de juillet et le mois le plus humide est le mois de mars

Il est à noter que la pluviométrie durant la saison d'été et qui s'étant jusqu'aux mois de septembre et octobre, n'est celle que des pluies orageuses caractérisés par son intensité et son brutalité qui est le principal facteur de l'érosion sur sa superficie, ainsi que sur ses cours d'eau (oueds, Chaâbats et talwegs)

L'étude du transport solide en suspension dans le bassin versant de Sebdou exprimé par le modèle puissance qui relie les débits liquides en fonction des débits solides $[Q]_S = 0,318Q_L^{1,472}$ avec un coefficient de corrélation de 0.834. L'étude a montré que l'Automne et le Printemps sont les saisons où le transport solide en suspension est le plus important, ce qui a été justifié par l'étude des crues ou on a remarqué qu'avec peu d'apports liquide on obtient un volume solide important

Mots clés : précipitations, Oueds, débits, transport solide, crues.

summary

The study area is located to the south of the administrative center of Tlemcen wilaya, Sebdou sub-watershed which has an area of 694.75 square kilometers, its hydro-climatic study has shown that it is subject to a climate semi-arid to cold winter and characterized by:

An average annual rainfall of $P = 413$ mm / year.

An average annual temperature $T = 17.57^{\circ}\text{C}$.

The hottest month is August (27.7°C) and the coldest month is January (09.21°C).

The driest month is July and the wettest month is March.

It should be noted that the rainfall during the summer season, which lasts until September and October, is only that of stormy rains characterized by its intensity and brutality which is the main factor of the erosion on its surface, as well as on its rivers (wadis, Chaabats and thalwegs).

The study of suspended solid transport in the Sebdou watershed expressed by the power model which links the liquid flows as a function of the solid flows $[Q]_S = 0.318Q_L^{1.472}$ with a correlation coefficient of 0.834.

The study shows that Autumn and Spring are the seasons when solid transport in suspension is the most important, which was justified by the study of the floods or it was noticed that with little liquid gets a solid volume.

Key words: precipitation, wadis, flows, solid transport, floods.

ملخص

تقع منطقة الدراسة إلى الجنوب من المركز الإداري لولاية تلمسان، مستجمع مياه سيدو الفرعي الذي تبلغ مساحته 694.75 كيلومترًا مربعًا، وقد أظهرت الدراسة المناخية المانية أنه يخضع لمناخ شبه جاف إلى شتاء بارد ويتميز بمتوسط هطول الأمطار السنوي

$P = 413$ مم / سنة

درجة مئوية $T = 17.57$ متوسط درجة الحرارة السنوية

(أكثر شهور دفئًا هو أغسطس (27.7 درجة مئوية) وأبرد شهر هو يناير (09.21 درجة مئوية)

الشهر الأكثر جفافًا هو يوليو و الأكثر مطرًا هو شهر مارس

تجدر الإشارة إلى أنه طول الأمطار خلال موسم الصيف، الذي يستمر حتى سبتمبر و أكتوبر، هو فقط من الأمطار الغزيرة التي تتميز بكثافة ووحشية والتي هي العامل الرئيسي للتآكل على سطحه، وكذلك على المجاري المسانية الوديان، الشعاب و الأخاديد

دراسة النقل الصلب المعلق في مستجمعات المياه في سبدو معبراً عنها بواسطة نموذج القدرة الذي يربط التدفقات السائلة كوظيفة للتدفقات الصلبة بمعامل الارتباط 0.834. توضح الدراسة أن الخريف والربيع هما الفصول التي يكون فيها النقل الصلب في $[Q]_S = 0.318Q_L^{1.472}$

التعليق هو الأهم، وهو ما يبرره دراسة الفيضانات أو لوحظ أنه مع القليل من السائل يحصل على حجم الصلب

الكلمات المفتاحية : هطول الأمطار، الوديان، التدفقات، النقل الصلب، الفيضانات