

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -  
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –  
Faculté de TECHNOLOGIE



## **THESE**

Présentée pour l'obtention du **grade de DOCTORAT LMD**

**En : HYDRAULIQUE**

**Spécialité : Sciences de l'eau**

**Par : KATEB Zakaria**

### **Sujet**

**Etude de l'influence des paramètres hydrologiques sur  
la production de sédiments d'un bassin versant  
- Cas du bassin versant du barrage de Beni Haroun.**

Soutenue publiquement, le 08/12/ 2020 , devant le jury composé de :

Mr. HABI Mohammed	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mr. BOUCHELKIA Hamid	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
Mr. BENMANSOUR Abdelhalim	Professeur	Univ. Tlemcen	Co- Directeur de thèse
Mr. REMINI Boualem	Professeur	Univ. Blida	Examineur
Mr. BOUZIANE Mohamed Tewfik	Professeur	Univ. Biskra	Examineur

2019/2020

# Dédicace

*Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail, en  
signe de respect et de reconnaissance à :*

*Mes parents : Saïd et Doria*

*Pour tous leurs sacrifices et leurs soutiens moraux et matériel dont  
ils ont fait preuve pour que je réussisse.*

*Je le dédie également à*

*Mes Sœurs et mon frère et*

*Tous mes amis*

*En un mot, à toute ma famille, et ceux qui ont contribué de près ou  
de loin à ma formation.*

*Kateb Zakaria*

# REMERCIEMENT

*Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.*

*Je remercie fortement mes promoteurs : Pr BOUCHEKLA Hamid & Pr BENMANSOUR Abdelhalim de m'avoir orienté et dirigé par leurs conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.*

*Je suis très reconnaissant à m'égard de tous les enseignants qui ont contribué à cette formation.*

*Je remercie «Dr Mezza Noureddine» MCA à l'université l'arbi ben m'hidi Oum el bouaghi, « Professeur Abdelkader Kfiari » à l'université l'arbi ben m'hidi Oum el bouaghi Pour son précieux soutien et leur assistance*

*Je remercie l'ensemble du personnel de l'A.N.R.H de CONSTANTINE en particulier «Mr Boukarit Salim» du département d'hydrologie. Par la même occasion je remercie : Lahcen Benaabidate Professeur à l'Université de Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fez – Maroc, Dr Ycef Brouzyne Pour leurs aides précieuses. Dr Harkati Djihad et Mr Nouadi Kamel pour leurs assistances durant les prélèvements les échantillons, Mr Chikh Hamza Abdessamad et Mr Rabah Mosbah pour leurs aides durant les analyses des échantillons sans oublié Tous les ingénieurs et les*

*techniciens des laboratoires d'Hydraulique et de Mécanique du sol de la faculté de technologie qui m'ont facilité.*

*Ma gratitude va également aux membres du jury pour honorer ma soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce travail.*

*Qu'il me soit permis de remercier toutes les personnes qui ont Contribuées de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

*Zateb Zakaria*

## Résumé

L'érosion, le transport solide et l'envasement est un processus qui a une influence négative et qui sont confrontés les barrages. Le barrage de Beni Haroun est le plus grand en Algérie, avec ces installations de transferts, il alimentera 7 wilayas à l'Est de l'Algérie. Ce dernier ne fait pas exception face aux problèmes d'érosion et du transport solide, pour cette raison, il est essentiel d'étudier son bassin versant et tous les paramètres qui ont une influence sur les apports arrivant au barrage. Le modèle SWAT a été utilisé pour quantifier les apports liquides et les apports solides ainsi que d'identifier les points vulnérables en utilisant deux scénarios; l'un a l'aide des données des bases mondiales et l'autre en utilisant la télédétection et la cartographie numérique des sols, dans le but de cerner le type de données nous permettant d'aboutir aux meilleurs résultats.

En général le modèle dans les deux scénarios a réussi à reproduire fidèlement le cycle hydrologique dans le bassin versant du barrage de Beni Haroun. Néanmoins le 2ème scénario avait donné le meilleur résultat car la simulation du ruissellement dans chaque sous-bassin du modèle SWAT après calibration montre qu'il y a une équivalence entre les résultats de simulation de ce scénario avec ceux de l'ANRH, avec un ruissellement de 35.50 à 100.50 mm/an par contre lors du 1er scénario il est de 11.67 à 39.26 mm/an..

Même constatation a été faite en ce qui concerne la simulation des débits solides où le taux d'érosion de chaque sous-bassin selon le 2ème scénario (meilleur résultat) était entre 0.226 t/ha et 2.126 t/ha correspondant un taux d'érosion total sur le bassin versant de 3944.835 t/km<sup>2</sup>/an, alors que le 1er scénario avait donné un taux d'érosion de chaque sous-bassin de 0.015 t/ha à 0.647 t/ha pour un taux d'érosion total de 394.51 t/km<sup>2</sup>/an..

Ces résultats indiquent que les données obtenues à l'aide de la télédétection et de la cartographie numérique des sols fournissent une meilleure représentation du bassin versant du barrage de Beni Haroun et une meilleure modélisation hydrologique.

## Mots clés :

Modèle SWAT, SIG, Carte, bassin versant, débit liquide, débit solide, Beni Haroun,

## Abstract

Water erosion and one of the problems that has a negative influence on dams, Beni Haroun dam and reinforced by this problem. This dam and the largest in Algeria, is these transfer facilities will supply seven wilayas to the east of Algeria. For this, it is essential to study the watershed and all the parametrized, which has an influence on input, will arrive at the dam. The SWAT model has been used to quantify liquid inputs and will identify vulnerabilities using two scenarios, one using global baseline data, and the other using remote sensing and digital soil mapping, to see what types of data give the best results.

In general, the model in the two scenarios succeeded in faithfully reproducing the hydrological cycle in the catchment area of the Beni Haroun dam. however the 2nd scenario had given the best result because the simulation of the runoff in each sub-basin of the SWAT model after calibration shows that there is an equivalence between the simulation results of this scenario with those of the ANRH, with a runoff of 35.50 to 100.50 mm / year, on the other hand during the 1st scenario it is from 11.67 to 39.26 mm / year.

Same observation was made regarding the simulation of solid flows or the erosion rate of each sub-basin. according to the 2nd scenario (best result) was between 0.2263 t / ha and 2.1266 t / ha corresponding to a total erosion rate in the catchment area of 3,944,835 t / km<sup>2</sup> / year, whereas

the first scenario had given an erosion rate for each sub-basin from 0.0146 t / ha to 0.6470 t / ha for a total erosion rate of 394,510 t / km<sup>2</sup> / year..

These results indicate that data obtained from remote sensing and digital soil mapping provide better representation of the watershed and better hydrological modeling.

## الملخص

التعرية المائية للتربة هي واحدة من المشاكل التي لها تأثير سلبي على السدود، سد بني هارون معرض لهذه المشكلة. يعتبر هذا السد الاكبر في الجزائر، مرافق ومنشآت النقل المياه لهاذ السد ستغذي 7 ولايات في شرق الجزائر. لهذا من الضروري دراسة هاذ الحوض السابق وكل العوامل التي لها تأثير على كل ما سيصل إلى السد من مياه أو طمي. تم استخدام نموذج SWAT لتحديد المدخلات السائلة وتحديد نقاط الضعف باستخدام سيناريوهين ، أحدهما باستخدام بيانات العالمية ، والآخر باستخدام الاستشعار عن بعد الخرائط الرقمية للتربة ، لمعرفة ما هي أنواع البيانات التي تعطي أفضل النتائج .

بشكل عام، نجح النموذج في السيناريوهين في إعادة إنتاج الدورة الهيدرولوجية بإخلاق في منطقة مستجمعات سد بني هارون، لكن السيناريو الثاني أعطى أفضل نتيجة لأن محاكاة الجريان السطحي في كل حوض فرعي من نموذج SWAT بعد عروض المعايير أن هناك تكافؤ بين نتائج المحاكاة لهذا السيناريو مع تلك الخاصة بالوكالة الوطنية للموارد المائية، مع الجريان السطحي من 35.50 إلى 100.50 مم / سنة من ناحية أخرى خلال السيناريو الأول يكون من 11.67 إلى 39.26 مم / سنة.

تمت الملاحظة نفسها فيما يتعلق بمحاكاة التدفقات الصلبة أو معدل التآكل لكل حوض فرعي وفقاً للسيناريو الثاني (أفضل نتيجة) كان بين 0.2263 طن / هكتار و 2.1266 طن / هكتار الموافق لمعدل التآكل الكلي في منطقة مستجمعات المياه تبلغ 3,944,835 طن / كم<sup>2</sup> / سنة ، في حين أعطى السيناريو الأول معدل تآكل لكل حوض فرعي من 0.0146 طن / هكتار إلى 0.6470 طن / هكتار لمعدل تآكل إجمالي قدره 394,510 طن / كم<sup>2</sup> / سنة. تشير هذه النتائج إلى أن البيانات التي تم الحصول عليها باستخدام الاستشعار عن بعد ورسم الخرائط الرقمية للتربة توفر تمثيلاً أفضل الحوض السابق للسد بني هارون و النمذجة الهيدرولوجية أفضل.

## NOTATIONS

$m$  est la masse de la goutte de pluie qui tombe (g),

$v$  est la vitesse de chute ( $\text{cm s}^{-1}$ ).

$I$  est l'intensité des précipitations ( $\text{mmh}^{-1}$ ).

$E$ , l'énergie cinétique ( $\text{MJ ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ).

$q$  est le débit de pointe ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ),

$i$  est l'intensité des précipitations ( $\text{mm h}^{-1}$ ),

$A$  est la superficie du bassin versant ( $\text{km}^2$ ),

$C$  indique la quantité de pluie

$\alpha_{tc}$  est la fraction de l'écoulement au cours du temps de la concentration,

$A$  est la superficie du bassin versant  $\text{km}^2$ ,

$T_c$  est Le temps de concentration,

$Q$  est la profondeur du ruissellement (mm),

$R_{day}$  est la quantité de pluie (mm) pour la journée,

$g$  l'accélération due à la pesanteur ( $9,8 \text{ m s}^{-1}$ )

$h$  la hauteur de chute. En conséquence

$E$  est la perte de sol par unité de surface,

$\theta$  est l'angle de la pente

$L$  est la longueur de la pente

SLR est le rapport entre la perte de sol avec la couverture végétale et celle du sol nu

PC est le pourcentage de couverture

$TSS$  : transport solides spécifique moyenne ( $\text{t}/\text{km}^2/\text{an}$ ).

$IL$  : indice lithologique

$IP$  : indice d'énergie de ruissellement.

$CT$  : coefficient de torrentialité = densité de drainage  $\times$  fréquence des thalwegs élémentaires.

$SW_t$  : Teneur en eau du sol finale en mm.

$SW_0$  : Teneur en eau initiale du sol en mm.

$R_{Day}$  : Quantité de précipitations au jour  $i$  en mm.

$Q_{surf}$  : Quantité d'eaux de ruissellement au jour  $i$  en mm.

$E_a$  : Montant de l'évapotranspiration au jour  $i$  en mm.

$w_{seepis}$  : Quantité d'eau entrant dans la zone non saturée du profil du sol le jour  $i$  en mm

$Q_{gw}$  : Débit de retour le jour  $i$  en mm.

Sed : production de sédiments un jour donné,

$Q_{surf}$  : Volume des eaux de ruissellement de surface en mm ha-1

$q_{peak}$  : Taux de ruissellement de pointe en m<sup>3</sup> s-1

$K_{USEL}$  : Facteur d'érodabilité,

$C_{USEL}$  est le facteur de couverture sol

$P_{USEL}$  : Facteur de la pratique de soutien

$LS_{USEL}$  : Facteur de la pente du terrain

$CFRC$  : Facteur de fragments grossiers

$q_{peak}$  : Taux de ruissellement de pointe en m<sup>3</sup> s-1,

$q$  est le ruissellement en mm,

$A$  : Surface HRU en ha,

$t_c$  est le temps de concentration en heures,

$\alpha$  est un paramètre sans dimension qui exprime la proportion des précipitations totales qui se produit pendant  $t_c$

$sed_{dep}$  : est la quantité de sédiments déposée (métriques tonnes).

$conc_{sed,ch,i}$  : est la concentration initiale de sédiments (kg/L).

$conc_{sed,ch,mx}$  : est la concentration maximale de sédiments (kg/L).

$V$  : est le volume d'eau dans le cours d'eau (m<sup>3</sup>).

$K_{CH}$  : est le facteur d'érodabilité du cours d'eau.

$C_{CH}$  : est le facteur de couverture du cours d'eau.

$SPCON$ : Paramètre linéaire pour le calcul de la quantité maximale de sédiments pouvant être ré-entraînés lors de l'acheminement des sédiments dans les cours d'eau.

$SPEXP$  : Paramètre exposant pour le calcul des sédiments ré-entraînés dans le routage des sédiments dans les cours d'eau.

$q_{ch,pk}$  : est le débit de pointe (m<sup>3</sup>/s)

$A_{ch}$  : la section transversale de l'écoulement dans le cours d'eau (m<sup>2</sup>).

$PRF$  : est le facteur d'ajustement du taux de pointe.

$q_{ch}$  : est le débit moyen (m<sup>3</sup>/s).



$f_{csand}$  : Est un facteur qui donne à faible érodabilité du sol facteurs pour les sols avec des teneurs gros sable élevés et une grande les valeurs pour les sols avec peu de sable,

$f_{cl-si}$  : Est un facteur qui donne facteurs d'érodabilité des sols faibles pour les sols à forte argile pour envasent ratios,

$f_{orgc}$  : Est un facteur qui réduit l'érodabilité des sols pour les sols avec une teneur en carbone organique élevée,

$f_{hisand}$  : Est un facteur qui réduit l'érodabilité des sols pour les sols avec du sable extrêmement élevé contenu

$m_s$  : Est la teneur en % de sable (diamètre de particules 0,05 à 2,00 mm),

$m_{silt}$  : Est la teneur en % de limon (diamètre de particules 0.002- 0,05 mm),

$m_c$  : Est le contenu en % d'argile (diamètre de particules <0,002 mm),

$orgc$  : Est le en % teneur en carbone organique de la couche (%).

$O, S$  : Les valeurs observer et simuler

$\bar{O}, \bar{S}$  : les moyenne des valeurs d'observer et simuler

## Liste des abréviations

AGNPS : agricultural non-point source pollutinet model

AGRC: Agricultural land close grown

AGRL: Agricultural land Generique

AGRR: Agricultural land row corp

ANSWERS: Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation

ARS : et le service de conservation des ressources naturelles

AWC : (available water capacité) capacité d'eau disponible dans le sol

BARR: Barren

CREAMS: Chemicals/ Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems

D : Densité apparente

DEM : digital elevation model

EC: conductivité électrique

EPIC: The erosion-productivity impact calculator

EUROSEM: The European Soil Erosion Model

FRSD: Forest Deciduous

FRSE: Forest Evergreen

FRST: Forest mixed

GRP HYD: le groupe hydrologique du sol

Gw : (groundwater file) fichier d'eaux souterraines

HC : conductivité hydraulique

HR : humidité relative

Hru : hydrologic response unit (unité de réponse hydrologique)

IDW : Inverse Distance Weighted (Distance inversée pondérée)

K\_usle : facteur K de l'équation USLE

KINEROS: the Kinematic Runoff and Erosion Model

LISEM: Limburg soil Erosion Model

Mgt : (management file) fichier de gestion

MO : matière organique

MUSLE: The modified universal soil loss equation

NSE : le coefficient d'efficacité Nash-Sutcliffe

R<sup>2</sup> : le coefficient de détermination

RNGE : Range grasses

RUSLE: The Revised Universal Soil Loss Equation

SIG : System d'information géographique

SWAT: soil and water assessment tools

SWAT-CUP : (Calibration Uncertainty Procedures) Procédures d'incertitude d'étalonnage.

UIDU : Industrial

URMD : Residential-Medium density

USDA : et le service de recherche agricole

USLE: The Universal Soil Loss Equation

UTM : Transverse universelle de Mercator

UTRN : Transportation

WATR : Water

WEPP: Water Erosion Prediction Project

## Liste des tableaux

Tableau I.1 Les Facteurs affectant l'érosivité des précipitations [Blanco and Lal, 2010].....	9
Tableau I.2. Relation entre l'énergie cinétique de la pluie et l'intensité des précipitations [Morgan, 2009].....	11
Tableau I.3 Valeurs de coefficient de rugosité de Manning Source : d'après Petryk et Bosmajian (1975), Temple (1982), Engman (1986). [Morgan, 2009] .....	20
Tableau I.4 les types de modèles [Morgan, 2009].....	26
Tableau II.1 répartition des surface de chaque willaya par rapport au surface du bassin .....	31
Tableau II.2 répartition des pentes par rapport à la surface du bassin versant .....	35
Tableau III.1 classe d'utilisation des terrains par Anderson niveau 1 et les classes de GC [Congalton et al., 2014]. .....	45
Tableau III.2 Pourcentage de superficie de chaque classe d'utilisation de l'utilisation de la couverture des terres.....	46
Tableau N III.3 : les classes des types des sols .....	47
Tableau III.4. Bandes spectrale du landsat8 et leur utilisation [Acharya and Yang, 2015] ....	49
Tableau III.5 Résultats des analyses.....	54
Tableau III.6 Variation de la densité apparente par rapport au pourcentage de la surface .....	56
Tableau III.7 Variation du pH par rapport au pourcentage de la surface .....	56
Tableau III.8 Variation de la Matière Organique par rapport au pourcentage de la surface ....	57
Tableau N III.9 Variation de la CE par rapport au pourcentage de la surface .....	57
Tableau III.10 Variation de la capacité d'eau dans le sol par rapport au pourcentage de la surface.....	58
Tableau III.11 Variation de la conductivité hydraulique par rapport au pourcentage de la surface.....	58
Tableau III.12 Variation de facteur K d'érodabilité par rapport au pourcentage de la surface	61
Tableau III.13 Base de données des types des sols .....	62
Table IV.1 Critères de performance du modèle [Krause et al., 2005], [Moriassi et al., 2007]..	67
Tableau IV.2 Valeurs des paramètres calibré avec un classement des paramètres les plus sensibles Rank 1 = le plus sensible.....	68
Tableau IV.3 Performance du modèle pendant la période de calibration .....	69
Tableau IV.4 Performance du modèle pendant la période de validation.....	69
Tableau IV.5 les valeurs des paramètres calibré avec un classement des paramètres les plus sensibles Rank 1 = le plus sensible.....	77
Tableau IV.6 Performance du modèle dans le 1 er scénario .....	77
Tableau IV.7 Performance du modèle dans le 2 eme scénario.....	77

## Liste des figures

Figure I.1 transport de matériaux en suspension et en charriage.....	8
Figure I.2 Relation entre la valeur du rapport de la perte de sol (SLR) et pourcentage de couvert végétal à la surface du sol. Les courbes représentent différentes valeurs de j [Morgan, 2009].....	20
Figure II.1 : situation du bassin versant et du barrage de beni Haroun .....	29
Figure II.2 : la lac et le barrage de beni Haroun .....	30
Figure II.4 : Bassin versant de Beni Haroun .....	31
A. situation du bassin versant dans l'Algérie, B. les willayas ou l'eau du barrage désigné, C. le bassin versant est ces installations hydro-climatologique .....	31
Figure II.5 Répartition des surfaces de chaque willaya par rapport à la surface du bassin.....	32
Figure II.6 Carte géologique 1/500 000.....	32
Figure II.7 Carte schématique illustrant la répartition des différents domaines paléogéographiques [Atmania, 2010].....	33
Figure N I.8 Log litho-stratigraphique du bassin versant [MARMi et al., 2008] .....	34
La topographie du bassin versant a une grande influence sur les paramètres hydrologique comme les apports liquides et les apports solides. Ainsi la figure II.9 illustre la carte topographique du bassin versant. ....	34
Figure II.9 Carte topographique du bassin versant.....	35
Figure II.10 Carte des pentes du bassin versant .....	35
Figure II.11 Courbe hypsométrique du bassin versant .....	36
Figure II.12 Carte des équipements dans le bassin versant du barrage de Beni Haroun [ANRH, 2004].....	37
Figure II.13 les étages bioclimatiques au nord-est de l'Algérie [Mebarki, 2005].....	37
Figure II.14 Polygone de THIESEN .....	38
Figure II.15 Précipitation moyenne inter-mensuelle, période 1982 – 2013 .....	38
Figure II.16 Température minimal, moyenne et maximal dans le bassin versant, période 1982/2013 .....	39
Figure II.17 Diagramme ombrothermique de Gaussen du bassin versant.....	40
Figure II.18 Humidité relative dans le bassin versant .....	40
Figure III.1. Schéma du cycle hydrologique du model SWAT [Neitsch et al., 2011] .....	41
Figure III.2 Modèle numérique d'élévation du bassin versant .....	44

Figure III.3 Carte d'utilisation des couvertures des terres de la base de données GlobalCover .....	45
Figure III.4 Carte d'utilisation des terres utilisant la télédétection .....	46
Figure III.5 Carte du type de sol de la base de données HWSD .....	48
Figure III.6 Etapes pour créer une carte des types de sol et une base de données .....	48
Figure III.7 : Image satellitaire LANDSAT8 ETM+ a avec les bandes spectrales 6-7-8.....	50
Figure III.8 Classification non supervisée .....	51
Figure III.9 Cartes des zones homogènes et des sites des échantillons .....	52
Figure III.10 Image représente l'emplacement de l'échantillon C03_03 en utilisant le GPS et logiciel google earth .....	52
Figure III.11 Emplacement des échantillons à l'aide du logiciel google earth .....	53
Figure III.12 Carte de variation de la densité apparente.....	55
Figure III.13 Carte de variation du pH .....	56
Figure III.14 Carte de variation de la matière organique .....	56
Figure III.15 : Carte de variation de la conductivité électrique.....	57
Figure III.16 Carte de variation de la capacité d'eau disponible dans le sol.....	57
Figure III.17 Carte de variation de la conductivité hydraulique.....	58
Figure III.19 Carte de variation du pourcentage de limon .....	59
Figure III.20 Carte de variation du pourcentage de Sable .....	59
Figure III.21 Carte de variation du pourcentage de gravier .....	60
Figure III.22 Carte de variation du facteur K d'érodabilité de la formule USEL .....	60
Figure III.23 Carte des types des sols.....	61
Figure III.24 Etapes du plan de travail .....	64
Figure IV.1 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station GRAREM dans le 1 <sup>er</sup> scénario .....	65
Figure IV.2 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station TASSADANE dans le 1 <sup>er</sup> scénario .....	65
Figure IV.3 débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station AIN SMARA dans le 1 <sup>er</sup> scénario .....	66
Figure IV.4 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station GRAREM dans le 2 <sup>eme</sup> scénario .....	66
Figure IV.5 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station TASSADANE dans le 2 <sup>eme</sup> scénario .....	66
Figure IV.6 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station AIN SMARA dans le 2 <sup>eme</sup> scénario .....	66

Figure IV.7 Débit quotidien simulé et observé (m <sup>3</sup> /s) à la station GRAREM dans le 1 <sup>er</sup> scénario période de calibration .....	69
Figure IV.8 Débit quotidien simulé et observé (m <sup>3</sup> /s) à la station GRAREM dans le 1 <sup>er</sup> scénario période de validation .....	69
Figure IV.9 débit quotidien simulé et observé (m <sup>3</sup> /s) à la station GRAREM dans le 2eme scénario période de calibration .....	70
Figure IV.10 Débit quotidien simulé et observé (m <sup>3</sup> /s) à la station GRAREM dans le 2eme scénario période de validation .....	70
Figure IV.11 Débit quotidien simulé et observé (m <sup>3</sup> /s) à la station TASSADANE dans le 1 <sup>er</sup> scénario période de calibration .....	70
Figure IV.12 Débit quotidien simulé et observé (m <sup>3</sup> /s) à la station TASSADANE dans le 1 <sup>er</sup> scénario période de validation .....	71
Figure IV.13 Débit quotidien simulé et observé (m <sup>3</sup> /s) à la station TASSADANE dans le 2eme scénario période de calibration .....	71
Figure IV.14 Débit quotidien simulé et observé (m <sup>3</sup> /s) à la station TASSADANE dans le 2eme scénario période de validation .....	71
Figure IV.15 Débit quotidien simulé et observé (m <sup>3</sup> /s) à la station AIN SMARA dans le 1 <sup>er</sup> scénario période de calibration .....	72
Figure IV.16 Débit quotidien simulé et observé (m <sup>3</sup> /s) à la station AIN SMARA dans le 1 <sup>er</sup> scénario période de validation .....	72
Figure IV.17 Débit quotidien simulé et observé (m <sup>3</sup> /s) à la station AIN SMARA dans le 2eme scénario période de calibration .....	72
Figure IV.18 Débit quotidien simulé et observé (m <sup>3</sup> /s) à la station AIN SMARA dans le 2eme scénario période de calibration .....	73
Figure IV.19 ruissellement simulé qui sort de chaque sous bassin 1er scénario.....	73
Figure IV.20 ruissellement simulé qui sort de chaque sous bassin 2eme scénario .....	73
Figure IV.21 Débit solide quotidien simulé et observé (kg/s) à la station GRAREM dans le 1 <sup>er</sup> scénario.....	74
Figure IV.22 Débit solide quotidien simulé et observé (kg/s) à la station TASSADANE dans le 1 <sup>er</sup> scénario.....	74
Figure IV.23 Débit solide quotidien simulé et observé (kg/s) à la station KOUDIA TENDART dans le 1 <sup>er</sup> scénario.....	75
Figure IV.24 Débit solide quotidien simulé et observé (kg/s) à la station GRAREM dans le 2 <sup>eme</sup> scénario .....	75
Figure IV.25 Débit solide quotidien simulé et observé (kg/s) à la station TASSADANE dans le 2 <sup>eme</sup> scénario.....	75
Figure IV.26 Débit solide quotidien simulé et observé (kg/s) à la station KOUDIA TENDART dans le 2 <sup>eme</sup> scénario.....	76

Figure IV.27 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station GRAREM dans le 1er scénario période de calibration .....	78
Figure IV.28 débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station GRAREM dans le 1er scénario période de validation .....	78
Figure IV.29 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station GRAREM dans le 2 eme scénario période de calibration .....	79
Figure IV.30 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station GRAREM dans le 2 eme scénario période de validation .....	79
Figure IV.31 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station TASSADANE dans le 1 er scénario période de calibration .....	79
Figure IV.32 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station TASSADANE dans le 1 er scénario période de validation .....	80
Figure IV.33 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station TASSADANE dans le 2 eme scénario période de calibration .....	80
Figure IV.34 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station TASSADANE dans le 2eme scénario période de validation .....	80
Figure IV.35 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station KOUDIA TENDART dans le 1er scénario période de calibration .....	81
Figure IV.36 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station KOUDIA TENDART dans le 1er scénario période de validation .....	81
Figure IV.37 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station KOUDIA TENDART dans le 2 eme scénario période de calibration .....	81
Figure IV.38 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station KOUDIA TENDART dans le 2eme scénario période de validation.....	82
Figure IV.39 Sédiments annuels moyens sortant du sous bassin dans le premier scénario .....	82
Figure IV. 40 Sédiments du sous bassin transportés dans le cours d'eau dans le premier scénario.....	83
Figure IV.41 Sédiments annuels moyens sortant du sous bassin dans le deuxième scénario ..	83
Figure IV.42 Sédiments du sous bassin transportés dans le cours d'eau dans le deuxième scénario.....	84
Figure V.1 Equipements de contrôle proposé .....	92



## Sommaire

Introduction .....	1
CHAPITRE 1	
I.1. Généralité sur l'érosion .....	4
I.2. Classification d'érosion.....	4
I.2.1. Érosion des sols .....	4
I.2.2. L'érosion du vent .....	5
I.2.3. L'érosion hydrique .....	5
I.3. Les types d'érosion hydrique .....	5
I.3.1. Érosion Éclaboussure .....	5
I.3.2. Erosion Interrill (en nappe) .....	6
I.3.3. Érosion des rigoles .....	6
I.3.4. Érosion des Ravines .....	6
I.3.5. L'érosion du tunnel .....	7
I.3.6. Érosion des berges.....	7
I.4. Le transport solide.....	7
I.4.1 Les mécanismes de transport de matériaux .....	7
I.5. Facteurs influençant l'érosion.....	8
I.5.1. Érosivité.....	8
I.5.1.1. Les précipitations .....	8
I.5.1.2. Indices d'érosivité .....	10
I.5.1.3. Érosivité de ruissellement .....	11
I.5.1.4. Estimation du ruissellement .....	12
a. Temps de concentration .....	12
b. Rugosité de surface .....	12
c. Pente de bassin versant .....	12
d. Taille du bassin versant .....	12
e. Longueur et forme du canal .....	13
f. Taux de ruissellement maximal.....	13
I.6. Érodabilité .....	14
I.6.1. La Texture .....	14
I.6.2. La structure.....	15
I.6.3. L'étanchéité de la surface .....	15

I.6.4. Propriétés d'agrégat .....	15
I.6.5. La stabilité .....	15
I.6.6. La résistance .....	16
I.6.7. La Densité.....	16
I.6.8. La Mouillabilité.....	16
I.7. Effet de la pente.....	16
I.8. Effet de la couverture végétale.....	18
I.9. Erosion en Algérie.....	22
I.10. Modélisation de l'érosion.....	25
I.11. Conclusion : .....	28

## CHAPITRE 2

II.1. Barrage de Beni Haroun.....	29
II.2. Bassin versant du barrage de Beni Haroun .....	31
II.2.1 Situation géographique .....	31
II.2.2 Situation administrative .....	31
II.2.3 La géologie du bassin versant .....	32
II.2.3.1 Cadre géologique générale .....	33
II.2.4 La topographie du bassin versant.....	34
II.2.4.1 La surface .....	34
II.2.4.2 Les pentes .....	35
II.2.4.3 Répartition des surfaces et courbe hypsométrique .....	36
II. 3. Les équipements dans le bassin versant du barrage de Beni Haroun .....	36
II. 4. Climatologie du bassin versant du barrage de Beni Haroun.....	37
II.4.1 Précipitation .....	38
II.4.2 La température .....	39
II.4.3 Diagramme ombrothermique de Gaussen.....	39
II.4.4 L'humidité relative.....	40
II.5.Conclusion : .....	40

## CHPITRE 3

III.1. Présentation du model SWAT .....	41
III.2. Types de données.....	43
III.2.1 Model numérique du terrain .....	43
III.2.2. Utilisation des couvertures des terres.....	44

III.2.2.1. GlobalCover .....	44
III.2.1.2. Utilisation de la télédétection des images satellitaires LANDSAT 8 .....	46
III.2.3. Types des sols .....	47
III.2.3.1. Carte et base de données Harmonized World Soil Data base –HWSD- .....	47
III.2.3.2. Création de la carte base de données des types des sols basés sur la télédétection et la cartographie numérique des sols .....	48
a. Etape N°01 : Choix des outils informatiques et du type des images satellitaires .....	48
b. Etape 02 : traitement des images satellitaires et choix des sites de prélèvements .....	49
c. Choix des bandes spectrales .....	49
d. Choix des sites de prélèvements des échantillons .....	50
e. Prélèvement des échantillons .....	51
f. Analyse des échantillons .....	53
g. Résultat des analyses .....	54
h. Cartes de variation de chaque paramètre .....	55
III.2.4. Les données métrologique et hydrométrique .....	62
III.3. Configuration du model .....	62
III.3.1. Scenario 01 .....	63
III.3.2. Scenario 02 .....	63
<b>CHAPITRE 4</b>	
IV.1. la modélisation hydrologique des flux liquides .....	65
IV.1.1. les résultats préliminaires de la modélisation des débits liquides .....	65
IV.2. Analyses de sensibilité .....	67
IV.3. Évaluation du modèle .....	67
IV.4. Calibration et résultat des débits liquides .....	68
IV.5. Modélisation hydrologique des flux solides .....	74
IV.5.1. Résultats préliminaires des débits solides .....	74
IV.5.2. Calibration et résultat des débits solides .....	76
<b>CHAPITRE 5</b>	
IV.6. Conclusion : .....	84
V.1. Discussion 01 .....	85
V.3. Discussions 02 .....	85
V.4. Discussion 03 .....	87

## CONCLUSION

VI.1. CONCLUSION .....	90
------------------------	----

## ANNEXE


VII.1.La matière organique total .....	93
VII.2.Texture .....	93
VII.3.La densité apparente.....	94
VII.4.l'humidité aux champs .....	94
VII.3.5.L'humidité équivalent et la microporosité .....	95
VII.6.Conductivité électrique .....	96
VII.7.pH.....	97
VII.8. Conductivité hydraulique ou la perméabilité .....	97
VII.9.facteur K d'érodabilité .....	99

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques .....	100
-----------------------------------	-----

## RESUME

الملخص .....	111
Abstract.....	111
Résumé .....	111
Mots clés :.....	111



# INTRODUCTION

## Introduction

Lefalive Xavier affirme sur la base de ses travaux que la demande sur l'eau va augmenter entre 2000-2050 de 55 %, cette augmentation viendra de diverses utilisations de l'eau [[Leflaive, 2012](#)].

Pour cette raison la conservation et la préservation et la bonne gestion des ressources en eau sont les meilleures garanties pour éviter si non limiter cette diminution.

Pour avoir des solutions à ce problème, une bonne connaissance de tout le processus du cycle de l'eau des bassins versant, est de faire des études d'aménagement, de gestion, et construire des ouvrages de prise et de stockages des eaux. Ces ouvrages permettent d'assembler, conserver les eaux de ruissellement. [[Tahmiscioğlu et al., 2007](#)], [[Yuksel et al., 2008](#)], [[Armon and Hänninen, 2016](#)].

L'érosion hydrique est identifiée comme la cause plus sérieuse de la dégradation des sols à l'échelle mondiale [[Panagos et al., 2017](#)].

L'un des problèmes techniques les plus sérieux c'est l'envasement des retenues d'eau qui dans la cause principale est l'érosion hydrique. Ce processus a un impact négatif sur l'économie, l'écologie et tous les ressources en eaux superficielles [[McCully, 1996](#)], [[Schmidt, 2013](#)].

L'Algérie est un des pays menacés par les problèmes des ressources en eaux, comme le montre Le groupe intergouvernemental sur le changement climatique (IPCC) Y aura un manque de 10% à 40%. dans la disponibilité de l'eau dans la période 2090-2099 [[Bates, 2009](#)].

Le rapport régional sur la gestion des sédiments dans les barrages en méditerranée indique que l'Algérie a une perte importante 14 % de la capacité disponibles des barrages presque la capacité du barrage de Beni Haroun [[IME, 2010](#)]

Afin de prévoir les processus de l'érosion il est essentiel de bien étudier tous les paramètres qui ont une influence sur ce processus pour faire une bonne gestion et aménagement des bassins versant des barrages.

C'est dans cette optique que plusieurs recherches précédentes ont été réalisées [[Demmak, 1982](#)], [[DEMMAK, 1984](#)], [[DEMMAK et al., 1991](#)], [[Kassoul et al., 1997](#)], [[Meddi et al., 1998](#)], [[Terfous et al., 2001](#)], [[Touaibia et al., 2001](#)], [[Bouchelkia and Remini, 2003](#)], [[Ghenim et al., 2007](#)], [[Megnounif et al., 2007](#)], , [[BOUCHELKIA, 2009](#)], [[Khanchoul et al., 2009](#)], [[Khanchoul et al., 2012](#)], [[Bouchelkia et al., 2013](#)], [[Bouanani et al., 2013](#)], [[Toumi, 2013](#)], [[Megnounif et al., 2013](#)], [[BOUCHELKIA et al., 2014a](#)], [[Bouchelkia et al., 2014b](#)], , [[Megnounif and Ghenim, 2016](#)], [[Bougdah and Amira, 2017](#)]. Ceux-ci démontrent l'importance et la gravité de ce processus sur pratiquement tous les bassins versant algériens.

L'application des différents modèles de simulation pour la définition de l'érosion hydrique sur les bassins versant permet une estimation des débits liquides et solides et la prédiction des points vulnérables du bassin versant [[Smith et al., 1954](#)], [[Hudson, 1993](#)], [[De Vente and Poesen, 2005](#)].

Plusieurs travaux ont été réalisés ces dernières années dans l'estimation des débits liquides dans les bassins versant algériens comme [[Touazi et al., 2004](#)], [[Ammari and Remini, 2010](#)], [[Jean-Pierre et al., 2010](#)], [[Keblouti et al., 2013](#)], [[Boucefiane et al., 2014](#)], [[Chibane and Ali-Rahmani, 2015](#)] [[Baahmed et al., 2015](#)], [[Bachir et al., 2015](#)], [[Zeroual et al., 2015](#)].

## Introduction

Plusieurs modèles hydrologiques permettent de gérer, comprendre, estimer et évaluer les activités naturelles et humaines sur les bassins versants [Zhang et al., 2012], tel que le modèle SWAT (Soil and Water Assessment Tools) [Arnold et al., 1998], qui est l'un des modèles appliqués au grand espace géographique [Shukla, 2011].

SWAT est un modèle hydrologique continu, basé sur la physique distribuée qui fonctionne sur un pas de temps quotidien avec une interface SIG [Arnold et al., 1998], [Neitsch et al., 2011], [Arnold et al., 2013]. Utilisé à l'échelle internationale et au cours des dernières années, il y a eu un intérêt croissant et a prouvé son efficacité et sa faisabilité dans différents bassins versants pour une large gamme d'applications comme l'évaluation et l'estimation de tous les transferts hydrologiques, l'impact du changement climatique, identifier les sources des différents types de pollutions, la croissance des cultures, la gestion des terres dans les bassins versants et sur les différents pas de temps quotidiens, mensuels et annuels. [Gassman et al., 2007], [Arnold et al., 2009], [Douglas-Mankin et al., 2010], [Tuppad et al., 2011], [Gassman et al., 2014], [Krysanova and White, 2015].

En Algérie plus de 60 % des eaux utilisées sont principalement des eaux de surface [Aquistat, 2013].

Le barrage de Beni Haroun et ses installations de transfert l'un des mégaprojets en Algérie [SLAIMI, 2013], qui va alimenter sept wilayas à l'horizon future (Jijel, Mila, Constantine, Oum el Bouaghi, Khenchla, Batna, Biskra) et assureront dans un proche avenir l'irrigation de 40000 hectares [ANBT], [Mebarki, 2010], [SOUKEHAL and CHERRAD, 2011]

Compte tenu de l'importance du barrage il existe plusieurs travaux sur son bassin versant qui concluent que le barrage a un problème d'envasement : [Mebarki and Thomas, 1988], [Remini et al., 2009], [Marouf and Remini, 2011], [REMINI and BENFETTA, 2015], [GHENIM and MEGNOUNIF, 2016], [REMINI, 2017], [REMINI and TOUMI, 2017], [Tourki et al., 2017].

Pour cette raison il est très important d'étudier le bassin versant du barrage et tout le cycle hydrologique. Utilisant le modèle SWAT avec ses données d'entrée et ses types de résultats peut nous aider à estimer et prédire les zones à risque, faciliter la gestion des ressources en eau, protéger les cours d'eau importants pour assurer les apports arrivés au barrage, protéger les zones urbaines qui sont exposées au risque d'inondation et augmenter la durée de vie du barrage.

SWAT a besoin de beaucoup de données d'entrée [Arnold et al., 1998], [Neitsch et al., 2011], [Arnold et al., 2013] tel que tel que l'utilisation des couvertures des terres et les types des sols et dans l'Algérie rare et difficile à trouver. Et ne contient pas toutes les données nécessaires pour faire une simulation à l'aide du modèle.

Pour résoudre ce problème, de nombreux chercheurs ont proposé différentes solutions comme :

- Utiliser les données mondiales [Giri, 2012] qui ont prouvé leur efficacité dans le modèle comme :  
GlobalCover [Schuol et al., 2008], [Githui et al., 2009], [Ma et al., 2009], [Betrie et al., 2011], [Sood et al., 2013], [Xie et al., 2014], [Abbaspour et al., 2015], [Bouslihimi et al., 2016] pour l'utilisation des couvertures des terres.  
Et pour les types de sols la base de données Harmonized World Soil Data base -HWSD v1.1- [Fadil et al., 2011], [Nielsen et al., 2013], [Arrouays et al., 2014], [Gessesse et al., 2015], [Pagliero et al., 2014], [Nyeko, 2015], [Malagò et al., 2015], [Zeng et al., 2017].

## Introduction

- crée notre base de données en utilisant la télédétection des images satellitaire qui contient les informations nécessaires pour l'utilisation des couvertures des terres, et pour les types des sols en utilisant la cartographie numérique des sols.

Les données des types des sols sont rare et difficile à trouver puisque les anciennes cartes ne contiennent pas les paramètres nécessaires et obligatoire pour faire une simulation dans le model SWAT comme : Le pourcentage de l'argile, limon, sable, gravier, densité apparente, le pourcentage de la matière organique, la conductivité hydraulique, la conductivité électrique, capacité d'eau disponible dans le sol, facteur K d'érodabilité de la formule USEL.

De nombreux chercheurs travaillant dans le domaine de la création des cartes ds types des sols tel que : [[Lagacherie et al., 2006](#)], [[Hartemink et al., 2008](#)], [[Aksoy and Dirim, 2009](#)], [[Sanchez et al., 2009](#)], [[Ali and Kotb, 2010](#)], [[Boettinger et al., 2010](#)], [[Dehni and Lounis, 2012](#)],[[Dogan and Kılıç, 2013](#)], [[Yahiaoui et al., 2015](#)], [[Lakshmi et al., 2015](#)],

Pour cette raison il est préférable de s'orienter vers les nouveaux méthodes tel que la cartographie numérique du sol, qui est déjà utilisé et testé par des groupes de pédologues [[Hartemink et al., 2008](#)].

Les objectifs principaux de cette recherche sont :

- crée une base de données utilisant le SIG et la télédétection et les résultats des analyses des échantillons prélever et faire le transfert ses données sous une forme qui peut utiliser dans le model SWAT.
- simulation et calibration du model pour chaque types de données.
- comparaison des résultats obtenus par la simulation et les données des stations de contrôles des débits liquides et solides.
- déterminer quels types de données donnent le meilleur résultat.
- Identifier les zones les plus érodes.

Pour ce faire notre thèse est structurée en en cinq chapitres :

- Le chapitre I est une analyse bibliographique qui résume les paramètres qui a une influence sur l'érosion et quelque recherche sur l'érosion en Algérie et les types des modèles qui a la possibilité d'anticiper le taux d'érosion dans les bassins versants !!!!!
- Le Chapitres II traite la Présentation de la zone d'étude de point de vue géologique, topographique, géographique, climatologique
- Le chapitre III présent les matérielles et les méthodes utilisées dans ce travail
- Le chapitre IV traite les résultats préliminaires et la calibration et la validation des résultats de simulation des débits liquides et solides
- Le chapitre V présent la discussion générale du travail avec discussion sur les résultats des analyses des types des sols, les résultats de simulation des débits liquides, les résultats de simulation des débits liquides





CHAPITRE I

ANALYSE

BIBLIOGRAPHIQUES

## I.1. Généralité sur l'érosion

Le mot érosion est d'origine latine et vient du verbe erodere -Ronger (rodere - à ronger), à excaver. Le terme érosion a été utilisé pour la première fois en géologie pour décrire la formation de creux par l'eau.

De nombreux auteurs utilisent maintenant le terme érosion pour désigner toute forme de destruction du sol ou de la surface de la Terre par l'eau, et recommandent que les termes déflation et abrasion soient utilisés en cas de destruction par le vent. [Trimble, 2007] Définit l'érosion comme un processus naturel permettant de détacher des fragments de sol et de roche en vue de leur enlèvement ultérieur ou de leur transport dans des zones de plus basse altitude à la surface de la terre.

Au sens le plus large du terme, ces facteurs incluent l'eau, la neige, la glace, l'air [De Vente and Poesen], les débris altérés, les organismes (plantes et animaux) et l'homme. Ces facteurs peuvent être classés comme biotiques (bios grecque - vie), c'est-à-dire liés à la vie, et abiotiques (inanimés).

La plupart des auteurs n'incluent dans le terme érosion que la destruction du sol provoquée par des facteurs abiotiques, dont l'activité est imputable à l'action mécanique, c'est-à-dire l'énergie cinétique. En appliquant des critères plus larges, ce type d'érosion peut être appelé érosion mécanique, c'est-à-dire corrasion. Mais l'érosion inclut également l'action chimique qui est également liée à l'action mécanique de l'eau.

Ce type d'érosion peut être qualifié d'érosion chimique, c'est-à-dire de corrosion. En plus de ces deux formes principales d'érosion causées par des facteurs abiotiques (érosion abiotique), les aspects organogènes de l'érosion peuvent être distingués et subdivisés en phytogéniques (plantes), zoogéniques (animaux) et artificiels (anthropogènes homme) érosion.

En réalité, il existe différents types intermédiaires entre ces principaux types d'érosion, de sorte que l'érosion mécano-chimique, l'érosion anthropo-zoogénique, etc.

Dans toutes les situations, plusieurs types d'érosion se produisent toujours simultanément ou selon une séquence chronologique, formant des motifs typiques d'une région donnée. Les facteurs déterminants sont le climat, le relief, la nature de la surface et l'activité de l'organisme, en particulier l'activité de l'homme qui a été responsable ces dernières années d'une influence spécifique croissante sur les systèmes d'érosion. [Zachar, 1982b]

## I.2. Classification d'érosion

### I.2.1. Érosion des sols

Il existe deux principaux types d'érosion : l'érosion accélérée et l'érosion géologique. L'érosion géologique est un processus normal d'altération qui survient généralement à faible vitesse dans tous les sols dans le cadre des processus naturels de formation des sols. Il se produit sur de longs horizons géologiques et n'est pas influencé par l'activité humaine. L'usure des roches et la formation de profils de sol sont des processus affectés par l'érosion géologique lente mais continue. En effet, les faibles taux d'érosion sont essentiels à la formation du sol. En revanche, l'érosion des sols devient une préoccupation majeure lorsque le taux d'érosion dépasse un certain niveau et devient rapide, connue sous le nom d'érosion accélérée. Ce type d'érosion est provoqué par des causes anthropiques telles que la déforestation, l'agriculture itinérante sur brûlis, le labour intensif, le pâturage intensif et incontrôlé et la combustion de biomasse.

Le contrôle et la gestion de l'érosion des sols sont importants car, lorsque la couche arable fertile est érodée, le sol restant est moins productif avec le même niveau d'intrants. Bien que l'érosion des sols ne puisse être complètement réduite, il faut réduire l'érosion excessive à un niveau raisonnable ou tolérable afin de minimiser les effets négatifs sur la productivité. [Blanco and Lal, 2010]

### **I.2.2. L'érosion du vent**

L'érosion du vent est un phénomène répandu, en particulier dans les régions arides et semi-arides. C'est une force géomorphique dominante qui a remodelé la Terre. La majeure partie de la matière transportée par le vent est constituée de particules limoneuses. Les dépôts de ce matériau, appelé «loess», sont devenus des sols très fertiles et profonds. L'épaisseur de la plupart des dépôts de loess varie de 20 à 30 m, mais elle peut atteindre 335 m (par exemple, le plateau de Loess en Chine). L'érosion excessive du vent due à la mauvaise gestion des sols a toutefois causé la stérilité de nombreuses terres arides. Les activités anthropiques préparent le terrain à une grave érosion éolienne en agissant directement sur les conditions de la surface du sol par le biais de la déforestation et du travail du sol excessif. L'érosion éolienne est importante mais n'est pas propre aux régions arides. Les vents violents, les faibles précipitations ( $\leq 300$  mm par an), la forte évapotranspiration, le couvert végétal réduit et le développement limité des sols sont les principaux facteurs de l'érosion éolienne dans les régions arides et semi-arides. Les taux d'érosion éolienne augmentent dans l'ordre suivant : zones arides > semi-arides > zones subhumides sèches > zones humides. Contrairement à l'eau, le vent a la capacité de déplacer les particules de sol en amont et en aval et peut polluer l'air et l'eau. Alors que les terres arides sont plus exposées à l'érosion éolienne que les écosystèmes humides, tout sol cultivé perturbé de manière saisonnière peut être soumis aux processus éoliens dans les environnements venteux. [Blanco and Lal, 2010].

### **I.2.3. L'érosion hydrique**

À l'échelle mondiale, l'érosion hydrique est le plus grave type d'érosion du sol. L'érosion hydrique est l'usure de la surface du sol par l'eau de pluie, de ruissellement, de fonte des neiges et d'irrigation. Les eaux de pluie sous forme de ruissellement constituent le principal facteur d'érosion hydrique. Il fait référence au mouvement des particules organiques et inorganiques du sol le long de la surface du sol lorsque de l'eau coule et que les matériaux érodés se déposent aux endroits les plus bas du paysage et dans les écosystèmes aquatiques. Le matériau érodé peut former un nouveau sol ou simplement remplir les lacs, les réservoirs et les ruisseaux. L'érosion de l'eau se produit dans tous les sols à des degrés divers. Une légère érosion est effectivement bénéfique à la formation de sol mais une érosion sévère ou accélérée affecte négativement le sol et l'environnement. Comprendre les mécanismes et l'ampleur de l'érosion hydrique est essentiel pour gérer et développer des pratiques de contrôle de l'érosion [Blanco and Lal, 2010]

## **I.3. Les types d'érosion hydrique**

### **I.3.1. Érosion Éclaboussure**

L'érosion par éclaboussures est causée par le bombardement de la surface du sol par l'impact des gouttes de pluie. Les processus d'érosion par éclaboussures comprennent les impacts de gouttes de pluie, les éclaboussures de particules de sol et la formation de cratères [Ghadiri, 2004]. [Ghadiri, 2004] Les gouttes de pluie qui frappent la surface du sol développent un moment de particule goutte-de-pluie avant de libérer leur énergie sous forme de projections. Ces gouttes de pluie frappent le sol comme de petites bombes formant des cratères ou des

cavités de formes et de tailles contrastées. La profondeur des cratères, égale à la profondeur de pénétration de l'énergie des gouttes de pluie, est fonction de la vitesse, de la taille et de la forme des gouttes de pluie. [[Blanco and Lal, 2010](#)]

### **I.3.2. Erosion Interrill (en nappe)**

Dès qu'il commence, les eaux de ruissellement développent rapidement des rigoles diminuées, et la partie des eaux de ruissellement qui s'écoule entre les rigoles est appelée érosion en nappe ou interrill. Ce type d'érosion est principalement dû à un écoulement peu profond. Certaines particules sont entraînées par les eaux de ruissellement dans une mince feuille et d'autres se concentrent dans de petites rigoles. Interrill est le type d'érosion du sol le plus courant. Les éruptions par éclaboussures et interrill constituent environ 70% de l'érosion totale du sol et se produisent simultanément, bien que l'érosion par éclaboussures prédomine pendant le processus initial. L'érosion interrill est fonction du détachement des particules, de l'intensité des précipitations et de la pente du champ [[Blanco and Lal, 2010](#)].

### **I.3.3. Érosion des rigoles**

Il fait référence à l'érosion du sol qui se produit dans les petits canaux ou les rigoles. L'érosion des rigoles est due à un écoulement concentré plutôt que superficiel. Les eaux de ruissellement qui se concentrent dans de petits canaux érodent le sol plus rapidement que l'érosion en profondeur. La force de l'écoulement et les particules de sol qui rampent le long du lit de rainure augmentent les rigoles. L'érosion en rigoles est la deuxième voie d'érosion des sols la plus répandue. Les rainures sont facilement effacées par les opérations de travail du sol, mais peuvent causer une érosion importante du sol, en particulier lors de pluies intenses. L'érosion des rigoles est fonction de l'érodabilité du sol, de la capacité de transport des eaux de ruissellement et du cisaillement hydraulique du débit d'eau. [[Blanco and Lal, 2010](#)].

### **I.3.4. Érosion des Ravines**

L'érosion en ravins crée des canaux en forme de V ou de U. Les ravines sont des canaux d'incision linéaires d'au moins 0,3 m de largeur et 0,3 m de profondeur. Les ravines se forment principalement par ruissellement concentré convergeant vers les points les plus bas du champ. Ainsi, l'érosion se produisant dans ces canaux est connue sous le nom d'érosion à flux concentré. Les champs vallonnés provoquent la concentration des eaux de ruissellement dans les creux de roche naturels, les eaux de ruissellement se déplaçant vers le bas dans des chemins étroits sous forme d'écoulement canalisé. L'érosion continue du ravinement élimine des profils de sol entiers dans des segments localisés du champ. Au fur et à mesure que les ravines se développent, de plus en plus de sédiments sont transportés.

Il existe deux types de ravines : éphémère et permanente. Les ravines éphémères sont des canaux peu profonds qui peuvent être facilement corrigés par des opérations de labour de routine. En revanche, les ravines permanentes sont trop grosses pour être lissées par un labour régulier ou traversées par un trafic de machines et nécessitent des mesures coûteuses de récupération et de contrôle. Les ravines éphémères qui suivent le retrait ont tendance à se reformer sur les mêmes points du champ si elles ne sont pas contrôlées. Même si les ravines sont réparées par le travail du sol, le sol est déjà perdu car le matériau érodé est transporté hors site. Les ravines sont normalement remblayées avec de la terre provenant de champs voisins, ce qui réduit la profondeur de la couche arable. [[Blanco and Lal, 2010](#)].

### **I.3.5. L'érosion du tunnel**

L'érosion des tunnels, également appelée érosion des canalisations, est l'érosion des sols souterrains et est courante dans les terres arides et semi-arides. Les eaux de ruissellement dans les canaux, les fissures naturelles et les terriers des animaux amorcent les tunnels en s'infiltrant dans les couches de sous-sol dispersables et en se déplaçant à fond. La surface des sols affectés par l'érosion en tunnel est souvent stabilisée par des racines (par exemple, de l'herbe) mélangées au sol, tandis que le sous-sol est relativement meuble et facilement érodables. La présence de suintement d'eau, d'écoulement latéral et d'écoulement est un signe d'érosion du tunnel. Les tunnels ou cavités se dilatent au point de ne plus supporter le poids superficiel et de s'effondrer pour former des nids-de-poule et des ravines. L'érosion des tunnels modifie les caractéristiques géomorphiques et hydrologiques des zones touchées. Les procédures de remise en état comprennent les déchirures profondes, le remodelage, la revégétalisation avec fertilisation et chaulage appropriés, le remballage et la consolidation de la surface du sol, le détournement des eaux de ruissellement concentrées et la réduction des accumulations de ruissellement. La revégétalisation doit inclure les arbres et les espèces de graminées à racines profondes pour augmenter l'absorption d'eau. [[Blanco and Lal, 2010](#)].

### **I.3.6. Érosion des berges**

Il fait référence à l'effondrement des berges le long des cours d'eaux, des ruisseaux et des rivières en raison du pouvoir érosif des eaux de ruissellement provenant des champs des hautes terres. Les piédestaux avec des coupes verticales fraîches le long des cours d'eau sont le résultat de l'érosion des berges. Culture intensive, pâturage, et la circulation le long des cours d'eau, et l'absence de zones tampons riveraines et de bandes filtrantes pour l'herbe accélèrent l'érosion des berges. Planter des herbes (par exemple des espèces indigènes et hautes) et des arbres, établir des structures techniques (par exemple des tuiles, des gabions), pailler les frontières avec des roches et des matériaux ligneux, des clôtures en géotextile et intercepter / détourner les eaux de ruissellement sont des mesures permettant de contrôler l'érosion des rives. [[Blanco and Lal, 2010](#)].

## **I.4. Le transport solide**

La production de matériaux alimentant le transport solide provient essentiellement du ravinement et de la destruction par gel-dégel des versants des bassins amont. La granulométrie de ces matériaux, selon leur provenance et leur parcours, est extrêmement variée (de blocs de plusieurs dizaines de tonnes à des particules inférieures au millimètre). S'ajoutent à cette dispersion granulométrique de production les effets de l'action érosive de la rivière, qui effrite, polit, rogne, les morceaux de matériaux qu'elle déplace, dans une multitude de chocs et de frottements. S'ajoutent enfin les matériaux provenant d'affluents de morphologie et de contexte géologique du bassin versant différents, ainsi que les matériaux arrachés aux berges. En un site donné, c'est toute une variété de matériaux, de granulométrie très variée, que l'on va rencontrer. La distribution statistique des dimensions de ces éléments se fait en général par repérage visuel. [[Roche et al., 2012](#)]

### **I.4.1 Les mécanismes de transport de matériaux**

Classiquement il y a deux types de transport de matériaux en suspension et en charriage. Figure I.1 [[Roche et al., 2012](#)]

- La suspension, qui concerne les particules les plus fines (telles que l'argile, le limon et les sables fins) et s'analyse comme un équilibre « entre deux eaux », entre le poids déjaugé de la particule (poids réduit de la poussée d'Archimède), les forces s'opposant au mouvement relatif de l'eau et de la particule dues à la viscosité de l'eau et les

composantes verticales des forces turbulentes. En l'absence de turbulence s'établit une vitesse de chute qui résulte de l'équilibre entre poids et déjaugage et forces de friction dues à la viscosité

- Le charriage, qui est lié au mouvement possible de matériaux posés au fond du lit. Les conditions de déclenchement de ce mode de transport sont essentielles pour l'établissement des profils en long et de la trace des cours d'eau



Figure I.1 transport de matériaux en suspension et en charriage

## I.5. Facteurs influençant l'érosion

Plusieurs facteurs contrôlant l'érosion, on peut le diviser en deux types :

Les facteurs généraux comme érosivité, érodabilité, effet de la pente, effet du couvert végétal

Et les Facteurs implicites comme la précipitation, la texture, la longueur de la pente, le type de l'utilisation des terres

### I.5.1. Érosivité

De nombreux paramètres affectant l'érosivité

#### I.5.1.1. Les précipitations

La perte de sol est étroitement liée aux précipitations partiellement par le pouvoir de détachement des gouttes de pluie frappant la surface du sol et partiellement grâce à la contribution de la pluie au ruissellement. Ceci s'applique particulièrement à l'érosion par le ruissellement et les rigoles, pour laquelle l'intensité est généralement considérée comme la caractéristique de précipitations la plus importante.

La connaissance de l'érosivité des précipitations est essentielle pour comprendre les processus d'érosion, estimer les taux d'érosion des sols et concevoir des pratiques de contrôle de l'érosion. Les propriétés affectant l'érosivité sont les suivantes : quantité, intensité, vitesse terminale, taille des gouttes et distribution de la taille des gouttes de pluie (tableau I.1). Ces paramètres affectent l'érosivité totale d'une pluie

[[Morgan, 2009](#)], [[Blanco and Lal, 2010](#)].

Tableau I.1 Les Facteurs affectant l'érosivité des précipitations [[Blanco and Lal, 2010](#)].

la quantité	Intensité	Vitesse terminale	La taille des gouttes
Plus de pluie entraîne plus d'érosion, bien que cette corrélation dépende de l'intensité des précipitations.	L'intensité est normalement inférieure à 70 mm dans les régions tempérées, mais elle peut atteindre 150 mm dans les régions tropicales.	Une goutte de pluie accélère sa vitesse jusqu'à ce que la résistance de l'air soit égale à la force de gravitation, puis chute à cette vitesse constante, également appelée vitesse terminale.	La taille des gouttes de pluie peut varier entre 0,25 et 8 mm de diamètre, mais celles entre 2 et 5 mm sont courantes.
La quantité de pluie est fonction de la durée et de l'intensité de la pluie.	Les tempêtes intenses sont souvent de courte durée.	Les gouttes de pluie peuvent frapper le sol à une vitesse pouvant atteindre 35 km et déplacer des particules de sol jusqu'à 2 m à l'horizontale et à 1 m à la verticale.	Lors de fortes tempêtes, les gouttes de pluie peuvent atteindre 8 mm.
La mesure de la quantité de pluie dépend du type, de la répartition et du protocole d'installation des pluviomètres.	L'intensité est directement corrélée à l'érosion.	La vitesse terminale augmente avec la taille des gouttes de pluie.	Bien que la taille des gouttes augmente avec l'intensité de la pluie, elle peut diminuer lorsque l'intensité dépasse 100 mm.
La hauteur des pluviomètres et la dérive du vent ont une incidence sur les mesures.	Plus la pluie est intense, plus l'érosion du sol est importante.	Les grosses gouttes de pluie tombant plus rapidement ont plus de pouvoir érosif que les gouttes plus petites.	La coloration des gouttes (utilisation de papier absorbant avec des colorants hydrosolubles) et la farine-boulette (collecte et séchage des gouttes dans un récipient contenant de la farine) sont des méthodes utilisées pour mesurer la distribution granulométrique des gouttes de pluie, ainsi que des techniques radars et d'imagerie.
Les données mesurées disponibles ne sont que des estimations ponctuelles d'une grande surface.	De nombreux modèles d'érosion utilisent l'énergie cinétique basée sur l'intensité de la pluie.	Les gouttes de pluie de 5 mm de diamètre ont une vitesse terminale d'environ 9m	
	L'intensité est obtenue à partir de pluviomètres quotidiens dotés de cartes et de systèmes informatisés.		

Plusieurs chercheurs travaillent sur l'influence et l'impact de la précipitation seul, ou son effet avec d'autres facteurs sur l'érosion et les apports sédimentaire comme : [[Langbein and Schumm, 1958](#)] qui a trouvé que la concentration des sédiments dans les eaux de ruissellement à augmenter avec la diminution des précipitation moyenne annuelles ce qui montre que la précipitation est liée au rendement des sédiments dans les bassins versants dans toutes les régions climatiques des États-Unis. Xu Jiongxin qui a travaillé dans [[Jiongxin, 2003](#)] sur l'influence de

la précipitation et les changements des activités humaines dans le fleuve jaune (Chine) qui a les flux sédimentaires les plus élevés au monde, l'auteur a trouvé que le fleuve est sensible à l'évolution des précipitations et des activités humaines. Et dans [Jiongxin, 2005] qui a travaillé sur l'influence des précipitations et de la végétation sur l'érosion et a trouvé qu'il y a une relation entre la précipitation et l'érosivité et le couvert forestier. Dans plusieurs études la précipitation est l'un des paramètres clés dans le processus de l'érosion [Thiede et al., 2004], [Gabet et al., 2008]. [Yu et al., 2006] a étudié l'effet de la précipitation et d'autres paramètres sur l'érosion sur un petit bassin versant (12.1 km<sup>2</sup>) et a trouvé que l'influence des précipitations sur l'érosion est plus grande que celle de la végétation.

### I.5.1.2. Indices d'érosivité

L'intensité est la propriété de précipitation la plus importante qui détermine le degré d'érosion (tableau). La combinaison de forte quantité avec une forte intensité de pluie produit une érosion élevée. L'énergie d'une goutte de pluie due à son mouvement, appelée énergie cinétique, est fonction de la taille de la goutte de pluie et de sa vitesse terminale. L'énergie cinétique (E) dans les ergs d'une goutte de pluie qui tombe est estimée à :

$$E = \frac{1}{2} mV^2 \dots\dots\dots(I.1)$$

Où

m est la masse de la goutte de pluie qui tombe (g),

v est la vitesse de chute (cm s<sup>-1</sup>).

Il est très difficile de mesurer E de la goutte de pluie sous une pluie naturelle, mais il est possible d'établir une relation générale entre l'énergie cinétique et l'intensité des précipitations. En se basant sur les travaux de Laws and Parsons (1943), Wischmeier et Smith (1958) ont obtenu l'équation :

$$E = 0.0119 + 0.0873 \log_{10} I \dots\dots\dots(I.2)$$

Où

I est l'intensité des précipitations (mmh<sup>-1</sup>).

E, l'énergie cinétique (MJ ha<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>).

Plusieurs relations mathématiques existent pour relier l'intensité à l'énergie totale des précipitations, [Blanco and Lal, 2010], [Morgan, 2009] telles que :



Tableau I.2. Relation entre l'énergie cinétique de la pluie et l'intensité des précipitations  
[Morgan, 2009]

Équation	source
$E = 0.0119 + 0.0873 \log_{10} I$	Utilisé dans l'équation universelle de perte de sol (Wischmeier et Smith 1978) ; d'après les distributions de la taille des gouttes de précipitations mesurées par Laws et Parsons (1943) [Wischmeier, 1976] , [Laws and Parsons, 1943]
$E = 0.29(1 - 0.72e^{-I/20})$	Utilisé dans l'équation universelle révisée de la perte de sol ; Brown et Foster (1987)[Brown and Foster, 1987]
$E = 0.0895 + 0.0844 \log_{10} I$	D'après les distributions de la taille des gouttes de précipitations mesurées par Marshall et Palmer (1948) [Marshall and Palmer, 1948]
$E = 0.0981 + 0.1125 \log_{10} I$	Zanchi et Torrie (1980) pour la Toscane, l'Italie [Zanchi and Torri, 1980]
$E = 0.359(1 - 0.56e^{-0.034 I})$	Coutinho et Tomás (1995) pour le Portugal [Coutinho and Tomás, 1995]
$E = 0.0981 + 0.106 \log_{10} I$	Onaga et al. (1988) pour Okinawa, Japon [Onaga et al., 1988]
$E = 0.298(1 - 4.29/I)$	Hudson (1965) pour le Zimbabwe [Hudson, 1965]
$E = 0.29(1 - 0.6e^{-0.04 I})$	Rosewell (1986) pour la Nouvelle-Galles du Sud, Australie [Rosewell, 1986]
$E = 0.26(1 - 0.7e^{-0.035 I})$	Rosewell (1986) pour le sud du Queensland, en Australie [Rosewell, 1986]
$E = 0.1132 + 0.0055I - 0.005 \times 10^{-2} I^2 + 0.00126 \times 10^{-4} I^3$	Carter et al. (1974) pour le centre-sud des États-Unis [Carter et al., 1974]
$E = 0.384(1 - 0.54e^{-0.029 I})$	Cerro et al. (1998) pour Barcelone, Espagne [Cerro et al., 1998]
$E = 0.369(1 - 0.69e^{-0.038 I})$	Jayawardena et Rezaur (2000) pour Hong Kong [Jayawardena and Rezaur, 2000]
$E = 0.283(1 - 0.52e^{-0.042 I})$	Proposé par van Dijk et al. (2002) en tant que relation universelle [Van Dijk et al., 2002]

### I.5.1.3. Érosivité de ruissellement

Les eaux de ruissellement, également appelées écoulement de surface, Partie de l'eau provenant de la pluie, de la fonte des neiges et de l'irrigation qui sort du champ et atteint souvent des cours d'eau en aval ou des corps tels que des ruisseaux, des rivières et des lacs. Le ruissellement ne se produit qu'après l'application de l'eau est absorbé par le sol, (2) remplit les pores du sol et les dépressions de surface, (3) est stocké dans des bassins de rétention en surface s'il est en place, et (4) s'accumulent à la surface du sol à une profondeur donnée. .

Les composants du bilan hydrique pour le ruissellement sont les suivants :

$$\text{ruissellement} = \text{INPUT} - \text{OUTPUT}$$

$\text{ruissellement} = (\text{Pluie, fonte des neiges, irrigation}) -$   
(infiltration, évaporation, Interception des pluies par la canopée, absorption d'eau, transpiration, Surface de détention)

Semblable à l'érosivité due aux précipitations, l'érosivité liée au ruissellement est la capacité du ruissellement à provoquer l'érosion du sol. Les gouttes de pluie qui touchent la surface du sol se détachent, se détachent et éclaboussent les particules de sol, tandis que les eaux de ruissellement transportent et détachent les particules de sol. L'interaction entre la pluie, le ruissellement et les particules de sol provoque l'érosion. Les particules de sol flottantes et rampantes dans les eaux de ruissellement turbulentes contribuent également au détachement des agrégats. La pluie a plus de pouvoir érosif que de ruissellement. [Blanco and Lal, 2010]

#### **I.5.1.4. Estimation du ruissellement**

La détermination du taux et du volume de ruissellement implique la prise en compte de divers facteurs de ruissellement tels que la topographie, les conditions de surface du sol (par exemple, la rugosité), la texture du sol, l'infiltration d'eau et le couvert végétal. Lorsque la pluie tombe sur une surface imperméable telle qu'une surface pavée, toute la pluie devient ruissellement. Ce n'est pas le cas dans des conditions de sol naturelles où les précipitations sont réparties en différentes voies : interception par les plantes et les résidus de surface, infiltration, évaporation, accumulation dans les dépressions de surface et ruissellement

Toute équation mathématique qui tente d'estimer le ruissellement d'un bassin hydrographique doit prendre en compte tous ces facteurs. [Blanco and Lal, 2010]

##### **a. Temps de concentration**

Le temps de concentration est le temps nécessaire pour que les eaux de ruissellement se déplacent du point le plus éloigné en termes de temps de parcours à la sortie du bassin versant. (Schwab et al., 1993) [Schwab et al., 1993].

Le temps de concentration est essentiel pour calculer l'hydrogramme de ruissellement. La forme et le débit maximal de ruissellement sont fonction du temps de parcours des eaux de ruissellement sous toutes ses formes, y compris les écoulements en creux et les écoulements. Le développement de surfaces imperméables dans les zones urbaines réduit considérablement le temps de concentration et augmente les débits de pointe. Le temps de concentration dépend principalement des facteurs suivants [Blanco and Lal, 2010] :

##### **b. Rugosité de surface**

Plus la surface d'un bassin hydrographique est lisse, plus le temps de concentration est court. Végétation croissante, les résidus de pailis, les affleurements rocheux, les crêtes, les dépressions et d'autres obstacles retardent le flux de surface. Ainsi, la durée du trajet dans un bassin versant végétalisé est augmentée à moins que le débit ne soit acheminé dans des canaux construits, qui conduisent rapidement à l'eau [Blanco and Lal, 2010]

##### **c. Pente de bassin versant**

Plus la surface d'un bassin versant est escarpée, plus le temps nécessaire à l'eau pour atteindre la sortie est court. Les terrasses et la mise en place de zones tampons de conservation réduisent la pente du bassin versant et augmentent ainsi le temps de parcours du flux d'eau. En milieu urbain, Les gradients changent la pente. Les canaux à rugosité réduite augmentent la vitesse de ruissellement et le débit maximum. Au contraire, l'établissement d'étangs et la réduction de la pente du sol augmentent le temps de concentration. [Blanco and Lal, 2010]

##### **d. Taille du bassin versant**

Plus le bassin versant est large, plus la zone contribuant au ruissellement est importante, mais plus le temps de ruissellement est long. La taille et la forme du bassin versant influencent le

temps de parcours du ruissellement. Le taux de ruissellement atteint son apogée plus rapidement dans un bassin versant plus court. [Blanco and Lal, 2010]

#### e. Longueur et forme du canal

L'écoulement de l'eau du point le plus éloigné en temps d'écoulement dans des conditions de terrain n'est pas toujours laminaire mais tend à s'écouler de différentes manières, notamment par : 1) des rigoles peu profondes, 2) des canaux ouverts sous forme d'écoulement concentré et 3) un écoulement diffus intermédiaire. Après une courte distance, écoulement intermédiaire devient un écoulement concentré dans les canaux. Plus le canal est long et lisse, plus le temps de trajet pour atteindre le point de sortie est court. Les canaux en pente et droits accélèrent la vitesse de ruissellement. Les canaux redressés augmentent la vitesse de ruissellement par rapport aux canaux sinueux et tortueux. [Blanco and Lal, 2010]

#### f. Taux de ruissellement maximal

Le taux de ruissellement de pointe est le taux de ruissellement maximal qui se produit lors d'une précipitation. Elle est estimée en utilisant la méthode rationnelle et la méthode rationnelle modifiée. La méthode rationnelle est la suivante [Blanco and Lal, 2010]:

$$q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3.6} \dots \dots \dots (I.4)$$

Où

- q est le débit de pointe (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>),
- i est l'intensité des précipitations (mm h<sup>-1</sup>),
- A est la superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>),
- 3.6 est une constante pour la conversion.
- C indique la quantité de pluie qui devient un ruissellement lors d'un seul événement et varie en fonction de la tempête. Les valeurs C pour différents systèmes d'utilisation des sols et de culture

La méthode rationnelle modifiée est exprimée sous la forme

$$q = \frac{C \cdot \alpha_{tc} \cdot A}{3.6 \cdot T_c} \dots \dots \dots (I.5)$$

Où

- $\alpha_{tc}$  est la fraction de l'écoulement au cours du temps de la concentration,
- A est la superficie du bassin versant km<sup>2</sup>,
- $T_c$  est Le temps de concentration,

Remplacement le C et le i dan

$$C = \frac{Q}{R_{day}} \dots \dots \dots (I.6)$$

$$i = \frac{R_{tc}}{T_c} \dots \dots \dots (I.7)$$

Où

- $Q$  est la profondeur du ruissellement (mm),
- $R_{day}$  est la quantité de pluie (mm) pour la journée,
- $R_{tc} = \alpha_{tc} \times R_{day}$

Qui donne

$$q = \frac{C \times \alpha_{tc} \times R_{day} \times A}{3.6 \times R_{day} \times T_c} = \frac{C \times \alpha_{tc} \times A}{3.6 \times T_c} \dots \dots \dots (I.8)$$

## I.6. Érodabilité

L'érodabilité définit la résistance du sol au détachement et au transport. Bien que la résistance à l'érosion d'un sol dépende en partie de la position topographique, la pente et la quantité de perturbation, comme lors du travail du sol, les propriétés du sol sont les déterminants les plus importants. L'érodabilité varie avec la texture du sol, la stabilité des agrégats, la résistance au cisaillement, la capacité d'infiltration et le contenu organique et chimique [[Morgan, 2009](#)].

Plusieurs chercheurs travaillant sur l'influence du types du sol sur l'érosion comme [[Middleton, 1930](#)] qui a fait une étude sur les propriétés des sols qui a un influence sur l'érosion des sols, en étudiant les propriétés physiques et chimiques de 3 types des sols érosifs et 3 types des sols non érosifs. L'autres à trouver que les paramètres ayant la plus grande influence sur l'érosion son indiqué par le taux de dispersion, le rapport entre les colloïdes et l'équivalent d'humidité, le taux d'érosion, et le taux de la silice-sesquioxyde.

[[Oruk et al., 2012](#)] Son travail consiste à étudier l'influence de la propriété texturale du sol et du type de l'utilisation de la couverture des terres sur l'érosion des sols (dans un sol de type Ultisol) l'auteur à trouver que la texture dominante dans la zone d'étude, qui manque de cohésion, ce que en fait susceptible a la perturbation de l'érosion.

[[Ekwue and Harrilal, 2010](#)] qui a utilisé un simulateur de précipitation dans un sol d'essai pour surveiller l'érosion du sol par les gouttes de pluie, pour attendre le but de étudier l'effet du types des sols et la tourbe, la pente, l'effet du compactage et leur interaction sur l'infiltration, le ruissellement sur l'érosion. Les résultats de cette étude confirment que la raison principale pour laquelle la tourbe réduit l'érosion du sol due aux précipitations est son effet sur la diminution de la densité apparente, et augmentation de l'infiltration et la réduction du ruissellement, et que l'incorporation de matières organique dans les pentes abruptes.

### I.6.1. La Texture

Les grosses particules résistent au transport en raison de la plus grande force nécessaire pour les entraîner et des particules fines résistent au détachement en raison de leur cohésion. Les sols sableux sont moins cohésifs que les sols argileux et se détachent donc plus facilement des agrégats à forte teneur en sable. Bien qu'un sol argileux bien aggloméré résiste mieux à l'érosion que les sols à texture grossière, une fois détaché, les particules d'argile sont facilement éliminées par le ruissellement en raison de leur taille réduite. Les sols limoneux dérivés du matériau de base du loess constituent le type de sol le plus érodables. [[Morgan, 2009](#)] [[Blanco and Lal, 2010](#)]

### **I.6.2. La structure**

La structure du sol, la disposition architecturale des particules de sol, confinent les espaces poreux, les entités biologiques et des agrégats de différentes tailles, formes et stabilité La capacité du sol à résister à l'érosion dépend de sa structure.

Sols mal structurés sont plus détachables, instables et susceptibles de se compacter, ont donc une faible infiltration d'eau et des taux de ruissellement élevés La structure du sol étant un terme qualitatif, des paramètres connexes tels que l'infiltration d'eau, la perméabilité à l'air et la dynamique de la matière organique du sol sont utilisés comme indicateurs du développement structurel du sol. L'évaluation des propriétés structurelles des agrégats est également une approche utile, à condition que la stabilité structurelle du sol au niveau des agrégats détermine les attributs structurels à l'échelle macroscopique de l'ensemble du sol pour résister à l'érosion.

[[Blanco and Lal, 2010](#)]

### **I.6.3. L'étanchéité de la surface**

L'étanchéité en surface est l'une des principales causes du faible taux d'infiltration d'eau et des risques élevés de ruissellement et d'érosion du sol. Résultats d'étanchéité de surface de l'effet combiné de l'impact des gouttes de pluie sur la surface du sol et la défloculation des particules d'argile. Initialement, l'impact de la pluie brise les surfaces exposées des agrégats du sol et disperse l'argile, créant une couche mince et compacte de fines particules éteintes à la surface du sol, appelées joints d'étanchéité de surface. Les particules fines retenues remplissent et obstruent les pores du sol qui conduisent l'eau, ce qui diminue considérablement le taux d'infiltration et augmente le ruissellement de surface et le transport du sol. Le processus de formation des joints de surface est complexe et dépend de la quantité de pluie, de l'intensité, du taux de ruissellement, des conditions de surface du sol (par exemple, du paillis de résidus), de la classe de texture du sol, du couvert végétal et de la gestion du travail du sol. Une fois secs, les joints superficiels forment des croûtes d'une épaisseur comprise entre 0,1 et 5 cm. [[Blanco and Lal, 2010](#)]

### **I.6.4. Propriétés d'agrégat**

L'adhérence des particules primaires du sol les unes aux autres plus fortement que les particules du sol voisines crée un agrégat. Les attributs des agrégats sont importants pour comprendre et modéliser les processus d'érosion des sols, en particulier dans les sols bien agglomérés. Les propriétés du sol en ce qui concerne la stabilité et l'érodabilité sont souvent évaluées en utilisant de grands échantillons plutôt que des unités structurelles ou des agrégats discrets. Les propriétés structurelles des agrégats, telles que la stabilité, la résistance, la densité, la capacité de sorption et la mouillabilité, affectent l'érodabilité du sol. [[Blanco and Lal, 2010](#)].

### **I.6.5. La stabilité**

La stabilité fait référence à la capacité d'un agrégat à résister aux forces destructives appliquées (gouttes de pluie, par exemple). C'est une fonction des forces de cohésion qui maintiennent les particules primaires ensemble. Le détachement du sol par les précipitations dépend de la capacité des agrégats de surface à résister à l'énergie perturbatrice des gouttes de pluie. L'énergie des gouttes de pluie doit surmonter l'énergie de cohésion de l'agrégat pour le désintégrer.

La stabilité des agrégats est fonction de la texture du sol, de sa teneur en matière organique, de sa capacité d'échange de cations (CEC), présence d'agents de cimentation, systèmes de travail du sol et de culture, l'épandage de fumier, et gestion des résidus [[Blanco and Lal, 2010](#)]

### I.6.6. La résistance

La force des agrégats est une propriété dynamique qui affecte l'érodabilité du sol. L'une des propriétés mécaniques les plus utiles des agrégats est la résistance à la traction, qui désigne la force nécessaire pour casser un agrégat. Il s'agit d'une mesure des forces de liaison inter et intra-agrégats et de la quantité d'agrégation du sol. En fonction du sol et de la gestion, les agrégats secs à l'air des sols labourés à la suite de la reconsolidation ont tendance à avoir une résistance à la traction supérieure à celle des sols nus. Cependant, la résistance à la traction plus élevée ne se traduit pas toujours par une plus grande stabilité des agrégats car, lors du tamisage par voie humide, les agrégats séchés à l'air provenant de sols labourés s'effondrent rapidement malgré leur résistance à sec élevée. [Blanco and Lal, 2010]

### I.6.7. La Densité

Les sols compactés ont souvent un faible nombre de macrospores, une densité apparente élevée, une faible infiltration d'eau et des taux de ruissellement élevés. La gestion du travail du sol et des résidus et l'application de fumier ont une incidence sur la densité globale. En raison de la consolidation rapide après le travail du sol concomitante avec la faible teneur en matière organique du sol, les sols labourés ont généralement une densité globale plus élevée et un nombre de macrospores plus faible que les sols sans labour. L'augmentation de la teneur en matière organique et de la bioturbation dans le semis direct dilue la densité globale et augmente la macroporosité du sol, ce qui est important pour augmenter le taux d'infiltration d'eau et réduire les taux de ruissellement. [Blanco and Lal, 2010]

Il a aussi insisté sur l'influence de cette densité sur la croissance des racines. Qui à son tour selon [Gyssels et al., 2005] a une influence négative sur l'érosion

### I.6.8. La Mouillabilité

La mouillabilité est la capacité d'un sol à absorber de l'eau. Certains agrégats de sol présentent une légère hydrofugation du fait de la surface recouverte de matière organique du sol, exsudats dérivés et substances humiques formant des films de surface hydrophobes. [Chenu et al., 2000].

## I.7. Effet de la pente

Lorsque la pente devient plus raide, le coefficient de ruissellement augmente, l'énergie cinétique et la capacité de charge des écoulements en surface augmentent, la stabilité du sol diminue, l'érosion due aux éclaboussures augmente et la possibilité de déplacement du sol dans une direction en descente pendant le labour est plus grande. Ainsi, la probabilité d'érosion du sol augmente avec la pente croissante de la pente.

Ceci peut également être vu à partir de l'équation de base pour l'accélération d'un corps tombant,

$$v = \sqrt{2gh} \dots \dots \dots (I.9)$$

Où

- v est la vitesse finale,
- g l'accélération due à la pesanteur (9,8 m s<sup>-1</sup>)
- h la hauteur de chute. En conséquence,

Si la hauteur de chute du haut vers le bas de la pente est multipliée par quatre, la vitesse de l'écoulement de l'eau, indépendamment du frottement, augmente deux fois. Si la vitesse de l'eau double, l'énergie cinétique (proportionnelle au carré de la vitesse) augmente de quatre fois, mais

le volume de particules emportées est multiplié par 64. De même, si le débit massique d'eau double, l'énergie cinétique ( $KE = mv^2/2$ ) double également.

La longueur de la pente est importante principalement en ce qui concerne l'augmentation du débit d'eau sur les pentes et le degré de confluence. À mesure que la quantité d'eau et son degré de confluence augmentent, la vitesse et la capacité de transport changent. Malheureusement, La recherche sur l'érosion n'a pas encore accordé beaucoup d'attention à ces questions, principalement parce que les relations mathématiques entre les pertes par érosion et la longueur de la pente reposent sur des données provenant de placettes à écoulement relativement court.

Certains résultats bien connus obtenus par [Bennett, 1939] montrent que les pertes de sol n'augmentent pas toujours proportionnellement à la longueur de la pente. Des situations ont été connues, dans lequel les pertes par érosion diminuaient avec l'augmentation de la longueur de la pente. Cela est peut-être due à l'utilisation de méthodes inadéquates qui ne tiennent pas compte de l'effet de transport érosif ; il a été trouvé en même temps, qu'avec l'augmentation de la distance en aval de la pente, la proportion de ruissellement de surface avait diminué ou avait peu changé.

Les variations combinées de longueur et d'inclinaison de la pente déterminent sa configuration, ce qui est un facteur important régissant le modèle d'érosion et les pertes par érosion. . Sur une pente droite, l'érosion du sol dépend principalement de la pente et de la longueur. Plus la pente est courte, plus la quantité totale de sol érodé est petite, mais le sol érodé représente une proportion relativement plus grande de la quantité totale de sol, et inversement. Sur les longues pentes, une forte érosion se produit principalement lors de fortes averses, mais les pertes totales dépendent du rapport entre la durée du ruissellement et le déplacement global du sol érodé.

L'érosion devrait normalement s'accroître avec l'accroissement de la pente et de la longueur de la pente, en raison de l'augmentation respective de la vitesse et du volume du ruissellement. En outre, alors que sur une surface plane, les gouttes de pluie projettent des particules de sol de manière aléatoire dans toutes les directions, sur un sol en pente, plus de sol est projeté vers le bas que vers le haut, la proportion augmentant à mesure que la pente s'accroît. La relation entre l'érosion et la pente peut être exprimée par l'équation :

$$E = \tan^m \cdot \theta \cdot L^n \dots\dots\dots(I.10)$$

Où

- E est la perte de sol par unité de surface,
- $\theta$  est l'angle de la pente
- L est la longueur de la pente

[Zingg, 1940], Dans une étude de données provenant de cinq stations expérimentales du service de conservation des sols des États-Unis, a révélé que la relation avait la forme suivante :

$$E = \tan^{1.4} \cdot \theta \cdot L^{0.6} \dots\dots\dots(I.11)$$

Pour exprimer E proportionnellement à la distance en aval, la valeur de n doit être augmentée de 1,0. Puisque les valeurs des exposants ont été confirmées pour m par [Musgrave, 1947] et m et n par [KIRKBY, 1969], certains éléments de preuve suggèrent que l'équation de [Zingg, 1940] a une validité générale. D'autres études montrent cependant que les valeurs sont sensibles à l'interaction d'autres facteurs.

[Zachar, 1982a], [Morgan, 2009]

De nombreux chercheurs ont travaillé sur la relation de la pente avec d'autres paramètres qui affecte l'érosion des sols par exemple Liu qui a étudié dans [Liu et al., 2001] la variance des paramètres influençant l'érosion comme la profondeur, l'excès net de pluie, la profondeur d'eau, la contrainte de cisaillement des écoulements en surfaces et la capacité d'érosion des sols avec le gradient de pente, en utilisant la théorie des ondes cinématiques. Cette analyse montre que le gradient de pente critique de l'érosion dépend de taille du grain, la densité du sol, la rugosité de surface, la longueur du parcours d'eau. Et à trouver que le gradient de pente critique théoriquement estimé dans l'intervalle de 41° à 50°.

[Liu et al., 2000] Qui a étudié l'effet de la longueur de pente sur les pertes de sol pour les pentes abruptes, et la relation de ce paramètre sur les modèles empiriques dans l'équation universelle de perte de sol (USLE) et l'équation révisée de perte de sol universelle (RUSLE). Le but de son travail est d'évaluer la relation entre la perte de sol et la longueur de la pente pour les pentes raides (jusqu'à 60%). Les résultats de cette recherche indiquent que l'exposant  $m$  de l'équation USLE et RSLE est égal à 0.5.

[Fu et al., 2011] Son travail consiste à étudier l'effet du gradient de pente sur l'érosion et déterminer la contribution splash à l'érosion interrigoles sur les courtes pentes raides, en utilisant un dispositif expérimental qui permet d'effectuer des mesures simultanées d'érosion d'interril et splash à plusieurs gradient de pente de 9° à 100° avec une intensité constante. Ces résultats indiquent que les pertes d'éclaboussure de pente ascendante étaient un élément très important de la perte totale de l'érosion splash, et que le transport par éclaboussures constitue une partie importante de l'apport sédimentaire entre couches sur les courtes pentes raides.

### **I.8. Effet de la couverture végétale**

La végétation agit comme une couche protectrice ou un tampon entre l'atmosphère et le sol. Les composants en surface, tels que les feuilles et les tiges, absorbent une partie de l'énergie des gouttes de pluie, de l'eau courante et du vent, de sorte que moins de matériaux sont dirigés vers le sol, tandis que les composants sous-sol, comprenant le système racinaire, contribuent à la résistance mécanique du sol.

La végétation est d'une importance vitale pour la protection du sol contre l'érosion par les précipitations. Il protège le sol contre l'action des gouttes de pluie, accroît le degré d'infiltration d'eau dans le sol, maintient la rugosité de la surface du sol, réduit la vitesse de ruissellement, lie mécaniquement le sol, diminue les fluctuations microclimatiques dans les couches les plus hautes de le sol et améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Lorsqu'il existe des conditions favorables à la formation d'un couvert végétal continu, l'étendue de l'érosion est bien inférieure aux niveaux nocifs. Lorsque les conditions sont moins favorables à la croissance de la végétation naturelle, l'effet protecteur d'un couvert végétal peut très facilement être perdu du fait de l'interférence de l'homme.

L'importance de la couverture végétale dans la réduction de l'érosion est démontré par l'expérience de la gaze de moustique Hudson et Jackson (1959) [Hudson and Jackson, 1959], dans lesquels la perte de sol était mesurée à partir de deux parcelles nues identiques sur un sol de limon argileux. Sur une parcelle, une fine toile métallique a été suspendue, ce qui a eu pour effet de briser la force des gouttes de pluie, d'absorber leur impact et de permettre à l'eau de tomber au sol d'une faible hauteur sous forme de fines gouttelettes. La perte annuelle moyenne



de sol sur une période de dix ans était de 126,6 t ha<sup>-1</sup> pour la parcelle ouverte et de 0,9 t ha<sup>-1</sup> pour la parcelle recouverte de gaze.

Bien que de nombreuses mesures de l'érosion aient été effectuées sous différentes couvertures végétales à des fins de comparaison avec celles d'un sol nu, il existe peu d'accord sur la nature de la relation entre la perte de sol et les modifications de l'étendue de la couverture. [Elwell, 1981] A préconisé une diminution exponentielle de la perte de sol avec un pourcentage croissant d'interception d'énergie de pluie et donc un pourcentage de couverture croissant. Wischmeier (1975) [Wischmeier, 1975] a suggéré que cette relation s'applique aux couvertures en contact direct avec la surface du sol et a été vérifiée expérimentalement pour les résidus de récolte et les couvertures herbeuses. La relation peut être décrite par l'équation :

$$SLR = e^{-j \cdot pc} \dots\dots\dots(I.12)$$

Où

- SLR est le rapport entre la perte de sol avec la couverture végétale et celle du sol nu
- PC est le pourcentage de couverture
- j varie en valeur de 0,025 à 0,06, avec 0,035 pris comme typique

[Morgan, 2009], [Zachar, 1982a]

Une couverture végétale dissipe l'énergie de l'eau courante en donnant une rugosité à l'écoulement, réduisant ainsi sa vitesse. Dans la plupart des travaux de conservation du sol, la rugosité est exprimée par la valeur de n de Manning, qui représente la somme des rugosités conférées par les particules du sol. Les valeurs typiques du n de Manning sont données dans le tableau [Petryk and Bosmajian III, 1975], [Temple, 1982], [Engman, 1986].

Le niveau de rugosité avec différentes formes de végétation dépend de la morphologie et de la densité des plantes, ainsi que de leur hauteur par rapport à la profondeur de l'écoulement. Lorsque la profondeur de l'écoulement est faible, comme pour l'écoulement en surface, la végétation est relativement rigide et confère un degré élevé de rugosité, représenté pour les graminées par des valeurs n comprises entre 0,25 et 0,3. Au fur et à mesure que la profondeur du flux augmente, les tiges d'herbe commencent à osciller, perturbant le flux et entraînant une augmentation des valeurs de n à environ 0,4. Avec une augmentation supplémentaire de la profondeur du flux, la végétation est submergée ; les plantes ont tendance à se coucher dans le flux et offrent peu de résistance, de sorte que les valeurs de n diminuent rapidement (Ree 1949) [Ree, 1949].

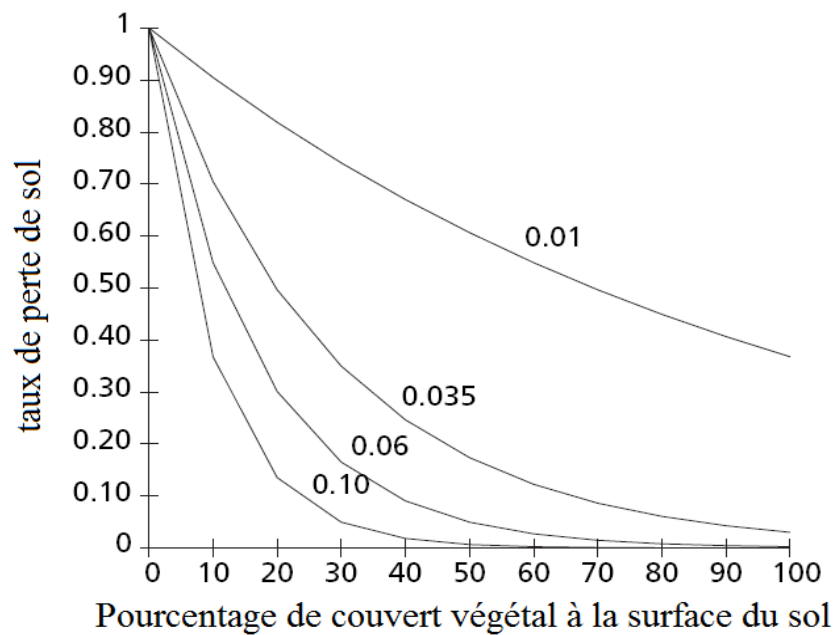


Figure I.2 Relation entre la valeur du rapport de la perte de sol (SLR) et pourcentage de couvert végétal à la surface du sol. Les courbes représentent différentes valeurs de  $j$  [Morgan, 2009]

Tableau I.3 Valeurs de coefficient de rugosité de Manning Source : d'après Petryk et Bosmajian (1975), Temple (1982), Engman (1986). [Morgan, 2009]

L'utilisation des terres	Valeur de Manning
Sol nu	
Profondeur de rugosité <25mm	0.010–0.030
Profondeur de rugosité 25–50mm	0,014–0,033
Profondeur de rugosité 50–100mm	0.023–0.038
Profondeur de rugosité > 100mm	0.045–0.049
Graminée des Bermudes - peu dense à bonne couverture	
Très court (<50mm)	0,015–0,040
Court (50–100mm)	0,030–0,060
Moyenne (150–200mm)	0,030–0,085
Long (250–600mm)	0,040–0,150
Très long (> 600mm)	0.060–0.200
Herbe des Bermudes - couverture dense	
Autres graminées denses formant de la pelous	0,390–0,630
Graminées touffues	0,150
Kudzu	0.070–0.230
Lespedeza	0,100
Parcours naturels	0.100–0.320
Parcours clippé	0,020–0,240
Paillis de blé	

2,5 tha-1	0,050–0,060
5,0 tha-1	0,075–0,150
7,5 tha-1	0,100–0,200
10.0 tha-1	0.130–0.250
Tiges de maïs hachées	
2,5 tha-1	0,012–0,050
5,0 tha-1	0,020–0,075
10.0 tha-1	0.023–0.130
Coton	0,070–0,090
Blé	0,100–0,300
Sorgho	0,040–0,110
Béton ou asphalte	0,010–0,013
Surface gravelée	0.012–0.030
Sol labouré au burin	
0,6 tha-1 résidu	0,006–0,170
0,6–2,5 tha-1 résidu	0,070–0,340
2,5–7,5 tha-1 résidu	0,190–0,470
Sol de herse à disques	
<0,6 tha-1 résidu	0,008–0,140
0,6–2,5 tha-1 résidu	0,100–0,250
2,5–7,5 tha-1 résidu	0,140–0,530
sol non labouré	
<0,6 tha-1 résidu	0,030–0,070
0,6–2,5 tha-1 résidu	0,010–0,130
2,5–7,5 tha-1 résidu	0,160–0,470
Sol dénudé et labouré par des versoirs	0.020–0.100
Sol nu labouré avec des socs	0.050–0.130

Les couvertures forestières aident généralement à protéger les terres contre les mouvements de masse, en partie grâce à l'effet de cohésion des racines des arbres. Les racines fines, de 1 à 20 mm de diamètre, interagissent avec le sol pour former un matériau composite dans lequel des fibres racinaires de résistance à la traction relativement élevée renforcent une matrice de sol de résistance à la traction inférieure. De plus, la force du sol est augmentée par l'adhésion des particules de sol aux racines. Les racines peuvent contribuer de manière significative à la cohésion d'un sol, même à de faibles densités de racines et dans des matériaux à faible résistance au cisaillement [Morgan, 2009]

Plusieurs chercheurs travaillant sur l'influence de la végétation sur l'érosion comme [Liu et al., 2018] qui a fait un résumé sur les effet de la végétation sur le ruissellement et la perte en sol en utilisant une analyse multidimensionnelles (la structure de végétation verticales, la diversité végétal, la structure de la végétation et leur caractéristiques d'échelles). Et voir les relations de la végétation et l'érosion des sols dans les différentes recherches à travers plusieurs recherches dans plusieurs pays comme Chine, Portugal, Espagne, Kenya, Loess, USA, Germany, Australie, Italie.

[[Yang et al., 2012](#)] Qui a utilisé un prototype expérimental de pente pour étudier l'efficacité du couvert végétale sur le ruissellement et la sédimentation, sou 3 types de végétation : pente nu, pente de gazon artificiel et pente de restauration écologique avec un gradient de pente de 20°, les résultats de cette recherche montre que

- dans les mêmes conditions de ruissellement, la pente de restauration écologique a une réduction plus évidente de l'érosion et du ruissellement que celle de la pente du gazon artificielle comparé à la pente nu.
- La couverture en surface du feuillage et des croutes biologique a joué un rôle important dans l'augmentation de l'infiltration et retardé le ruissellement.

Kosmas a étudié dans [[Kosmas et al., 1997](#)] l'effet de l'utilisation de la couverture des terres sur le taux de ruissellement et l'érosion dans le climat méditerranéennes dans 8 sites différentes dans la région nord Portugal, Espagne, France, Italie, Grèce, il a constaté que l'utilisation des sols peut avoir un effet important sur le ruissellement et l'érosion des sols. Et dans [[Kosmas et al., 2000](#)] qui a travaillé sur la lisant entre la texture, la profondeur du sol, la topographie, les condition climatiques et la performance de la végétation et le degré d'érosion. Il a trouvé que la couverture végétale augmente avec l'augmentation de la précipitation et de la profondeur du sol, le gradient de la pente à un effet variable sur l'érosion les différentes zones climatiques, l'érosion diminue avec l'augmentation de la précipitation pour les mêmes classes de pente.

[[Abrahams et al., 1995](#)] A étudié les effets du changement du couvert végétal sur le ruissellement et l'érosion dans le sud d'Arizona. En utilisant des expériences sur le terrain dans les petites et les grandes parcelles de ruissellement. Les résultats de ce travaille indique que les changements de végétation entraînent une augmentation du ruissellement et de l'érosion dans les zones interalliés en diminuant la résistance aux écoulements en surface, diminution de l'infiltration du ruissellement augmente l'hétérogénéité spatiale du couvert végétal, et éventuellement augmenter la sensibilité du sol à l'action du gel.

## I.9. Erosion en Algérie

Le groupe intergouvernemental sur le changement climatique(IPCC) (Milly et al, 2005) montre que l'Algérie est l'un des pays qui connaîtra un sérieux problème de ressources en eau -10% à -40% Dans la disponibilité de l'eau dans la période 2090-2099 [[Bates, 2009](#)]

Le rapport régional sur la gestion des sédiments dans les barrages en méditerranée indique que l'Algérie a une perte important 14 % de la capacité disponibles des barrages presque la capacité du barrage de Beni Haroun [[IME, 2010](#)]

C'est dans cette optique qu'il excite plusieurs recherches précédente ont démontré qu'il y a un problème sérieux d'érosion dans l'Algérie comme :

[[Demmak, 1982](#)] :

Son travail a le but d'améliorer la compréhension du phénomène de l'érosion et le transport solides dans le climat méditerranéen et semi arides et élaboration d'outils pratique et susceptibles de répondre aux besoins de la planification et la conception et la gestion des aménagements hydraulique

Ses résultats de transport solide spécifique moyen annuel des cours d'eau varient de 30 à 5000 T/km<sup>2</sup>/an, avec une turbidité moyenne annuelle de 1 à 40 g/l.

[[DEMMAK, 1984](#)]:

Demmak a trouvé que la lithologie, la fréquence des précipitations supérieures à un seuil données, la densité du réseau hydrographique, sont les principaux facteurs de l'érosion et du transport solides à l'échelle du bassin versant.

Et que l'analyse des données de 30 bassins versants dans la période de 1970 – 1980 aide à déduire une relation empirique

$$TSS = 26.62IL + 8.07IP + 9.77CT - 593.56 \dots \dots \dots (I.13)$$

Où

- $TSS$  : transport solides spécifique moyenne ( $t/km^2/an$ ).
- $IL$  : indice lithologique
- $IP$  : indice d'énergie de ruissellement.
- $CT$  : coefficient de torrencialité = densité de drainage  $\times$  fréquence des thalwegs élémentaires.

Et que cette relation permet de simuler correctement des transports solides spécifiques moyens annuels dans les bassins versants variant de 100 à 3000  $km^2$ .

[[DEMMAK et al., 1991](#)]:

Demmak basé sur le micro bassin représentatif et expérimental comme outil d'analyse et de quantification dans le but d'améliorer les connaissances acquises sur les causes et les mécanismes de l'érosion en zone semi arides.

Dans le bassin versant de l'oued Isser l'auteur a utilisé plusieurs micro bassins expérimentaux, le taux d'abrasion varie entre 400 – 4900  $t/km^2/an$ , et la concentration moyenne annuelle varie entre 50-300 g/l.

[[Kassoul et al., 1997](#)] :

Son travail consiste à utiliser les informations de topographie et bathymétrie de 19 barrages algériens situés dans les bassins versants répartis sur l'ensemble du territoire, dans l'objectif de mettre au point un modèle simple d'évaluation du débit solide accumulé, et mettre en point un abaque de classification basé sur trois facteurs : la superficie, l'indice d'altitude et le coefficient d'écoulement.

[[Meddi et al., 1998](#)] :

Son travail consiste à l'application des différents modèles existants de prévision de la dégradation spécifique et voir les erreurs de l'estimation de chaque modèle dans les pays de Maghreb arabe.

[[Terfous et al., 2001](#)] :

Son travail est basé sur l'analyse graphique de la relation entre les valeurs instantanées des débits solides et les débits liquides dans la période 1977-1993 de l'oued Mouilah. Cette analyse montre qu'il y a 2 périodes d'érosion : l'automne et le printemps, et a trouvé que la contribution moyenne annuelle des sédiments en suspension est de 335000 tonnes et le taux d'érosion du sol est de 126  $t/km^2/an$ .

[[Benkhaled and Remini, 2003](#)] :

Cette étude a été réalisé sur la base des données de débit journaliers liquides et la concentration des matières en suspension ans l'oued Wahrane dans le période 1972-1989 pour déterminer la variation des paramètres a et b de l'équation puissance  $Y = aX^b$ .

[[Bouchelkia and Remini, 2003](#)] :

L'auteur dans cette étude s'intéresse au transport solide en suspension transitant par les stations de jaugeage dans le bassin versant Cheliff sur un pas de temps annuelle, saisonnière et dans la saison humide et sèche sur une période de 24 ans (1972-1996). En utilisant la relation  $Q_S = KQ_L$ , ses résultats obtenu montre que les apports solide en hiver sont abondantes et régulier, et la quantité des sédiments se situe entre  $8.10^6 - 38.10^6$  ton/ an, ce qui montre que l'érodabilité du bassin et très élevée.

[[Ghenim et al., 2007](#)] :

Son travail et sur l'analyses des variations des débits solide en relation avec les débits liquides pendant la période 1985 – 1998 dans le bassin versant de l'oued Sebdou dans le grand bassin versant Tafna, en utilisant la relation puissance  $Q_S = aQ_L^b$ .

L'auteur a trouvé que la dégradation spécifique moyenne annuelle et relativement forte par rapport ou autre bassin versant qui a un même régime hydrologique.

[[Megnounif et al., 2007](#)] :

Les auteurs dans cette recherche s'appuie sur une analyses détaillé des débite liquides et des charge solides en suspension mesuré a l'exutoire du bassin versant de la haute Tafna, pour comprendre les mécanismes conduisant au transport solide ou au dépôt des sédiments. Les auteurs analysent l'évaluation de la charge en sédiment en suspension en fonction de la variété du débit en différentes pas de temps.

Cette étude révèle l'accroissement de l'aridité augment le potentiel érosif.

[[Khanchoul et al., 2009](#)] :

Son travail et une évaluation du rendement des sédiments en suspension dans le bassin versant Mellah dans le nord-est de l'Algérie en utilisant les données de 24 ans de concentration des sédiment en suspension est les débit liquides avec la relation puissance, en utilisant une et deux ligne de régression dans tous la période d'études dans saison de l'hiver et printemps et l'été (dans la période de pluie).

[[BOUCHELKIA et al., 2014a](#)] :

Les auteurs dans cette étude utilisé 2 relation puissance  $Q_S = kQ_L^b$  et  $Q_{CS} = kQ_L^b$  dans le bassin versant de Mouillah, au but de déterminer une relation pour les périodes : humides er sèche et dans tous les saison et sur un pas de temps annuelle pendant la période 1974 – 1999, pour déterminer des modèles adéquats entre le débit liquides et solides et la concentration des matières en suspension et estimer la masse sédimentaires. L'autre à trouver que dans l'hiver les apports solides sont plus important  $3,04. 10^4$  tons.

[[Bouanani et al., 2013](#)] :

Dans cette étude les auteurs porte sur la quantification du transport solides et du taux d'érosion et la détermination du périodes d'érosion active et la recherche d'un model reliant le débit

solides au débit liquides dans le bassin versant de l'oued sikkak partie du grand bassin versant Tafna dans la période 1972 – 1990, et sur un pas de temps annuels et mensuel et saisonniers l'autre trouver qu'il a deux période d'érosion active.

[[Toumi, 2013](#)] :

Dans ce travail l'auteur a utilisé une technique nucléaire et la télédétection pour étudier l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued mina dans le nord-ouest de l'Algérie partie du grand bassin versant Chélif. Il a utilisé l'équation Universal des pertes en sols USEL avec 6 paramètres spécifiques qui décrivent les caractéristiques du bassin versant en utilisant le SIG et la télédétection, et une autre méthode basé sur la distribution de radio-isotope  $C_s^{137}$  pour valider les résultats.

[[Megnounif et al., 2013](#)] :

L'auteur dans cette étude a utilisé une nouvelle méthode d'analyses graphique basé sur les caractéristiques des boucles d'hystérésis, d'une période de 31 ans 1973-2004 dans le bassin versant de wadi Sebdou au nord-ouest de l'Algérie.

Cette méthode graphique appliqué dans le travail permet de :

1. Élucider la relation entre les types d'hystérésis C - Q et les sources des sédiments dans le bassin hydrographique
2. Fournir une explication graphique simple pour chaque type
3. Estimer la contribution de différentes sources de sédiment à l'échelle de l'événement

Son application permis de mieux comprendre la dynamique des flux solides durant les crues

[[Meddi et al., 2016](#)]

Le but de l'auteur dans cette étude et de développer un modèles d'estimation de l'érosivité des pluies basé sur l'indice de fourrier modifier (MFI), longitudes, latitudes et les précipitation quotidiennes pour produire une carte de distribution spatiale de l'érosivité le nord de l'Algérie L'auteur à trouver que l'érosivité dans le Nord de l'Algérie varie entre 37–905  $Mj.mm.ha^{-1}.an^{-1}$

[[Zettam et al., 2017](#)]

Son travail consiste a utilisé le model SWAT (Soil and Water Assessment Tools) pour évaluer la contribution des différents compartiments du bassin aux eaux de surface et l'impact des barrages dur le stockage de l'eau et des sédiments, dans le grand bassin versant Tafna. La modélisation hydrologique a donnée des bons résultats pour les débits liquides dans la période (2003 – 2011), et pour les débits solides (2003 – 2006). Sur un pas de temps journalier NSE entre (0.42 – 0.75)  $R^2$  entre (0.25 - 0.84).

## **I.10. Modélisation de l'érosion**

La modélisation de l'érosion est importante à comprendre les processus régissant l'érosion des sols, pour identifier ou choisir les mesures appropriées pour lutter contre l'érosion. Et prévoir les taux de ruissellement et d'érosion des sols. La modélisation permet de :

- ✚ compréhension des processus d'érosion,
- ✚ l'évaluation des impacts sur site et hors site sur la productivité des sols et la pollution de l'eau et de l'air à grande échelle,
- ✚ l'identification de stratégies de contrôle de l'érosion,
- ✚ l'évaluation de la performance des pratiques de conservation des sols pour réduire l'érosion hydrique et éolienne

Des modèles bien développés et bien calibrés fournissent de bonnes estimations des risques d'érosion des sols [Blanco and Lal, 2010]

Tableau I.4 les types de modèles [Morgan, 2009]

Type	La description
Physique	modèles de matériel à échelle réduite généralement construit dans le laboratoire ; besoin d'assumer une similitude dynamique entre le modèle et le monde réel.
Analogue	Utilisation de systèmes mécaniques ou électriques analogues au système sous enquête, par exemple. flux d'électricité utilisé pour simuler le flux d'eau
Numérique	Basé sur l'utilisation d'ordinateurs numériques pour traiter de grandes quantités de données.
A) sur une base physique	Basé sur des équations mathématiques pour décrire les processus impliqués dans le modèle, en tenant compte des lois de la conservation de la masse et de l'énergie
B) Stochastique	Basé sur la génération de séquences synthétiques de données à partir des caractéristiques statistiques des données d'échantillons existantes ; utile pour générer des séquences d'entrée pour des modèles empiriques et à base physique où les données ne sont disponibles que pour de courtes périodes d'observation.
C) Empirique	Basé sur l'identification de relations statistiquement significatives entre des variables supposées importantes lorsqu'il existe une base de données raisonnable. Trois types d'analyses sont reconnus : i) boîte noire, où seulement les données entrées et sorties principales sont étudiées. ii) boîte grise, où certains détails du fonctionnement du système sont connus. iii) boîte blanche, où tous les détails du fonctionnement du système sont connus.

Il existe Plusieurs modèles dans le but de prévoir la quantité des apports solides au bassin versant La plus part d'entre elles se fondent sur les paramètres influençant l'érosion comme

**1. AGNPS** : agricultural non-point source pollutinet model et un system commun de modèles informatique développé par USDA et le service de recherche agricole ARS, et le service de conservation des ressources naturelles pour prédire les changer de polluant de source non ponctuelle dans les bassin versants agricoles. Le modèle basé sur les évènements, et utilise des cellules géographique de résolution de 0.4 -16 ha. Le modèle dans le cadre de cellule peu caractérisé et simuler et acheminés vers la sortie le ruissellement, le processus de transport des sédiment, des nutriment et la demande chimique en oxygène [Young et al., 1989].

**2. ANSWERS** : Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation a été développé dans le but de fournir les informations sur les effets de l'utilisation de la couverture la terre, la gestion des pratiques ou structure et la qualité et la quantité d'eau dans bassin versant agricoles et non agricoles. La structure générale comprend un modèle hydrologique, un modèle de détachement, de transport solide et plusieurs composants de routage nécessaires pour décrire le mouvement d'eau en surface [Beasley et al., 1980], [Beasley and Huggins, 1981].



**3. CREAMS** : Chemicals/ Runoff, and Erosion From Agricultural Management Systems le model contient trois composantes principales l'hydrologie, l'érosion et la chimie. La composante hydrologique estime le volume le taux de ruissellement, l'évapotranspiration, a teneur en humidité du sol et la percolation. Et dans la partie érosion/sédimentation le modèle prend en compte les processus de détachement, le transport solide et le dépôt des sédiment [[Knisel, 1980](#)].

**4. EPIC** : The erosion-productivity impact calculator un modèle mathématique développé pour déterminer la relation entre l'érosion du sol et la productivité du sol. Les composante du modèle son regroupé dans neuf grandes division : l'hydrologie, la météo, l'érosion, nutriment, la température du sol, les conditions des plantes, labourage, contrôle de l'environnement des plantes et l'économie [[Williams, 1990](#)].

**5. EUROSEM** : The European Soil Erosion Model un modèle capable de simuler le transport sédiment, l'érosion et les dépôts sur les surface du sol par des processus de rigoles et interrigoles [[Morgan et al., 1998](#)].

**6. KINEROS** : the Kinematic Runoff and Erosion Model et un model physique, distribué orienté vers les évènement, décrivant le processus de ruissellement et l'érosion en surface dans les petits bassin versant agricoles et urbaines [[Woolhiser et al., 1990](#)], [[Goodrich et al., 2012](#)].

**7. LISEM** : Limburg soil Erosion Model l'un des premiers exemples de modèles hydrologique et de l'érosion des sols a base physique, entièrement intégré dans un système d'information géographique, cela facilitera l'application dans les grands bassins versant [[De Roo et al., 1996](#)].

**8. WEPP** : Water Erosion Prediction Project développé par USDA et ARS pour remplacer la technologie empirique de prévision de l'érosion. Le modèle WEPP peut simuler de nombreux processus physique important l'érosion des sols, l'infiltration, le détachement des gouttes de pluie, le dépôt, la croissance des plantes et la décomposition des résidus. [[Flanagan et al., 2007](#)]

**9. USLE** : The Universal Soil Loss Equation un modèle mathématique largement utilisé qui décrit l'érosion des sols, USLE conçu par calculer les pertes du sol moyennes long terme due à l'érosion en nappes et en rigoles dans des conditions spécifiées. Le modèle compose de six facteurs permettant de prédire la perte de sol moyenne annuelle, l'équation comprend le facteur (R) de précipitation et de ruissellement, le facteur (K) d'érodabilité du sol, le facteur (L) de la longueur de la pente, le facteur (S) de l'inclinaison de la pente, le facteur (C) de couverture et de gestion, le facteur (P) de pratique de soutien. [[Wischmeier and Smith, 1978](#)] L'équation prend la forme suivant

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \dots\dots\dots(I.14)$$

**10. RUSLE** : The Revised Universal Soil Loss Equation de nombreux changement ont été apportés à l'estimation de l'érosion par l'équation RUSLE [[Renard et al., 1991](#)], [[Renard et al., 1997](#)]

- informatiser les algorithmes pour faciliter les calcules
- nouvelle valeur de terme pour le facteur (R)
- mis en point d'un terme variant selon les saisons pour le facteur(K)
- une nouvelle approche pour calculer le facteur (C)
- nouveaux algorithmes pour le facteur (LS)
- nouvelles valeurs de pratiques de conservation (P)

**11. MUSLE** : The modifed universal soil loss equation l'équation universelle de perte de sol a été modifié en remplaçant le facteur d'énergie de pluie annuelle par un taux d'écoulement et un facteur de volume pour l'application aux bassins versant l'équation prend la forme suivante [Williams, 1975], [Williams, 1974] :

$$A = 11.8 \times (Q \cdot q_p)^{0.56} \times K \times LS \times C \times P \dots\dots\dots(I.15)$$

Avec Q le volume de ruissellement en  $m^3$

$q_p$  Le taux d'écoulement en pointe en  $m^3/s$

**12. SWAT** : Soil and Water Assessment Tools est un modèle physique sur une base continue qui utilise le pas du temps journalier, à l'échelle des bassins versant, développé par l'USDA. Pour estimer évaluer et prédire l'influence des différent paramètres hydrologiques tel que l'utilisation des couvertures des terres, les types des sols, et les paramètres climatique, sur l'eau, sédimentation, pollution, le transfert des nutriments, la croissance des cultures, de l'environnement et du changement climatique dans les bassins versant [Arnold et al., 1998], [Srinivasan et al., 1998], [Neitsch et al., 2011], [Arnold et al., 2013].

### **I.11. Conclusion :**

Pour attendre l'objective principale de cette étude, l'influence des paramètres hydrologique que la production des sédiments, on choisit le model SWAT puisque ce model nous permettons d'utilisé plusieurs paramètres hydrologique tel que les paramètres physique du bassin versant la topographie, la couverture végétal, les types des sols et les paramètres climatique comme la précipitation, température, vitesse du vent. Pour voir l'impact de ces paramètres sur les apports liquides et solides dans le bassin versant du barrage de Beni Haroun.

A decorative border composed of several curved, feather-like or brushstroke-like elements in shades of gray, framing the central text.

*Chapitre II*

*Présentation*

*de la zone*

*d'étude*

Due à l'importance du barrage de Beni Haroun, Le bassin versant du barrage de Beni Haroun a été choisi comme exemple d'étude dans cette thèse. L'étude du site est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques du lieu et les facteurs qui influencent sur l'érosion.

## II.1. Barrage de Beni Haroun

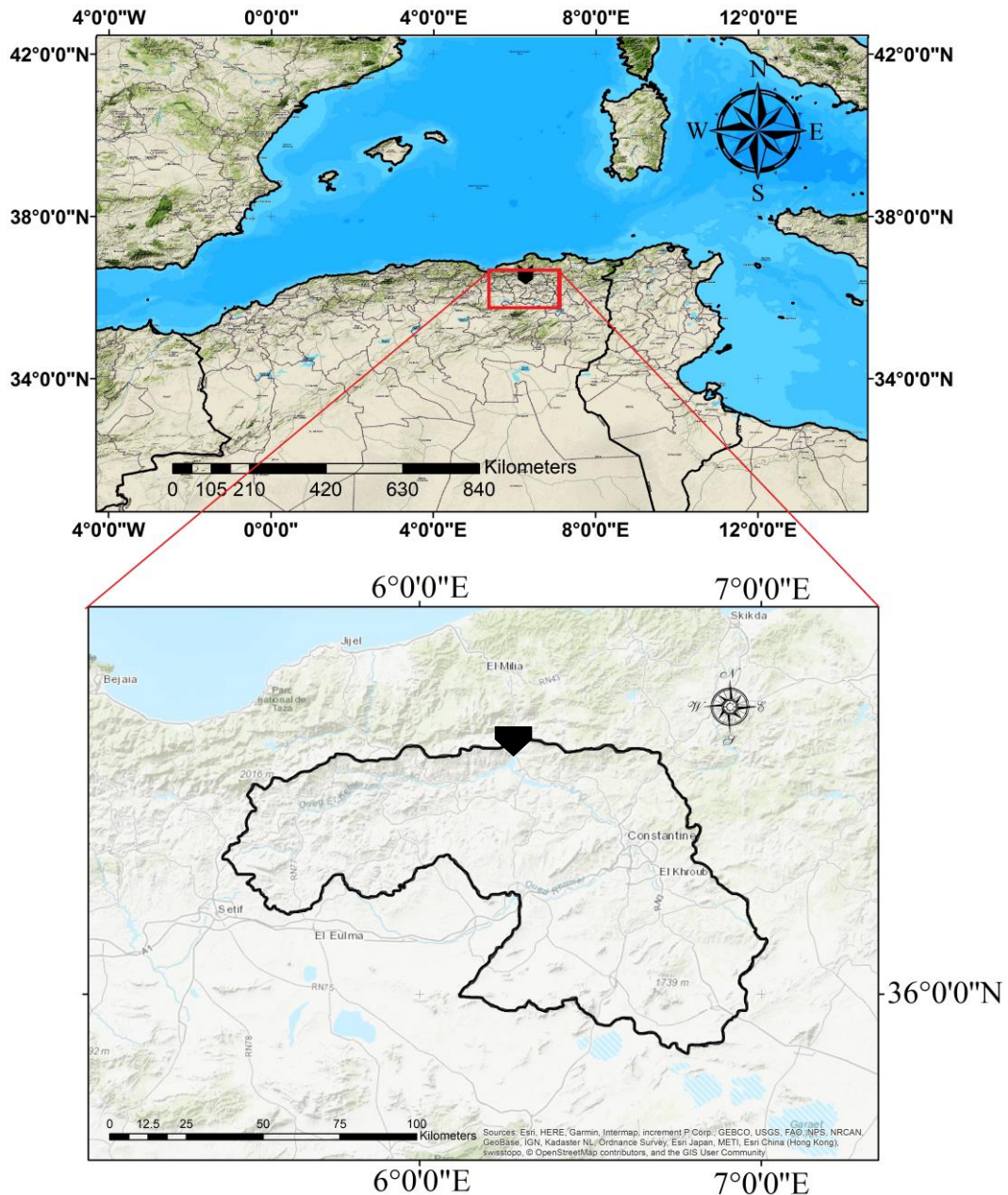


Figure II.1 : situation du bassin versant et du barrage de beni Haroun

La digue du barrage de Beni Haroun est de type rectiligne de poids, en béton compacté roulé (RCC), sur une fondation des roches calcaires [Toumi et al., 2003]. Le barrage situé au nord-est de l'Algérie, il est le plus grand barrage du pays avec une capacité de presque 1 milliard de  $m^3$ , le barrage est alimenté par deux principaux oueds, oued Rhmel par l'est et oued Enndja par l'ouest.

Le barrage de Beni Haroun et ses installations de transfert l'un des méga projets en Algérie [SLAIMI, 2013], qui va alimenter sept willayas à l'horizon future (Jijel, Mila, Constantine, Oum el Bouaghi, Khenchla, Batna, Biskra) et assureront dans un proche avenir l'irrigation de 40000 hectares [ANBT], [Mebarki, 2010], [SOUKEHAL and CHERRAD, 2011]. Figure II.1, II.2

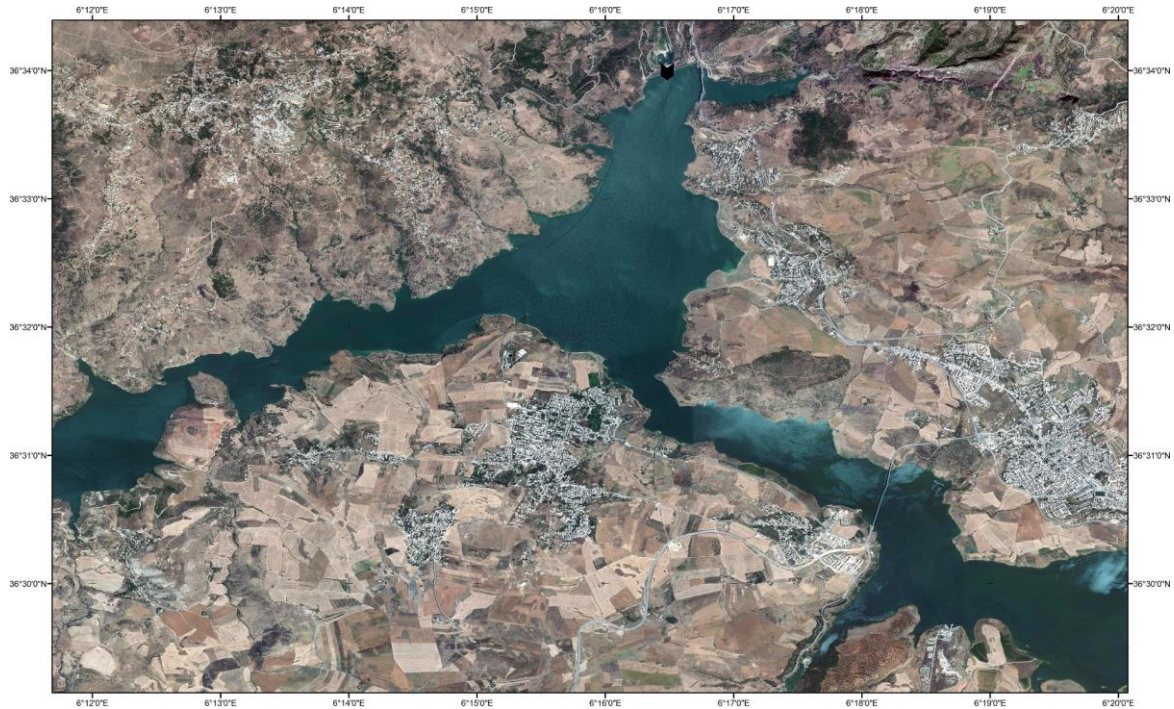


Figure II.2 : la lac du barrage de beni Haroun

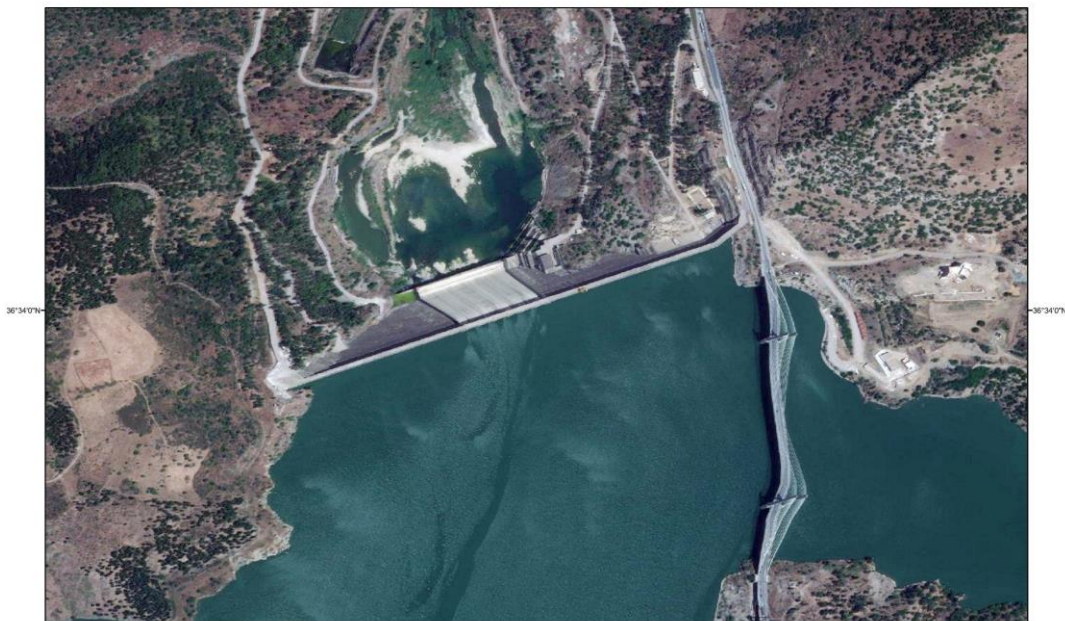


Figure II.3 : la digue du barrage de beni Haroun

## II.2. Bassin versant du barrage de Beni Haroun

### II.2.1 Situation géographique

Le bassin versant du barrage de Beni Haroun se situe au nord-est de l'Algérie, il couvre une superficie de 639464.56 ha (6394.64 km<sup>2</sup>), il est situé entre 5.42153981 E, 35.85967386 N, 7.02042307E, 36.60946372N. Figure II.1, II.4

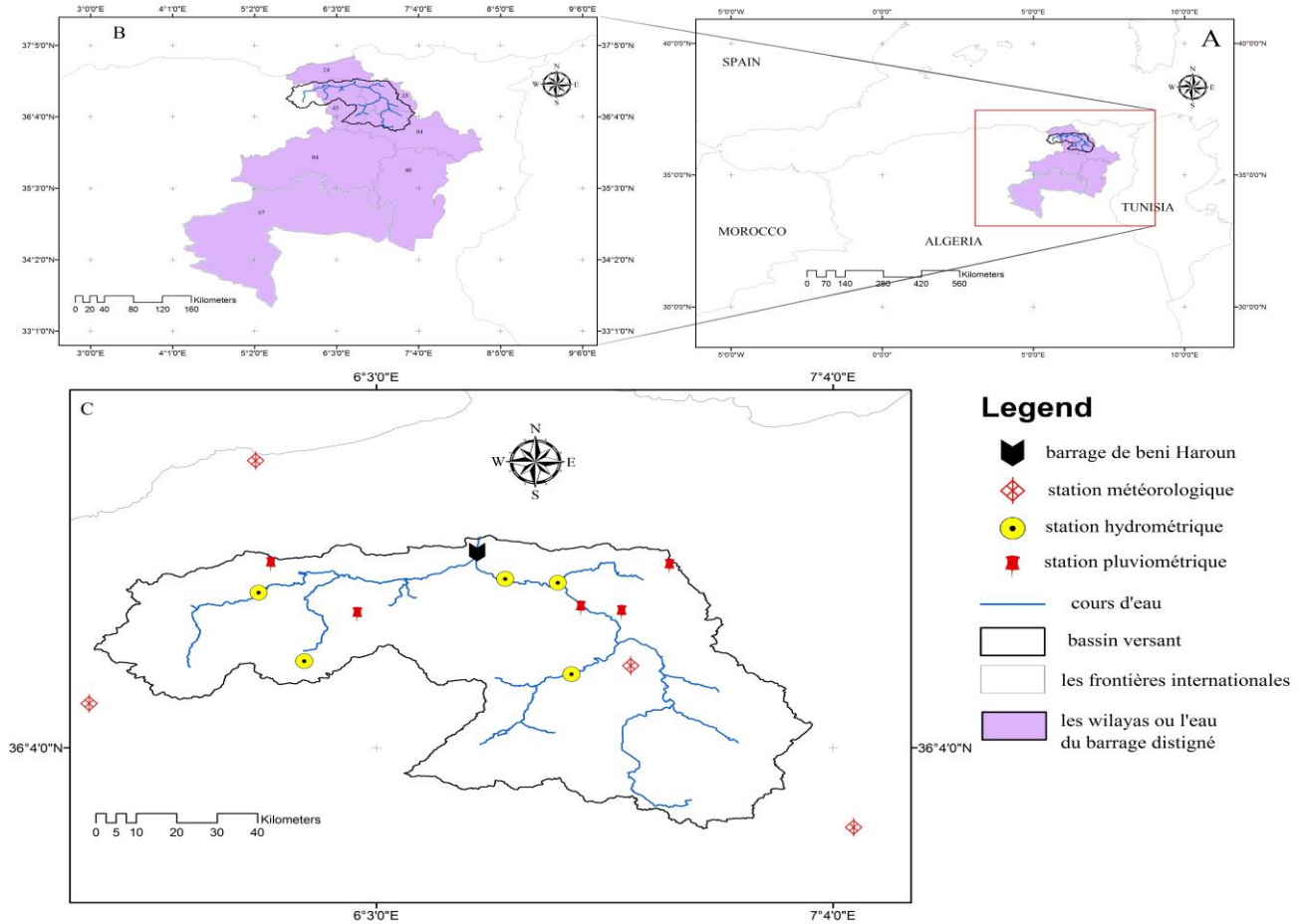


Figure II.4 : Bassin versant de Beni Haroun

A. situation du bassin versant dans l'Algérie, B. les wilayas ou l'eau du barrage désigné, C. le bassin versant est ces installations hydro-climatologique

### II.2.2 Situation administrative

Le bassin versant du barrage de Beni Haroun se situe principalement dans 4 wilayas (Milla, Constantine, Oum El Bouaghi, Sétif) avec 3 autres wilayas qui couvrent 0.12 % de sa surface totale. Tableau I.1, figure I.5

Tableau II.1 répartition des surface de chaque wilaya par rapport au surface du bassin

wilaya	Surface (km <sup>2</sup> )	pourcentage de surface (%)
Constantine	1709	26.73
Mila	2434.5	38.07
Oum El Bouaghi	1281.2	20.04
Sétif	962.05	15.04
Jijel +Skikda +Guelma	7.757	0.12

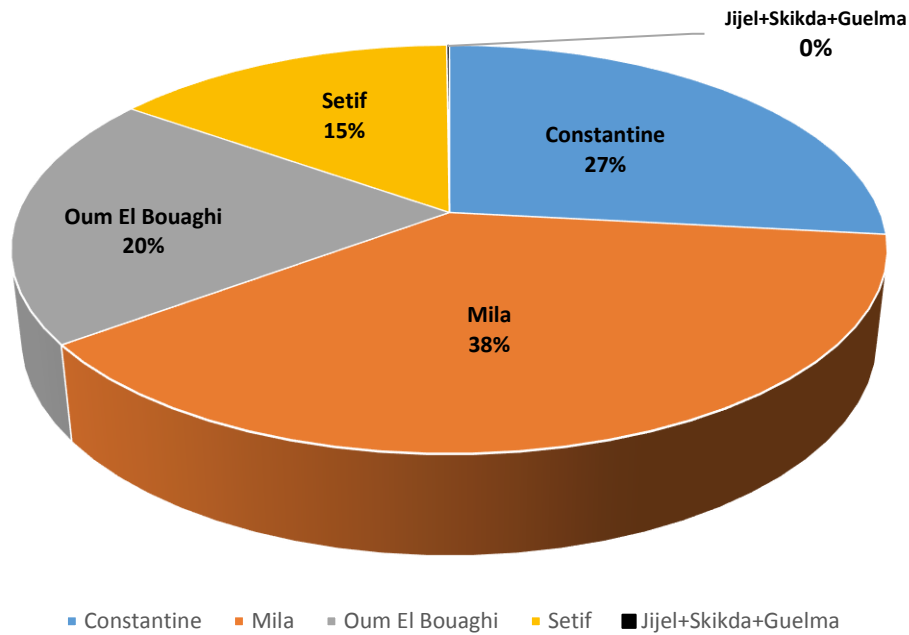


Figure II.5 Répartition des surfaces de chaque willaya par rapport à la surface du bassin

### II.2.3 La géologie du bassin versant

La figure suivante représente la carte géologique du bassin versant avec une échelle de 1/500 000 Cette carte a été réalisée sur la base de la carte dressée par DELEAU B. et LAFITTE R. Et publiée en 1951 par le service de la carte géologique de l'Algérie.

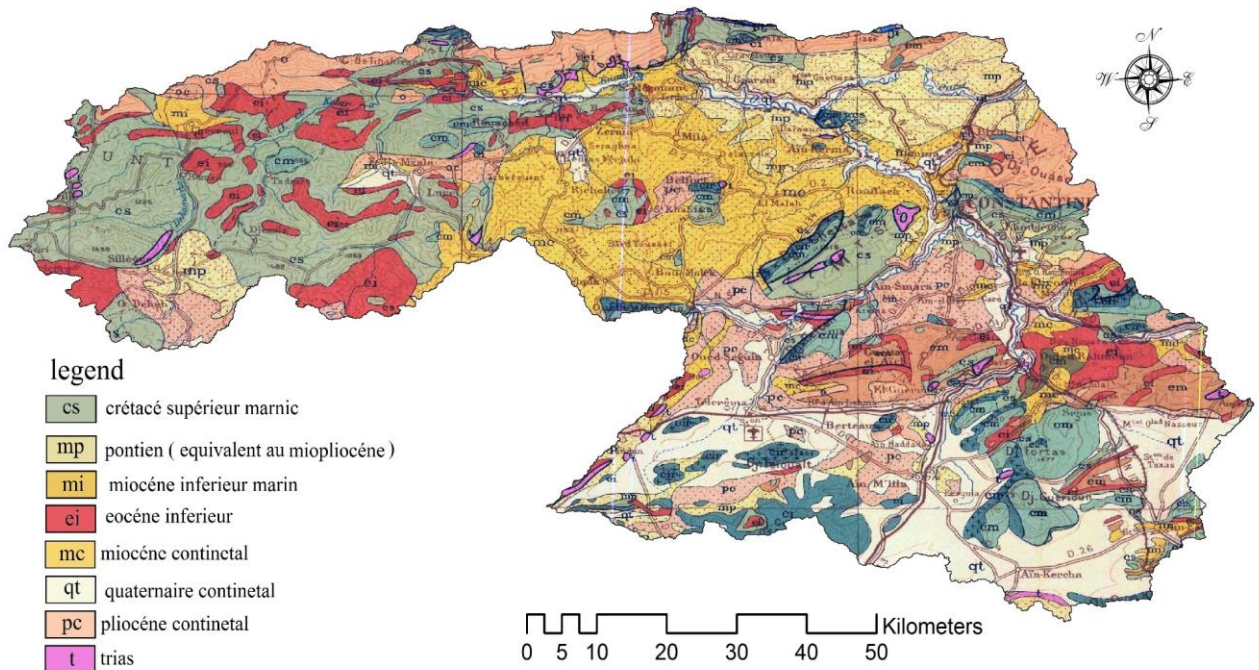


Figure II.6 Carte géologique 1/500 000

### II.2.3.1 Cadre géologique générale

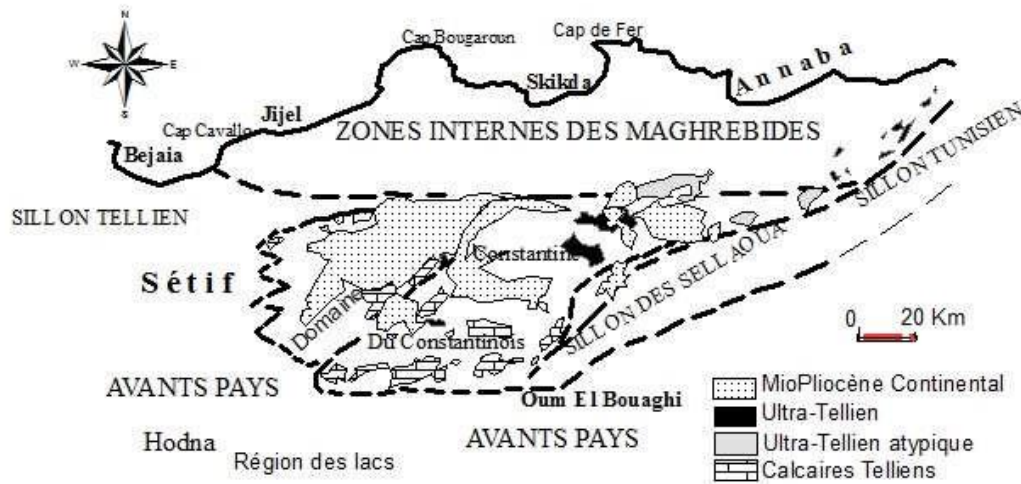


Figure II.7 Carte schématique illustrant la répartition des différents domaines paléogéographiques [Atmania, 2010]

Le bassin de Mila appartient au domaine externe de la chaîne Alpine d'Algérie Nord Orientale. Cette branche de la chaîne Alpine est rattachée à la branche Sud des maghrébines entre le détroit de Gibraltar à l'Ouest et la Sicile et la Calabre à l'Est. La partie Nord Orientale de cette branche est généralement subdivisée en deux grands

Domaines [Atmania, 2010], qui sont :

- Un domaine interne, regroupant le socle kabyle et les formations des flyschs.
- Un domaine externe, correspondant aux formations telliennes et de l'avant pays.

#### LE DOMAINE INTERNE

Le Domaine interne Correspond au socle cristallophyllien et sa couverture sédimentaire carbonatée (dorsale kabyle) ; Le socle est constitué de formations cristallophylliennes d'âge Paléozoïque [Atmania, 2010]

#### DOMAINE EXTERNE :

Il correspond aux formations telliennes situées sur la paléomarge Africaine [Bouillin et al., 1970]. Ce sont des séries épaisses à faciès marno-calcaire d'âge Eocène, issues du sillon tellien [Atmania, 2010]

Le bassin versant contient 3 tectoniques domaines du Nord au Sud [Marmi and Guiraud, 2006]

- 1) l'unité de poussée Mole Constantinois.
- 2) Le domaine pré-atlasique correspondant à la ceinture plissée et / ou tranchée et au corridor du pré-atlas faiblement affecté par la tectonique.
- 3) L'avant-pays autochtone plissé et fauché représenté principalement par le massif d'Aure.



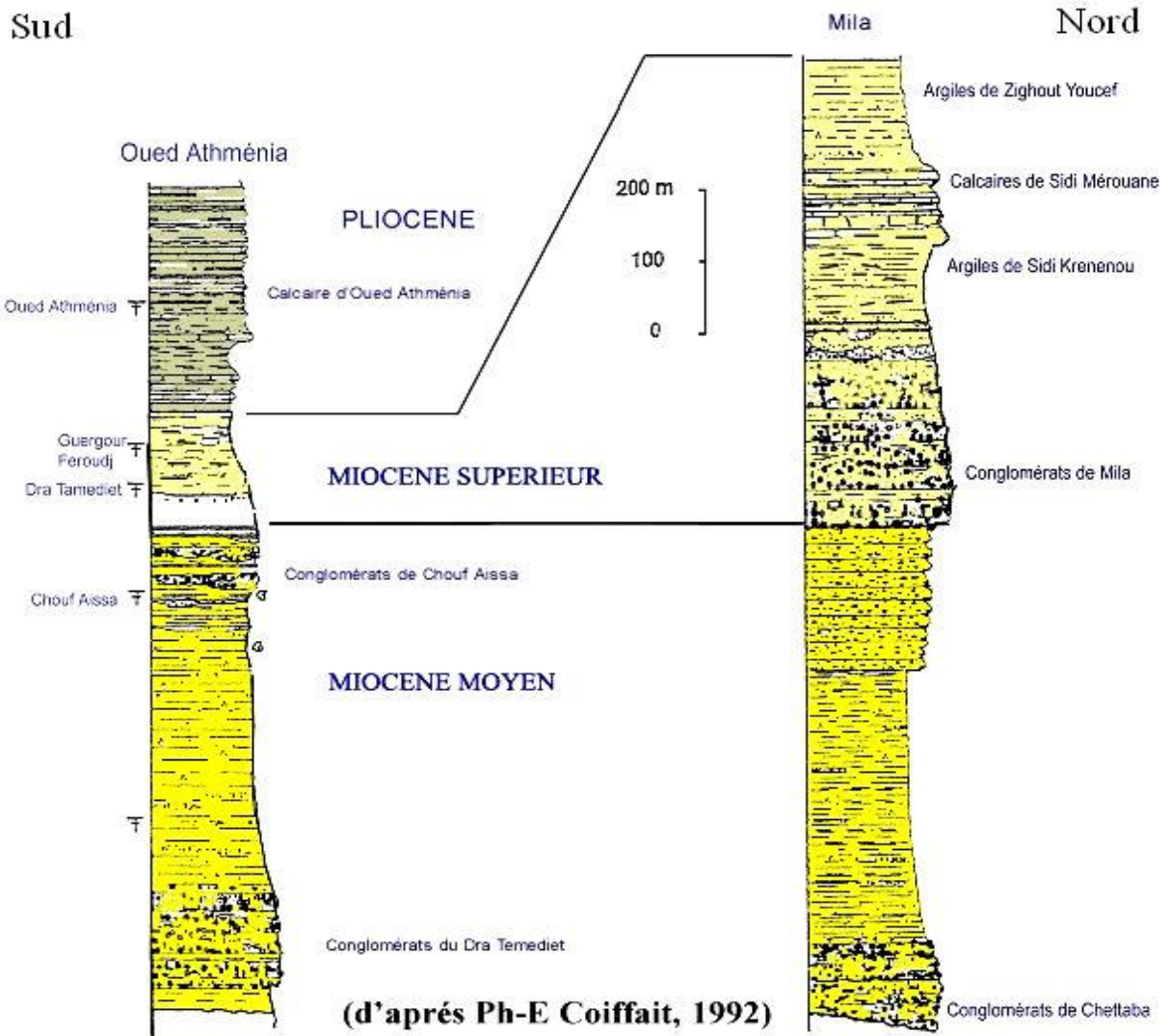


Figure N I.8 Log litho-stratigraphique du bassin versant [MARMi et al., 2008]

### II.2.4 La topographie du bassin versant

La topographie du bassin versant a une grande influence sur les paramètres hydrologique comme les apports liquides et les apports solides. Ainsi la figure II.9 illustre la carte topographique du bassin versant.

Nous remarquons que les altitudes du bassin versant varient de 42 à 1719m cela indique qu'il y a une grande différence entre l'amont et l'aval, et qu'il y a des pentes considérables dans le bassin versant.

#### II.2.4.1 La surface

Dans notre cas la surface du bassin versant est calculée à l'aide du model SWAT ; ainsi la surface du bassin versant de Beni est de 6394.64 km<sup>2</sup>.

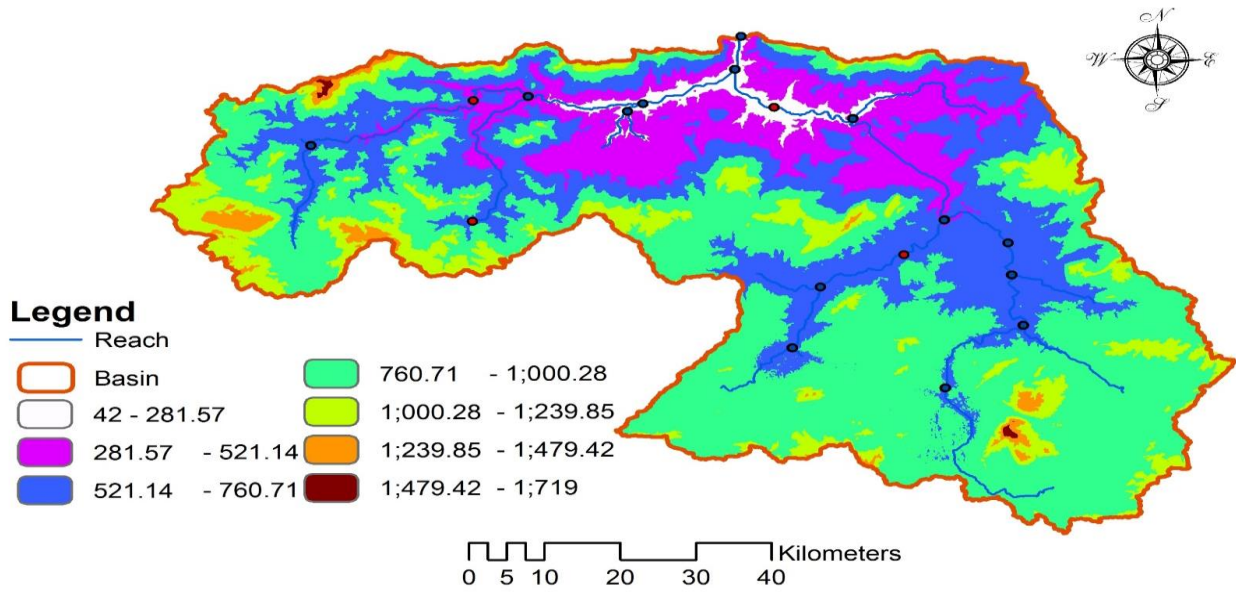


Figure II.9 Carte topographique du bassin versant

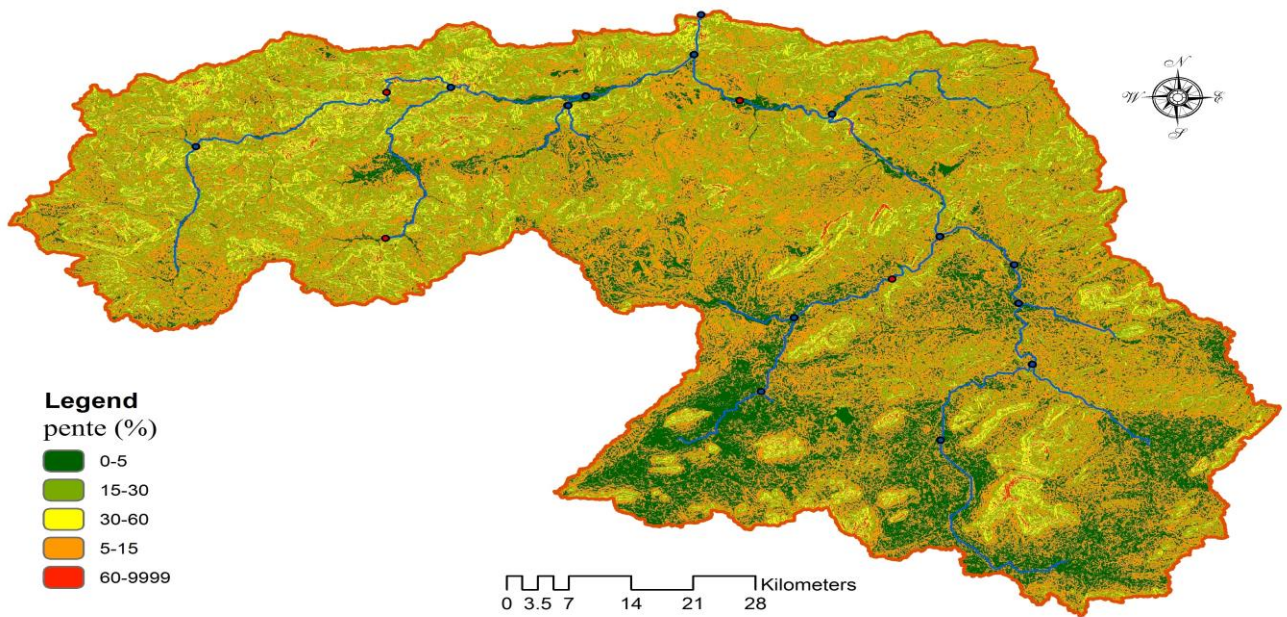


Figure II.10 Carte des pentes du bassin versant

### II.2.4.2 Les pentes

Le tableau suivant représente la variance de surface de chaque classe de pente dans le bassin versant

Tableau II.2 répartition des pentes par rapport à la surface du bassin versant

pente (%)	surface (ha)	pourcentage de la surface (%)
0-5	122048.085	19.18
5-15	270798.464	42.56
15-30	182154.26	28.63
30-60	55935.5048	8.79
60-9999	5371.0154	0.84

Selon la carte des pentes on remarque que la plus part du bassin 90.37 % à une pente entre 0 à 30 %

#### II.2.4.3 Répartition des surfaces et courbe hypsométrique

La courbes hypsométrique nous donnent une vue synthétique du relief du bassin et de la pente moyenne

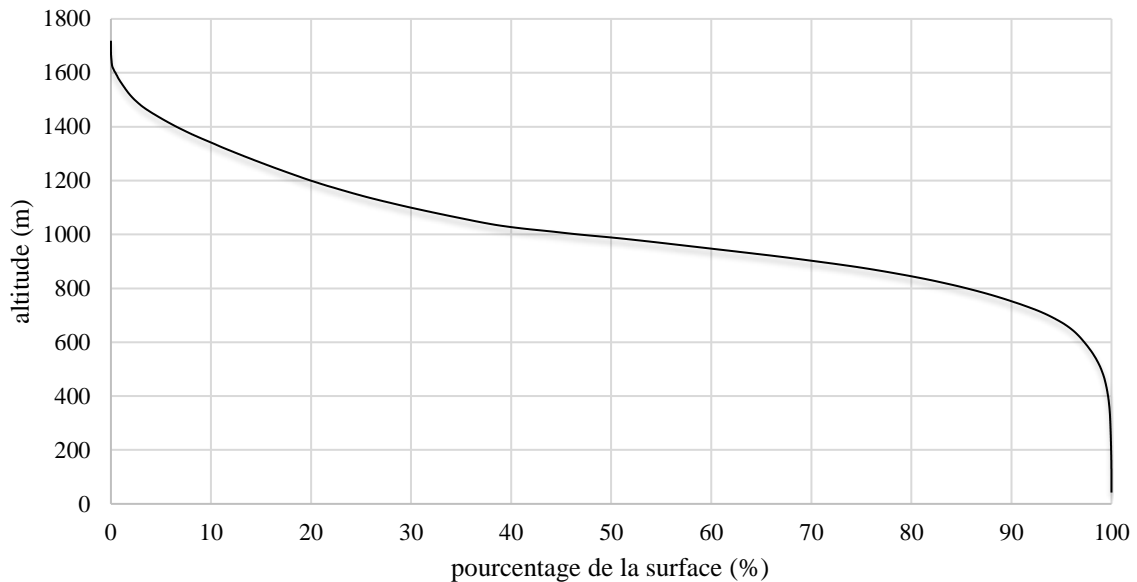


Figure II.11 Courbe hypsométrique du bassin versant

De la courbe hypsométrique, nous remarquons que 90% de la surface du bassin versant à une altitude variante entre 750m - 1714 m, cela indique qu'il y a une grande différence entre l'amant et l'aval du bassin versant. Cette écart important indique l'existante de pentes importantes influençant directement l'écoulement de l'eau est le transport solide.

### II. 3. Les équipements dans le bassin versant du barrage de Beni Haroun

Le bassin versant est contrôlé par plusieurs stations hydrométriques, climatiques et pluviométrique malheureusement plusieurs stations dans ce bassin sont hors service particulièrement les stations pluviométriques.

Quatre stations hydrométriques seront utilisées dans cette thèse à des fins de comparaison. Avec pour objectif principal est de mesurer les apports liquides et solides.

1. La station de Grarem, qui contrôle 4039 km<sup>2</sup> dans la partie Nord-Est du bassin versant, qui mesure les rendements en eau et en sédiments, qui arriveront au barrage depuis le sous bassin de Rhumel.
2. La station d'Ain Smara, qui contrôle 1101 km<sup>2</sup> dans la partie Sud du bassin dans la partie Wadi Athmania du bassin versant de Rhumel.
3. la station de Tassadane qui contrôle 914,7 km<sup>2</sup> dans la partie Nord-Ouest dans le sous bassin de Kebir

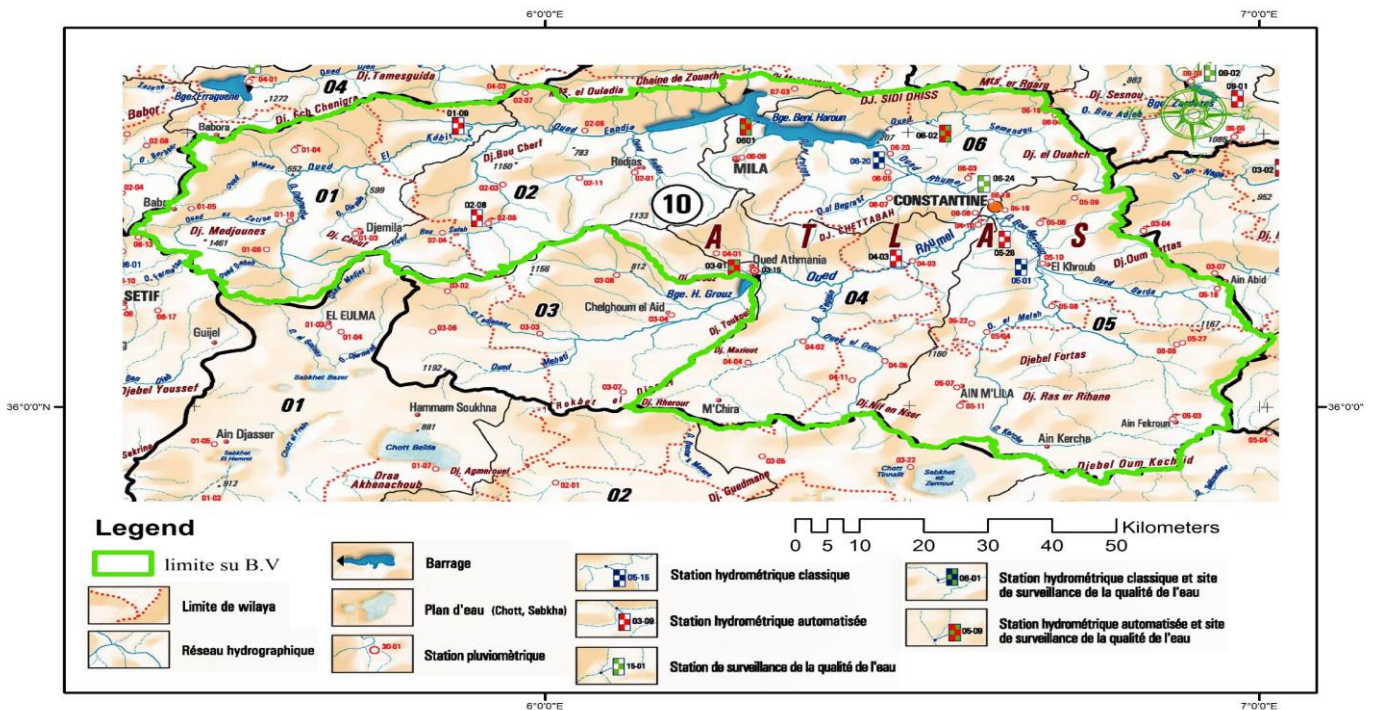


Figure II.12 Carte des équipements dans le bassin versant du barrage de Beni Haroun [ANRH, 2004]

4. la station KOUDIA TENDART qui contrôle 128.6 km<sup>2</sup> dans la partie Nord-Ouest dans le sous bassin de Kebir

### II. 4. Climatologie du bassin versant du barrage de Beni Haroun

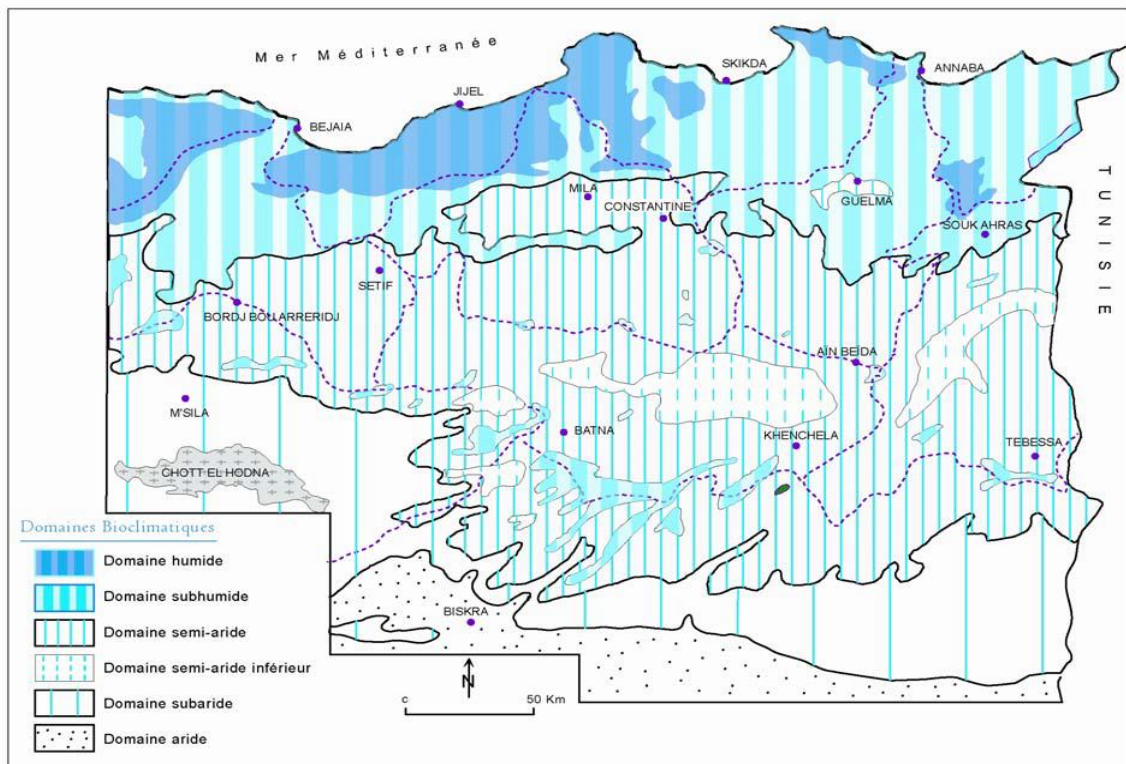


Figure II.13 les étages bioclimatiques au nord-est de l'Algérie [Mebarki, 2005]

La zone d'étude est comprise entre 3 domaines bioclimatiques ; semi arides au Sud du bassin versant et sub-humide au centre et au Nord et humide en extrême du Nord (figure II.9).

Pour prendre une approche globale du climat du bassin versant on utilise la méthode des polygones de Thiessen avec les stations climatiques (figure II.4C), malheureusement on ne peut pas utiliser la station d'Oum El Bouaghi puisque elle ne contient pas les données historiques suffisantes comme les autres stations

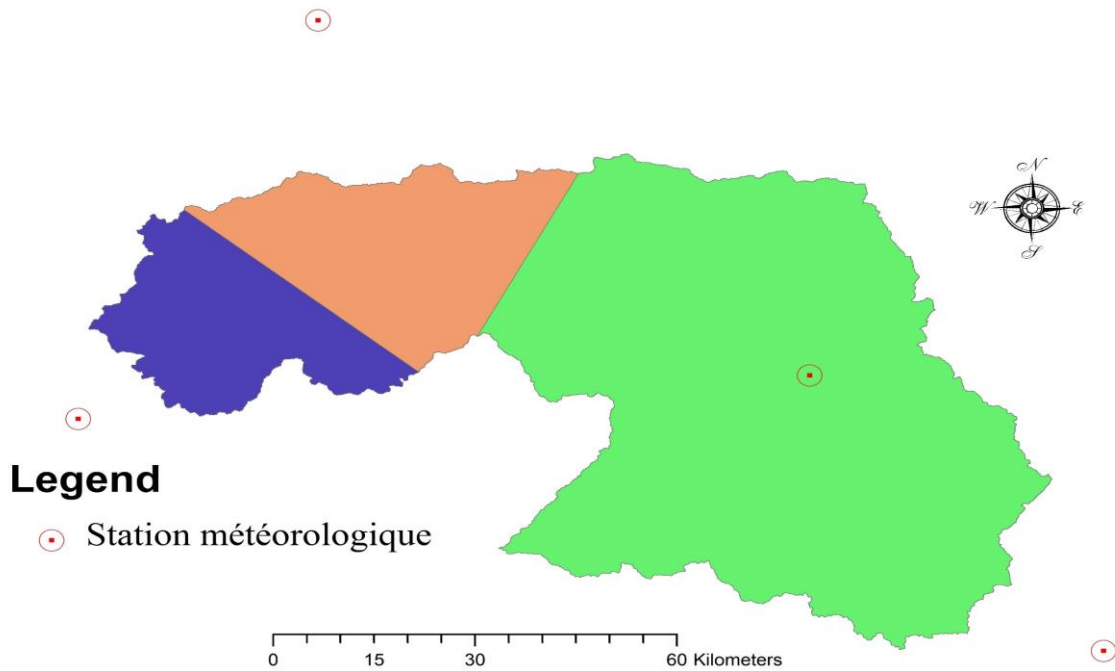


Figure II.14 Polygone de THIESSEN

### II.4.1 Précipitation

La figure II.15 montre la précipitation moyenne inter-mensuelle dans le bassin versant du barrage de Beni Haroun pendant la période 1982 – 2013

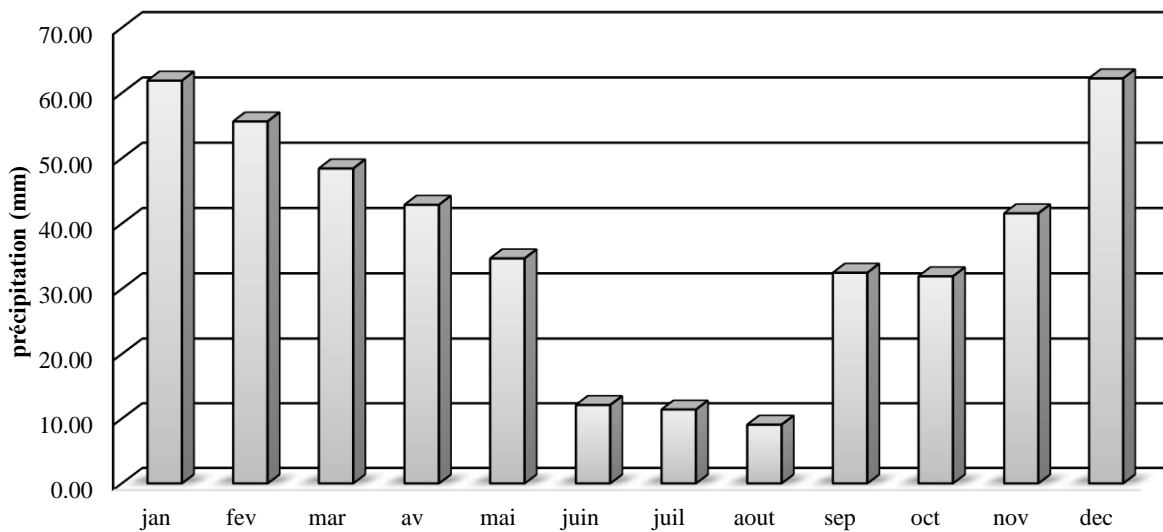


Figure II.15 Précipitation moyenne inter-mensuelle, période 1982 – 2013

Les pluies les plus importantes dans le bassin versant sont enregistrées durant les mois de décembre, janvier, février, mars avec une précipitation variante de 48.44 à 62.24 mm/ mois. Les pluies les plus faibles sont enregistrées durant les mois de juin, juillet, août avec une précipitation varie de 9.07 à 12.11 mm/ mois.

#### II.4.2 La température

La figure suivante représente le médian journalier de la température minimal, moyenne et maximal dans le bassin versant dans la période 1982 - 2013

Au niveau du bassin versant, les températures moy, max, min atteignent leurs plus hauts niveaux durant les mois de Juin, Juillet et Août avec une température max ( $28^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ), moy ( $22^{\circ}$ - $26^{\circ}$ ) et min ( $14^{\circ}$ - $18^{\circ}$ ). Les températures les plus basses sont enregistrées durant les mois de novembre, décembre, janvier, février avec une température max ( $12^{\circ}$ - $17^{\circ}$ ), moy ( $6^{\circ}$ - $11^{\circ}$ ) et min ( $2^{\circ}$ - $6^{\circ}$ )

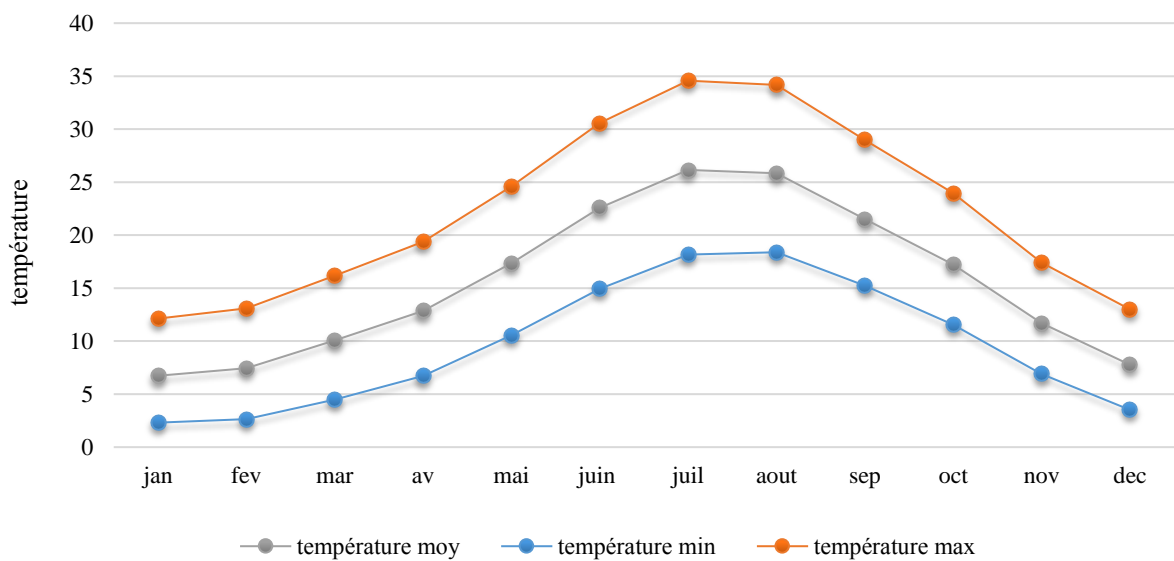


Figure II.16 Température minimal, moyenne et maximal dans le bassin versant, période 1982/2013

#### II.4.3 Diagramme ombrothermique de Gaussen

Il est une représentation de la variation de température et la précipitation mensuelle dans une échelle standardisée avec  $P = 2T$ , pour déterminer la période sèche et humides dans la zone d'étude. [Bagnouls and Gaussen, 1957]

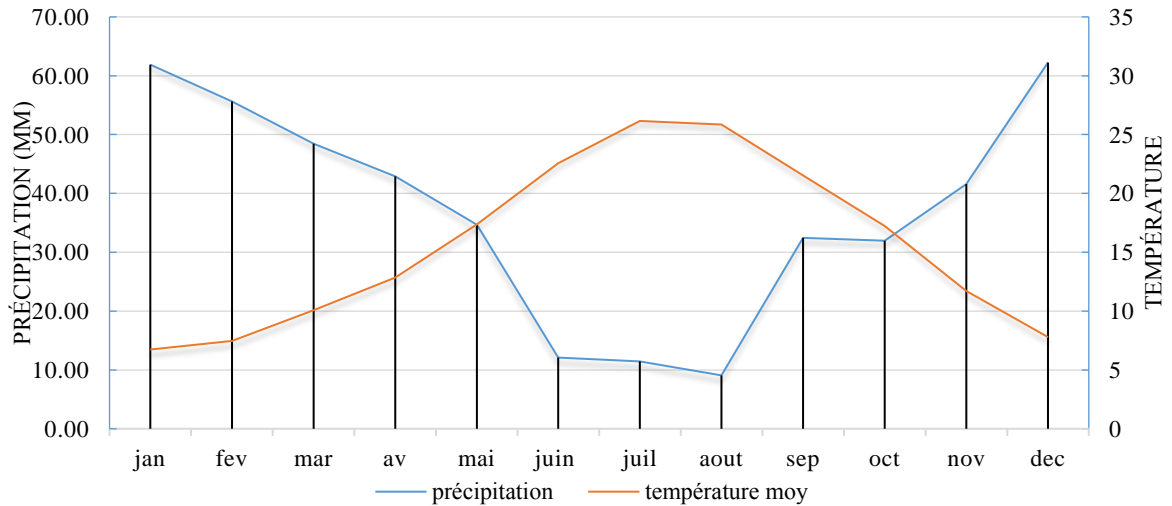


Figure II.17 Diagramme ombrothermique de Gaussen du bassin versant

Dans le bassin versant du barrage de Beni Haroun la période sèche s'étend de mois de mai au mois d'octobre et période humide s'étend de mois de novembre au mois d'avril.

**II.4.4 L'humidité relative**

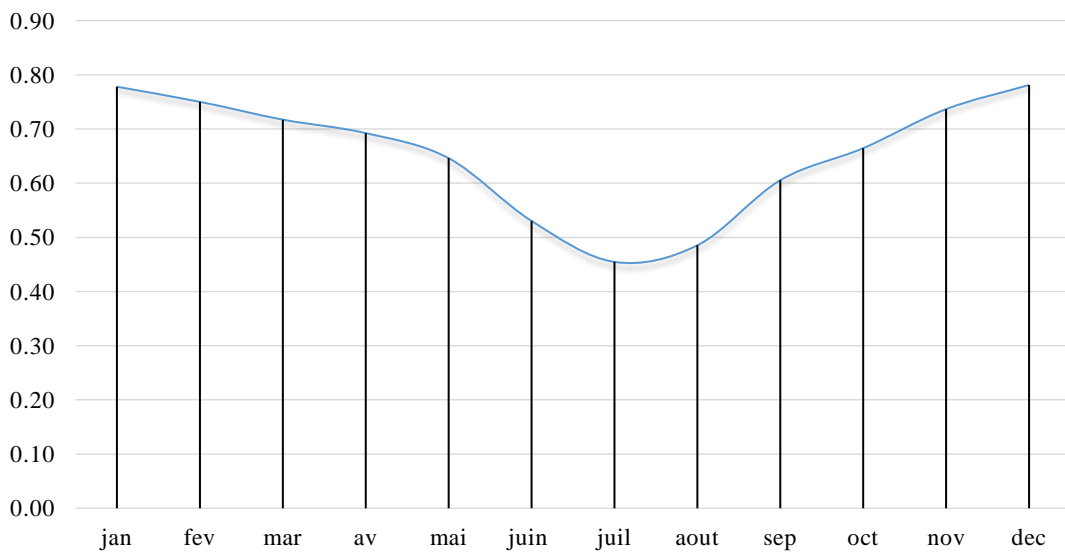


Figure II.18 Humidité relative dans le bassin versant

L'humidité relative moyenne mensuel dans le bassin versant est de 0.45 à 0.78, avec HR le minimum et dans le mois de juillet, et le maximum dans les mois de décembre et janvier.

**II.5.Conclusion :**

A travers ce chapitre, nous avons mis en évidence les données concernant la zone d'étude de point de vue géologique, topographique, géographique, climatologique qui nous seront utiles dans cette thèse dans la modélisation et l'interprétation de nos prochains résultats.



Chapitre III

Matérielles

Et

Méthodes



Ce chapitre décrit le matériel et les méthodes utilisés pour atteindre les objectifs de cette étude. Description du model SWAT, et ces principaux équations, et les données utilisé tel que l'utilisation des couvertures des terres, les types des sols, le model numériques des terrains, et les données climatiques et hydrométrique dans le bassin versant.

### III.1. Présentation du model SWAT

SWAT The Soil and Water Assessment Tool est un modèle physique sur une base continue qui utilise le pas du temps journalier, à l'échelle des bassins versant, développé par l'USDA United States Department of Agriculture. Pour estimer évaluer et prédire l'influence des différent paramètres hydrologiques tel que l'utilisation des couvertures des terres, les types des sols, et les paramètres climatique, sur l'eau, sédimentation, pollution, le transfert des nutriments, la croissance des cultures, de l'environnement et du changement climatique dans les bassins versant [[Arnold et al., 1998](#)], [[Srinivasan et al., 1998](#)], [[Neitsch et al., 2011](#)], [[Arnold et al., 2013](#)]

Utilisé à l'échelle internationale et au cours des dernières années, il y a eu un intérêt croissant et a prouvé son efficacité et ça faisabilité dans différents bassins versants, pour une large gamme d'applications comme évaluation et l'estimation de tous le transfert hydrologique, l'impact du changement climatique, identifier les sources des différent types de pollutions, croissance des cultures, la gestion des terres dans les bassins versant et sur les différent pas du temps quotidiens, mensuels et annuels. [[Gassman et al., 2007](#)], [[Arnold et al., 2009](#)], [[Douglas-Mankin et al., 2010](#)], [[Tuppad et al., 2011](#)], [[Gassman et al., 2014](#)], [[Krysanova and White, 2015](#)]

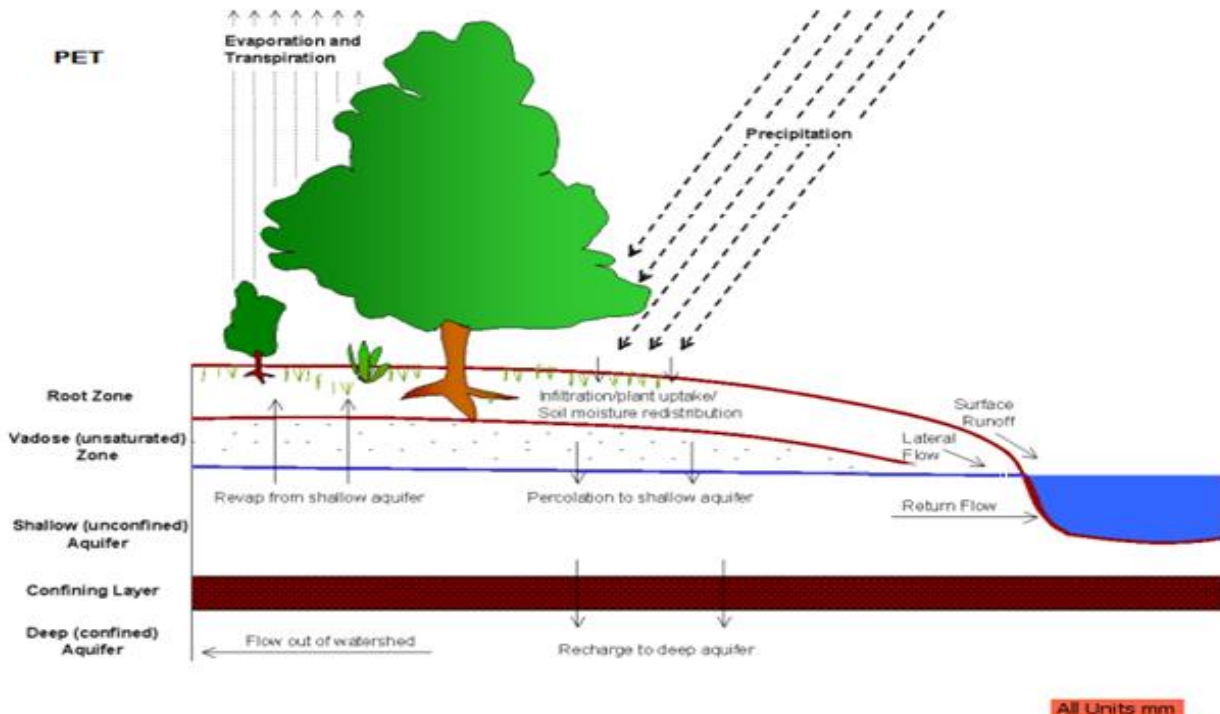


Figure III.1. Schéma du cycle hydrologique du model SWAT [[Neitsch et al., 2011](#)]

Le cycle hydrologique est simulé par le modèle SWAT sur la base de l'équation d'équilibre de l'eau suivant.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{1=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \dots \dots \dots (III. 1)$$

Où :

- t : Temps en jours
- $SW_t$  : Teneur en eau du sol finale en mm.
- $SW_0$  : Teneur en eau initiale du sol en mm.
- $R_{Day}$  : Quantité de précipitations au jour i en mm.
- $Q_{surf}$  : Quantité d'eaux de ruissellement au jour i en mm.
- $E_a$  : Montant de l'évapotranspiration au jour i en mm.
- $w_{seepis}$  : Quantité d'eau entrant dans la zone non saturée du profil du sol le jour i en mm
- $Q_{gw}$  : Débit de retour le jour i en mm.

L'érosion est estimée en utilisant l'équation universelle modifiée de perte des sols MUSLE [Williams, 1995].

$$Sed = 11,8(Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{HRU})^{0,56} \cdot K_{USEL} \cdot C_{USEL} \cdot P_{USEL} \cdot LS_{USEL} \cdot CFR \dots \dots \dots (III. 2)$$

- Sed : production de sédiments un jour donné,
- $Q_{surf}$  : Volume des eaux de ruissellement de surface en mm ha-1
- $q_{peak}$  : Taux de ruissellement de pointe en m3 s-1
- $-K_{USEL}$  : Facteur d'érodabilité,
- $C_{USEL}$  est le facteur de couverture sol
- $P_{USEL}$  : Facteur de la pratique de soutien
- $LS_{USEL}$  : Facteur de la pente du terrain
- $CFRC$  : Facteur de fragments grossiers

$$q_{peak} = \frac{\alpha \cdot q \cdot A}{360 \cdot t_c} \dots \dots \dots (III. 3)$$

- $q_{peak}$  : Taux de ruissellement de pointe en m3 s-1,
- q est le ruissellement en mm,
- A : Surface HRU en ha,
- $t_c$  est le temps de concentration en heurs,
- $\alpha$  est un paramètre sans dimension qui exprime la proportion des précipitations totales qui se produit pendant  $t_c$ .

Les dépôts et la dégradation des sédiments dans les cours d'eaux sont calculer l'équation de Bagnold simplifier [Bagnold, 1977], [Neitsch et al., 2011] avec :

$$sed_{dep} = (conc_{sed,ch,i} - conc_{sed,ch,mx}) \cdot V; \quad si \ conc_{sed,ch,i} > conx_{sed,ch,mx} \dots \dots \dots (III. 4)$$

$$sed_{dep} = (conc_{sed,ch,i} - conc_{sed,ch,mx}) \cdot V \cdot K_{CH} \cdot C_{CH}; \quad si \ conc_{sed,ch,i} > conx_{sed,ch,mx} \dots \dots \dots (III. 5)$$

- $sed_{dep}$  : est la quantité de sédiments déposée (métriques tonnes).
- $conc_{sed,ch,i}$  : est la concentration initiale de sédiments (kg/L).
- $conc_{sed,ch,mx}$  : est la concentration maximale de sédiments (kg/L).
- $V$  : est le volume d'eau dans le cours d'eau ( $m^3$ ).
- $K_{CH}$  : est le facteur d'érodabilité du cours d'eau.
- $C_{CH}$  : est le facteur de couverture du cours d'eau.

La quantité maximal des sédiments qui est transporté dans le cours d'eau et calculé avec :

$$conc_{sed,ch,mx} = SPCON \cdot v^{SPEXP} \dots \dots \dots (III. 6)$$

- $SPCON$ : Paramètre linéaire pour le calcul de la quantité maximale de sédiments pouvant être ré-entraînés lors de l'acheminement des sédiments dans les cours d'eau.
- $SPEXP$  : Paramètre exposant pour le calcul des sédiments ré-entraînés dans le routage des sédiments dans les cours d'eau.
- $v$  : La vitesse maximale dans le cours d'eau.

La vitesse maximale dans le cours d'eau est calculée avec :

$$v = \frac{q_{ch,pk}}{A_{ch}} \dots \dots \dots (III. 7)$$

- $q_{ch,pk}$  : est le débit de pointe ( $m^3/s$ )
- $A_{ch}$  : la section transversale de l'écoulement dans le cours d'eau ( $m^2$ ).

Le débit de pointe est calculé avec :

$$q_{ch,pk} = PRF \cdot q_{ch} \dots \dots \dots (III. 8)$$

- $PRF$  : est le facteur d'ajustement du taux de pointe.
- $q_{ch}$  : est le débit moyen ( $m^3/s$ ).

## III.2. Types de données

Le model SWAT a plusieurs interface, comme ARCSWAT version 2012 qui a été utiliser pour entrer les différent types de données nécessaire pour faire une simulation dans le model SWAT.

Le model nécessite plusieurs types de données [[Arnold et al., 1998](#)], [[Srinivasan et al., 1998](#)], [[Neitsch et al., 2011](#)], [[Arnold et al., 2013](#)], Comme le modèle numérique du terrain, l'utilisation de la couverture des terres, types des sols et les données métrologiques. Le model divise le bassin versant en sous bassin versant et ces derniers en unités de réponse hydrologique -HRU's- générées par les classes des pentes, les classes des types de sols et la couverture des terres

### III.2.1 Model numérique du terrain

Le model numérique du terrain (Digital Elevation Model) utilisé dans le model SWAT obtenue à partir ASTER Global Digital Elevation Model V2 avec une résolution de 28m pour délimité le bassin versant et découpe ces sous bassin, délimiter l'emplacement des cours d'eau, crée les classes des pentes. Le découpage des sous bassin à été fait en prenant en considération l'emplacement des stations hydrométrique ce dernier est automatique (figure III.2).

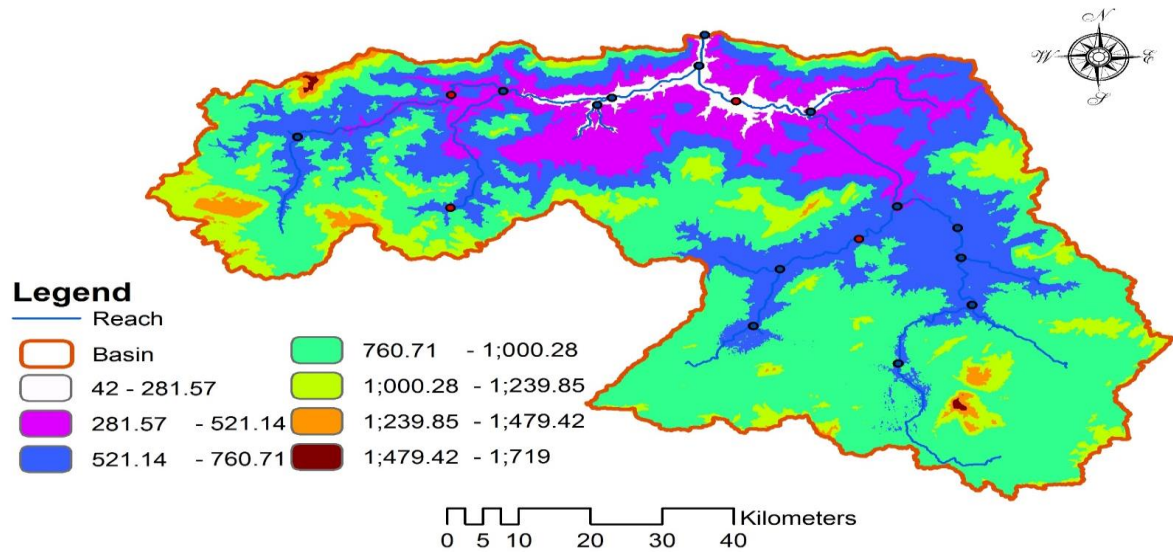


Figure III.2 Modèle numérique d'élévation du bassin versant

### III.2.2. Utilisation des couvertures des terres

Deux types de données ont été utilisés dans cette étude : la base de données GlobCover et Carte extraite à l'aide de la télédétection des images satellitaires LANDSAT 8

#### III.2.2.1. GlobalCover

Créé par l'agence spatiale européenne, les types de classe de cette base de données sont différents aux classes du SWAT qui utilise la classification d'Anderson [Anderson, 1976], [Giri, 2012]. Anderson a développé un système de classe multi-niveau pour l'utilisation de la couverture des terres. Pour adapter cette base de données au modèle SWAT, il faut convertir les classes de ces derniers à la classification d'Anderson niveau 01 et par suite niveau 02 [El-Sadek and Irvem, 2014]

Le tableau III.1 montre la Distribution des classes de GlobalCover par rapport à la classification d'Anderson niveau 01 et la transformation à la classification d'Anderson niveau 02 (figure III.3).

Tableau III.1 classe d'utilisation des terrains par Anderson niveau 1 et les classes de GC [Congalton et al., 2014].

Les classes d'Anderson niveau 1	GlobalCover classification	Les classes d'Anderson niveau 2	swat code
Urban or built-up land	3 Artificial surfaces and associated areas (urban areas >50%)	Residential-Medium density	URMD
Agricultural land	1 Rainfed crops	Agricultural land Generique	AGRL
	4 Mosaic cropland (50-70%) / vegetation (grassland/shrubland/forest) (20-50%)	Agricultural land row corp	AGRR
	6 Mosaic vegetation (grassland/shrubland/forest) (50-70%) / cropland (20-50%)	Agricultural land close grown	AGRC
Rangeland	9 Mosaic grassland (50-70%) / forest or shrubland (20-50%)	Range grasses	RNGE
Forest	7 Closed (>40%) broadleaved deciduous forest (>5m)	Forest Deciduous	FRSD
	10 Mosaic forest or shrubland (50-70%) / grassland (20-50%)	Forest mixed	FRST
	8 Closed (>40%) needleleaved evergreen forest (>5m)	Forest Evergreen	FRSE
Barren land	14 Bare areas	Barren	BARR
Water	11 Water bodies	Water	WATR

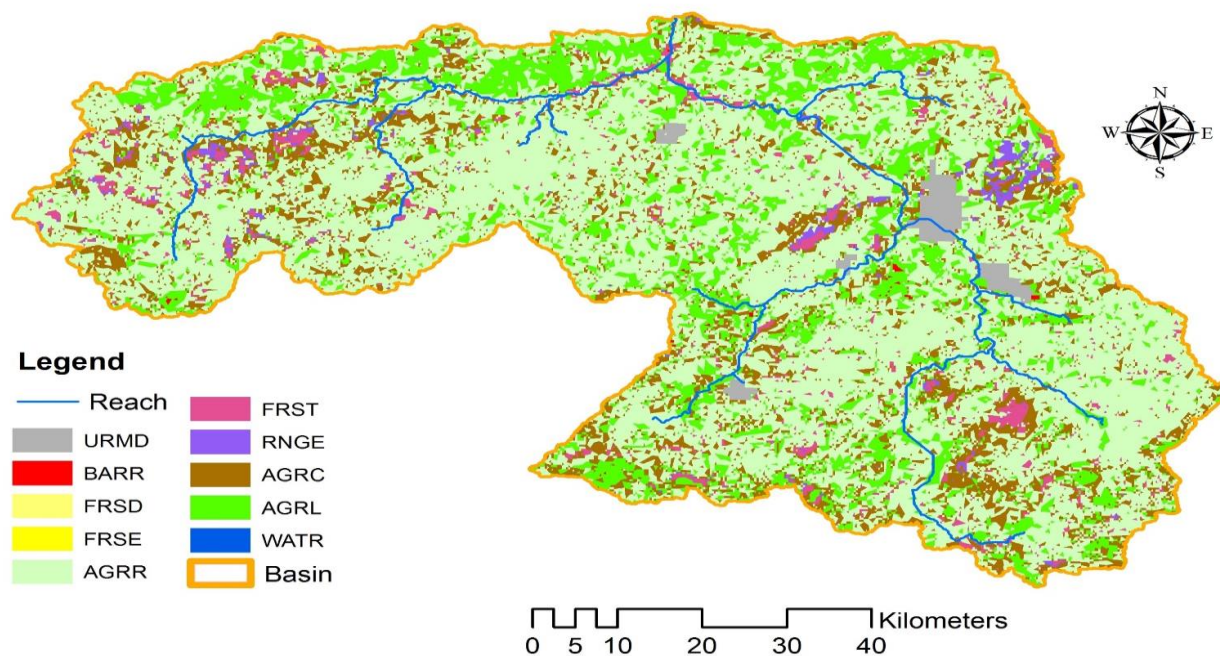


Figure III.3 Carte d'utilisation des couvertures des terres de la base de données GlobalCover

**III.2.1.2. Utilisation de la télédétection des images satellitaires LANDSAT 8**

Les images satellitaires sont importées à partir de la base de données USGS. en utilisant la classification supervisée [Boettinger et al., 2008] par le logiciel ERDAS [Geosystems, 2005] et la manipulation par le logiciel ARCGIS des bandes spectrales 7-5-3 pour l'urbain, 5-4-3 pour la végétation dans l'image satellitaire LANDSAT 8 [Boettinger et al., 2008], [Loyd, 2013], [Barsi et al., 2014], [Parece et al., 2014] pour identifier tous les types des classes de l'utilisation des terres en utilisant la classification d'Anderson [Anderson, 1976]. La correction de la carte a été faite à l'aide de images satellitaires World Imagery. La figure III.4 et le tableau III.2 montrent les pourcentages de surface de chaque classe de l'utilisation des terres.

Tableau III.2 Pourcentage de superficie de chaque classe d'utilisation de l'utilisation de la couverture des terres.

classes	surface en Hectare	pourcentage	swat code
Industrial	952.20	0.15	UIDU
Transportation	29390.25	4.65	UTRN
Water	3968.29	0.63	WATR
Forest-Evergreen	35383.38	5.6	FRSE
Forest-Deciduous	11835.68	1.87	FRSD
Barren	180348.62	28.53	BARR
Agricultural Land-Generic	233668.6	36.96	AGRL
Agricultural Land-Close-grown	2702.17	0.43	AGRC
Residential-Medium Density	17261.76	2.73	URMD
Agricultural Land-Row Crops	116697.31	18.46	AGRR

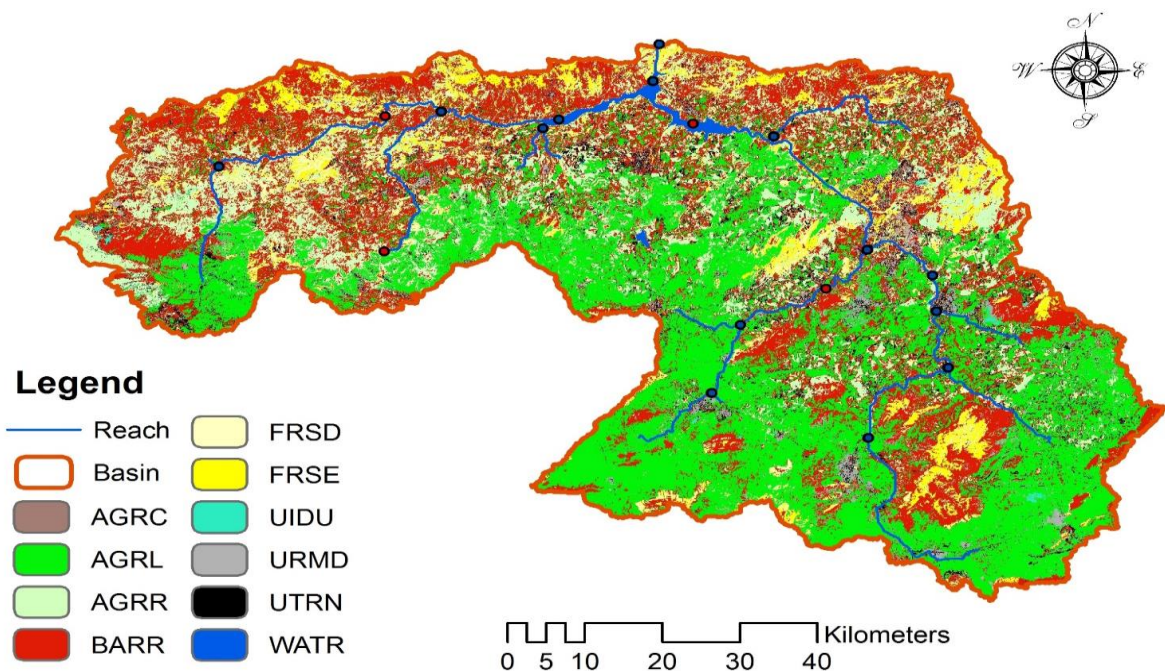


Figure III.4 Carte d'utilisation des terres utilisant la télédétection

### III.2.3. Types des sols

Deux types de données ont été utilisés dans cette étude: carte et base de données Harmonized World Soil Data base (HWSD). La création de la carte et de la base de données est basée sur la télédétection des images satellitaires et la cartographie numérique des sols

#### III.2.3.1. Carte et base de données Harmonized World Soil Data base –HWSD-

Créée par FAO et IIASA dans le but de développer les bases de données régionales et l'information mondiale sur les sols [Nachtergaele et al., 2008], [Batjes, 2009]. Les tableaux attributaires du logiciel SWAT, ne contient pas cette base de données pour cela nous devons les modifier en les intégrant dans ces tableaux, certaines des paramètres nécessaires pour une simulation au model SWAT [Neitsch et al., 2011], [Arnold et al., 2013] n'existe pas dans la base de données HWSD mais on peut le calculer indépendamment comme :

- La capacité de l'eau disponible du sol (mm H<sub>2</sub>O/mm sol) et la Conductivité hydraulique saturée (mm/h) sont déterminées en utilisant un programme appelé SPAW [Saxton and Rawls, 2006] soil plant atmosphere water
- Le facteur d'érodabilité K de la formule USEL avec la formule de Williams [Williams, 1995]

$$K_{USEL} = f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{org} \times f_{hisand} \dots \dots \dots (III. 9)$$

Ou

$f_{csand}$  : est un facteur qui donne de faibles facteurs d'érosion du sol pour les sols à forte teneur en sable grossier et des valeurs élevées pour les sols à faible teneur en sable

$f_{cl-si}$  : est un facteur qui donne de faibles facteurs d'érosion du sol pour les sols avec des rapports argile / limon élevés,

$f_{org}$  : Est un facteur qui réduit l'érodabilité des sols pour les sols avec une teneur en carbone organique élevée,

$f_{hisand}$  : Est un facteur qui réduit l'érodabilité des sols pour les sols avec du sable extrêmement élevé contenu.

(Annexe I)

Tableau III.3 : les classes des types des sols

classes	Erodibility factor K	Area (hectare)	Percentage (%)	USDA Texture Classification
1126	0.177	3290.83	0.51	loam
1129	0.177	375174.78	58.67	
1401	0.18	38230.42	5.98	
1772	0.176	695.07	0.11	
1779	0.173	218054.90	34.1	
1869	0.161	4018.55	0.63	clay

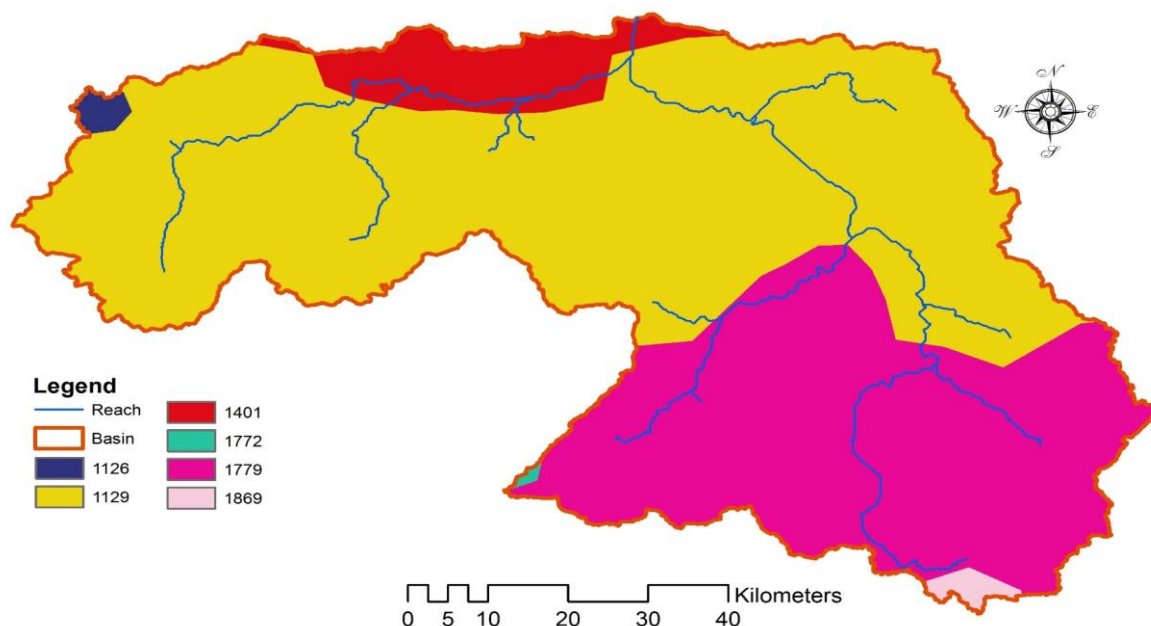


Figure III.5 Carte du type de sol de la base de données HWSD

### III.2.3.2. Création de la carte base de données des types des sols basés sur la télédétection et la cartographie numérique des sols

Pour créer cette carte des types des données nous devons suivre un protocole expérimental décrit selon les actions de la figure III.6.

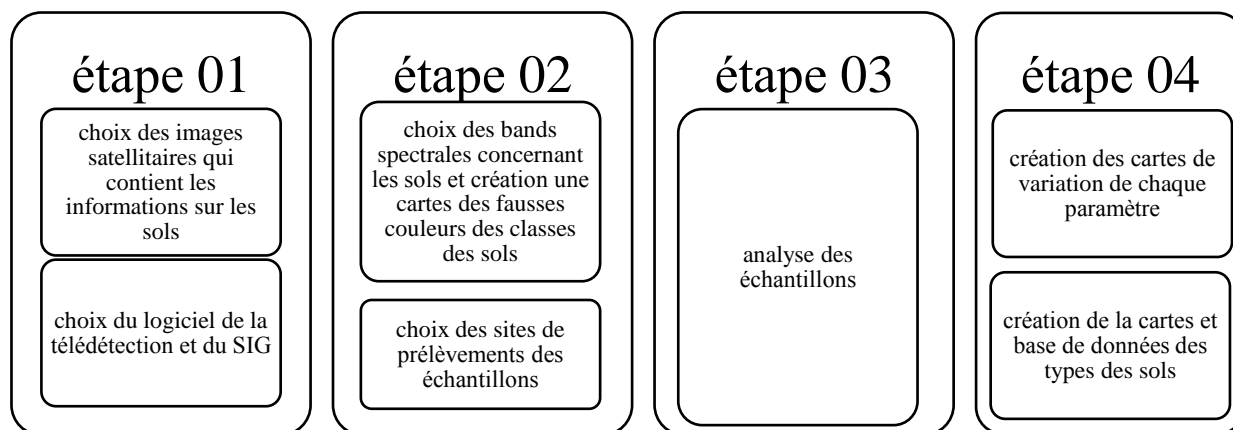


Figure III.6 Etapes pour créer une carte des types de sol et une base de données

#### a. Etape N°01 : Choix des outils informatiques et du type des images satellitaires

Comme nous l'avons vu auparavant, il y'a plusieurs bases de données d'images satellitaires ; les plus fréquemment utilisées pour la cartographie numérique des sols sont: LANDSAT, ASTER, MODIS, AVHRR et HYPERION [Hartemink et al., 2008].

Dans cette étude, Nous utilisons les images LANDSAT 8 ETM+ [https://glovis.usgs.gov], parce qu'elle est une base de données gratuite, simple et facile à télécharger et à manipuler et sa résolution plus ou moins acceptable, d'ailleurs, il y a beaucoup de recherches sur les différentes



utilisations de ces images tel que : [Bishop et al., 2015],[Mwaniki et al., 2015], [Vaysse and Lagacherie, 2015], [Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2016], [Minasny and McBratney, 2016], [Mosleh et al., 2016], [Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2015], [Rakshit et al., 2017].

Et pour les outils informatiques, il existe plusieurs logiciels pour la télédétection des images satellitaires par exemple ERDAS, ENVI, IDRISI Selva... et pour SIG par exemple ARC-GIS, MAP INFO. QSIG...

Dans cette étude, nous utiliserons le logiciel ERDAS Imagine [Geosystems, 2005] puisque ce logiciel est utile pour l'extraction des informations à partir des images satellitaires multi-spectrales et on peut l'utiliser pour la classification et la quantification des caractéristiques des sols [Aydemir et al., 2004]. Pour spatialiser les zones homogènes des types de sols, nous utiliserons la méthode non supervisée qui est basée sur la division automatique du programme [Geosystems, 2005], [Hartemink et al., 2008], [Aydemir et al., 2004].

### b. Etape 02 : traitement des images satellitaires et choix des sites de prélèvements

Après avoir fusionné toutes les bandes spectrales dans un seul fichier, nous allons choisir les bandes spectrales concernant les types des sols afin de déterminer les zones homogènes et choisir les sites de prélèvements des échantillons.

### c. Choix des bandes spectrales

Pour les types des sols, les bandes choisies sont 6, 7, 8 et notre choix est basé sur les travaux de [Loyd, 2013], de [Barsi et al., 2014], de [Parece et al., 2014] et de [Acharya and Yang, 2015] voir tableau III.4

Les bandes spectrales 6 et 7 sont particulièrement utiles pour raconter la terre humide de la terre sèche et pour la géologie : roches et des sols Sources [Loyd, 2013]

Tableau III.4. Bandes spectrales du Landsat 8 et leur utilisation [Acharya and Yang, 2015]

Bands	Wavelength -micrometers-	Resolution -meters-	Useful for mapping
Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30	côtier et études sur les aérosols
Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30	Cartographie bathymétrique, le sol distinctif de la végétation et de feuillus de la végétation de conifères
Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30	Souligne la végétation de pointe, ce qui est utile pour évaluer la vigueur des plantes
Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30	Discrimine végétation pentes
Band 5 - Near Infrared – NIR-	0.85 - 0.88	30	Souligne le contenu et les rivages de la biomasse
Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30	Discrimine teneur en humidité du sol et la végétation ; pénètre nuages minces
Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30	Amélioration de la teneur en humidité du sol et de la végétation et mince pénétration du cloud
Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15	Résolution de 15 mètres, plus nette définition d'image
Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30	Amélioration de la détection de la contamination de cirrus
Band 10 - Thermal Infrared -TIRS 1	10.60 - 11.19	100 * 30	Une résolution de 100 mètres, la cartographie thermique et l'humidité du sol estimée
Band 11 - Thermal Infrared -TIRS 2	11.50 - 12.51	100 * 30	Une résolution de 100 mètres, la cartographie thermique améliorée et l'humidité du sol estimée

Donc les bandes spectrales 6, 7 sont utilisées pour déterminer les zones homogènes de sol et la bande spectrale 8 pour améliorer la résolution de l'image figure III.7. et classification non supervisée de la carte est entreprise pour définir les zones homogènes par couleur (figure III.8).

#### d. Choix des sites de prélèvements des échantillons

Après la division de l'image satellite en zones homogènes par couleur, chaque classe est séparée et convertie en fichier KMZ de google earth pour découvrir où se trouve chaque une et le type de la couverture des terres de cette classe, pour bien choisir l'emplacement des échantillons. Les approches les plus utilisées lors des campagnes d'échantillonnage des sols sont l'échantillonnage ciblé, l'échantillonnage aléatoire systématique et l'échantillonnage aléatoire simple [QUÉBEC-Canada, 2009], [Gregorich and Carter, 2008] chaque approche a ses caractéristiques. L'échantillonnage ciblé consiste à prélever des échantillons de sols à un endroit précis, l'échantillonnage ciblé requiert des données préliminaires suffisantes sur les sols

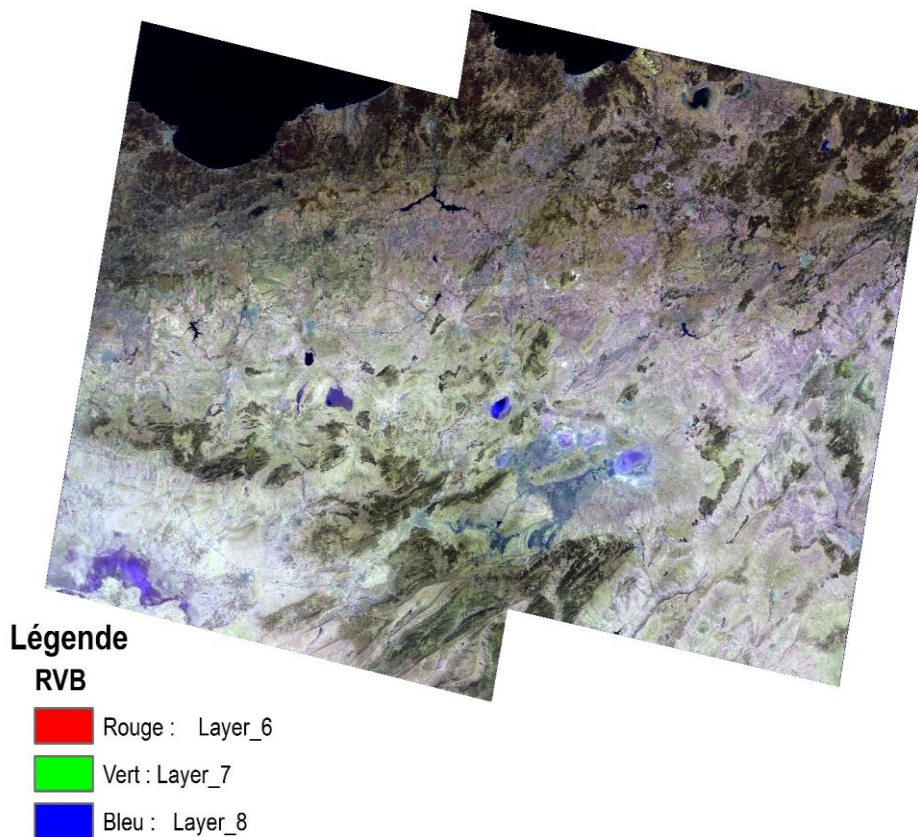


Figure III.7 : Image satellitaire LANDSAT8 ETM+ a avec les bandes spectrales 6-7-8

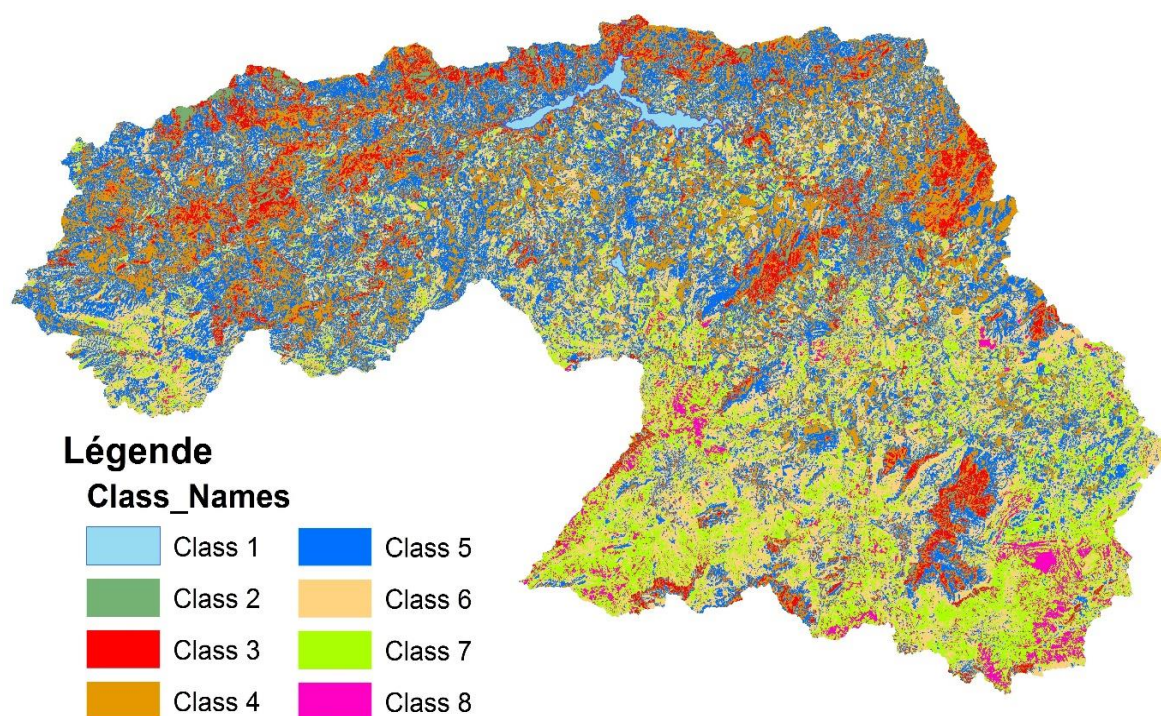


Figure III.8 Classification non supervisée

Lorsque les données sont insuffisantes l'échantillonnage aléatoire systématique, il est préférable de localiser les échantillons selon une approche différente, cela consiste à prélever des échantillons selon une structure régulière. Il existe différentes configuration de maillage, mais celle faite à partir d'un maillage carré est la plus courante. L'échantillonnage aléatoire simple consiste à prélever des échantillons à des endroits choisis au hasard sur le terrain, elle peut donner des résultats précis si nous connaissons les zones homogènes.

Dans notre cas, lorsque on prend les zones homogènes d'image satellitaire et tous les obstacles comme la grandeur de la surface de la zone d'étude et les endroits non accessibles et dangereux.

Pour la topographie de la zone d'étude, le type d'échantillonnage est pris en considération ; c'est l'échantillonnage aléatoire simple après avoir considéré la carte des classes d'utilisation des terres. Pour notre cas d'étude nous avons choisi les sites mentionnés dans la figure III.9 et III.11

#### e. Prélèvement des échantillons

L'emplacement des sites des échantillons du programme google earth sont transférés à un fichier KMZ et transmis au smartphone et à l'aide du GPS et des applications de la navigation comme maps.me et google earth l'emplacement de l'échantillon est déterminé exactement.

L'emplacement du point du prélèvement devra être approximativement au centre de la zone ou couverture végétale est homogène [Aubert, 1978]. On prend 2 à 3 kg pour chaque échantillon.

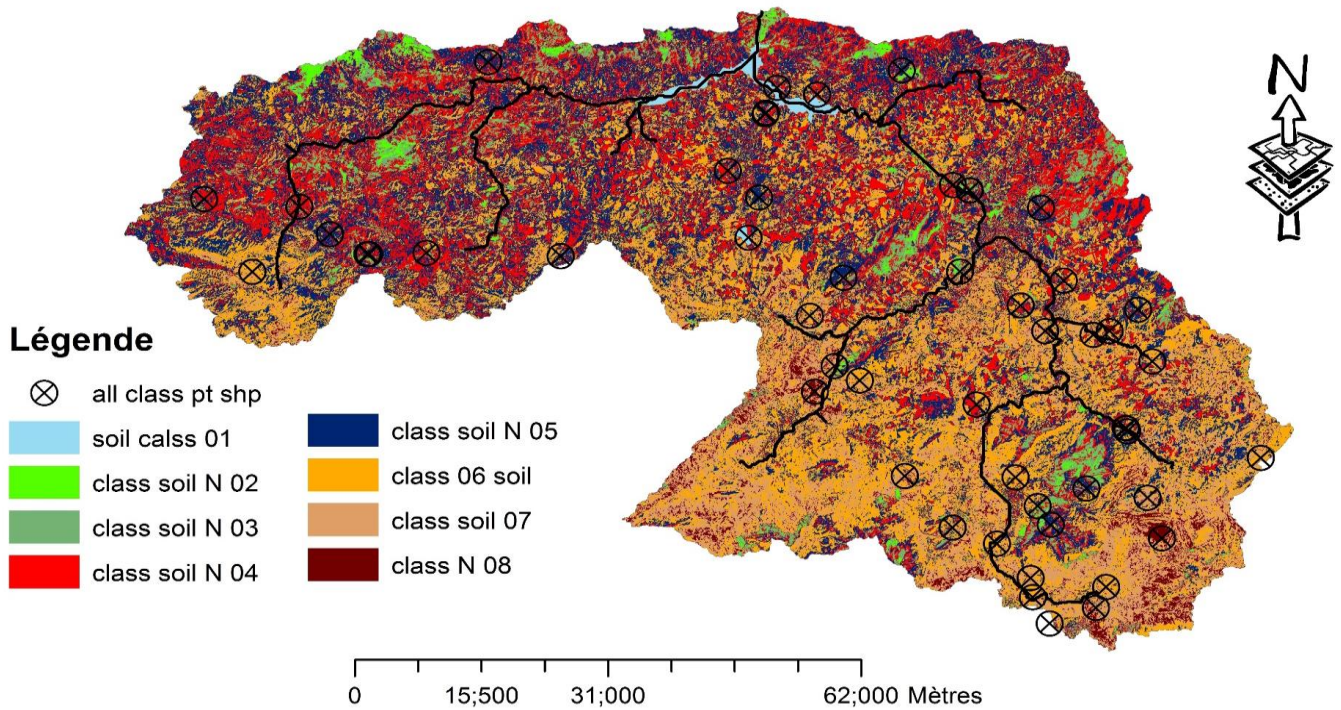


Figure III.9 Cartes des zones homogènes et des sites des échantillons

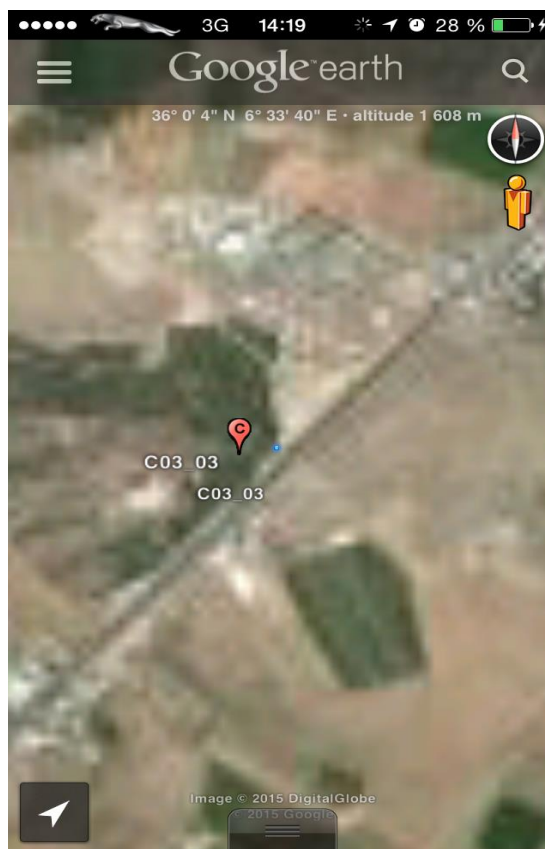


Figure III.10 Image représente l'emplacement de l'échantillon C03\_03 en utilisant le GPS et logiciel google earth



**g. Résultat des analyses**

Les résultats des analyses des échantillons sont représentés dans le tableau III.5

Tableau III.5 Résultats des analyses

classe	Echantillon N	Les coordonnées UTM 32 S			texture					H.C	E.C	C.E.S	densité	ph	mo	k usel
		X	Y	Z	argile	limon	sable	gravel	texture							
classe 01	C01_01	258640	4044450	193	2.4	1.7	74.24	21.66	S	125.10	150	18.43	1.60	7.56	1.76	0.1416
	C01_02	255137	4024822	837	3.4	2	73.48	21.12	S	113.23	154	20.84	1.76	7.47	4.14	0.1264
classe 02	C02_01 (31S)	747232	4021285	1106	4.55	4.65	66.38	14.83	L-S	135.40	97	16.86	1.68	7.39	3.31	0.1617
	C02_02	257291	4041177	217	4	0.9	66.38	28.72	S	364.32	116	11.26	1.52	7.46	1.80	0.1370
	C02_03	281032	4020372	617	5.5	4.5	72.49	17.51	L-S	52.97	201	13.80	1.63	7.38	3.44	0.1516
	C02_04	282233	4031021	341	4.6	4.7	69.59	21.11	S	79.53	132	18.40	1.64	7.44	4.92	0.1499
	C02_05	301370	3999838	799	4.5	4.8	67.59	23.11	L-S	143.29	183	10.37	1.64	7.29	4.35	0.1554
	C02_06	301517	3999456	801	3	1.3	62.8	32.9	S	640.48	126	13.97	1.43	7.41	5.34	0.1180
classe 03	C03_01	280372.14	4019312.3	631	2.05	2.95	94.47	0.53	S	771.01	257	5.99	1.57	7.09	1.33	0.0782
	C03_02	290536	3989662	872	1.9	0.5	60.98	36.62	S	213.33	123	8.37	1.59	7.43	2.35	0.1146
	C03_03	280118	3986830	795	2.8	0.7	63.04	33.46	S	252.51	130	9.50	1.65	7.49	1.48	0.1378
	C03_04	301288	3999906	794	3.55	1.35	61.06	34.04	S	786.33	156	9.26	1.66	7.43	1.30	0.1595
	C03_05	282165.97	4031002.8	340	5.75	4.05	53.83	36.37	L-S	158.59	160	10.05	1.68	7.55	1.20	0.1823
	C03_06 (31S)	747445	4021316	1132	2.05	1.6	58.38	35.52	S	344.55	182	11.07	1.62	7.60	1.83	0.1546
classe 04	C04_01	283052	4002940	821	1.6	0.2	60.89	37.31	S	390.37	101	18.07	1.63	7.50	7.29	0.0652
	C04_02	293731.56	4019200.5	619	4.2	0.7	79.09	16.01	S	305.08	143	19.23	1.64	7.41	8.28	0.0715
	C04_03	290923.19	4028728.9	745	2.3	3.65	77.02	17.03	S	73.71	158	18.72	1.71	7.42	6.86	0.1193
	C04_04	280162.97	4031690.5	352	3.5	1.1	76.02	19.38	S	40.45	173	27.88	1.71	7.44	6.71	0.0934
	C04_05	257200.81	4040986	260	4.1	0.6	73.33	21.97	S	49.97	129	18.81	1.74	7.50	6.71	0.0838
	C04_06	263496.11	4043602.2	246	3.1	1.6	72.19	23.11	S	270.82	122	27.88	1.65	7.52	4.54	0.1206
	C04_07	252608.03	4033577.2	691	2.35	0.85	77.39	19.41	S	225.66	93	19.64	1.62	7.55	6.71	0.0842
	C04_08 (31S)	754388	4021846	806	4.95	1.7	79.1	14.25	S	44.46	201	14.23	1.70	7.43	3.18	0.1121
	C04_09 (31S)	738527.96	4026957.5	643	2.1	0.4	59	38.5	S	44.46	234	20.62	1.73	7.32	5.22	0.0877
	C04_10 (31S)	726831	4027244	913	3.7	1.5	68.63	26.17	S	47.60	129	16.36	1.70	7.39	2.90	0.1356
classe 06	FC06_01	298914	3979072	855	3.4	2	67.86	26.74	S	48.60	709	2.63	1.63	6.88	4.14	0.1345
	C06_02	289927.04	3977729.5	809	5.3	2.1	74.39	18.21	S	17.28	159	4.13	1.63	7.49	4.87	0.1215
	C06_03	285556.62	3984742.8	773	6.1	1.4	81.15	12.75	S	40.82	175	12.89	1.72	7.54	2.66	0.1036
	C06_04	287837	3993408	786	2.15	0.75	49.7	47.4	S	37.97	175	12.03	1.69	7.37	3.42	0.1164

H.C : conductivité hydraulique, E.C : conductivité électrique, C.E.S : capacité de l'eau dans le sol, D : densité apparente, mo : matière organique, k usel : facteur K d'érodabilité

Suit tableau III.5

classe	Echantillon N	Les coordonnées UTM 32 S			texture					H.C	E.C	C.E.S	D	ph	mo	k usel
		X	Y	Z	argile	limon	sable	gravel	texture							
classe 06	C06_05	317843.66	3995971.5	1052	6.4	1.35	79.5	12.75	S	58.96	278	13.11	1.58	7.42	4.66	0.0969
	C06_06	304570	4008597	721	2.1	1.8	66.52	29.58	S	47.01	153	11.97	1.74	7.46	5.87	0.1229
	C06_07	297360.23	4012090.7	645	2.05	0.95	66.77	30.23	S	90.64	112	8.50	1.48	7.51	5.49	0.1067
	C06_08	288468.62	4015934.5	635	5.3	1.5	78.88	14.35	S	47.01	144	10.16	1.74	7.56	4.59	0.1017
	C06_09	268756.39	4006095.2	759	3.2	1.4	66.69	28.71	S	90.64	88	12.40	1.70	7.56	2.65	0.1379
	C06_10	262631.76	4014593.7	706	4.8	1.4	69.02	24.78	S	39.10	86	11.03	1.70	7.54	3.68	0.1269
	C06_11 (S31)	733309.5	4018106.8	914	5.3	2.1	74.39	18.21	S	71.07	159	7.05	1.60	7.49	4.87	0.1215
classe 07	C07_01	289692.74	3980229.5	823	4.3	4.7	76.38	14.62	S	143.29	132	19.65	1.70	7.47	2.84	0.1446
	C07_02	303990.63	3990748.7	832	2.2	1.8	72.63	23.37	S	144.42	128	17.12	1.64	7.54	1.26	0.1547
	C07_03	274283.89	3993597.7	821	2	1.6	62.84	33.56	S	36.13	113	8.13	1.63	7.56	2.06	0.1503
	C07_04	4008015.6	4008015.6	687	2.2	4.8	63.67	29.33	S	30.23	137	17.77	1.70	7.53	0.83	0.1869
	C05_05	291451.19	4012572.3	623	2.8	2.6	67.92	26.68	S	48.80	166	17.84	1.70	7.33	1.24	0.1694
classe 08	C08_01	297660	3976330	855	4.3	1.7	64.32	29.68	S	143.29	99	10.37	1.64	7.52	4.35	0.1309
	C08_02	305754	3985440	880	3.7	6.3	60.57	29.43	L-S	69.25	127	13.90	1.72	7.57	2.44	0.1753
	C08_03	299338.49	4012580.9	728	3	1.2	76.35	19.45	S	91.20	144	11.83	1.76	7.53	1.39	0.1336
	C08_04	263268.11	4004655.3	736	5	2.6	89.28	3.12	S	89.13	137	8.23	1.75	7.45	1.61	0.0871

H.C : conductivité hydraulique, E.C : conductivité électrique, C.E.S : capacité de l'eau dans le sol, D : densité apparente, mo : matière organique, k usel : facteur K d'érodabilité

**h. Cartes de variation de chaque paramètre**

Le logiciel ARC-GIS a été utilisé pour créer les cartes de variation de chaque paramètres à l'aide de l'outil IDW [Childs, 2004] intégré dans le logiciel pour faire une interpolation entre les point qui représentent l'emplacement de chaque échantillon.

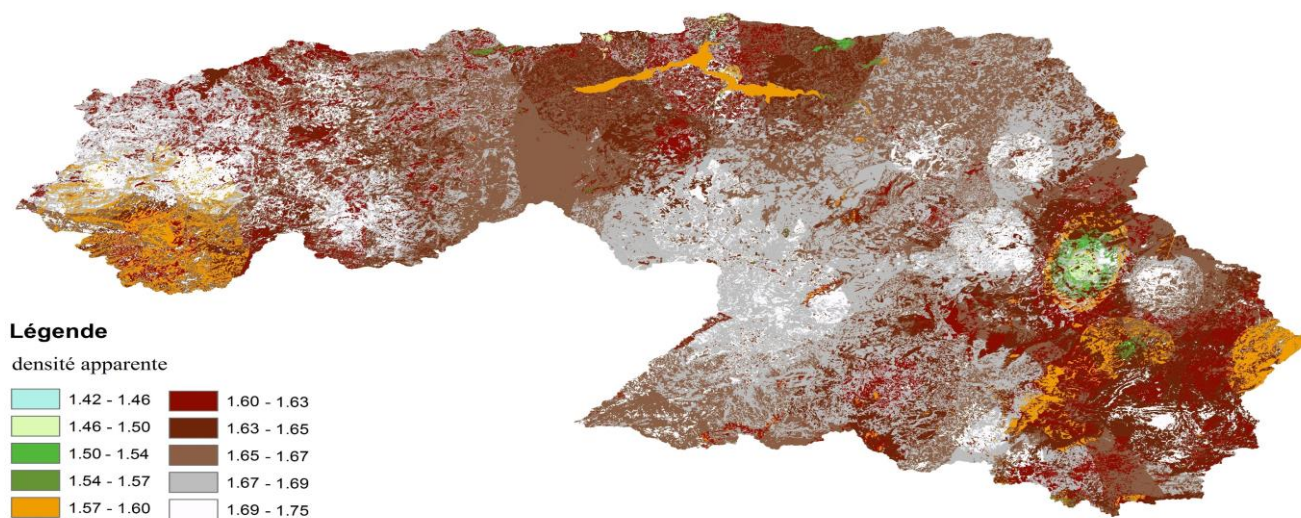


Figure III.12 Carte de variation de la densité apparente

Tableau III.6 Variation de la densité apparente par rapport au pourcentage de la surface

Intervalle de densité apparent (g/cm <sup>3</sup> )	Pourcentage de surface (%)
1.4 – 1.59	2.29
1.6 – 1.76	97.71

Selon l'étude de [Păltineanu et al., 2015] une densité apparente entre 1.4 à 1.75 g/cm<sup>3</sup> est considéré moyenne. Il a aussi insisté sur l'influence de cette densité sur la croissance des racines qui à son tour selon [Gyssels et al., 2005] a une influence négative sur l'érosion.

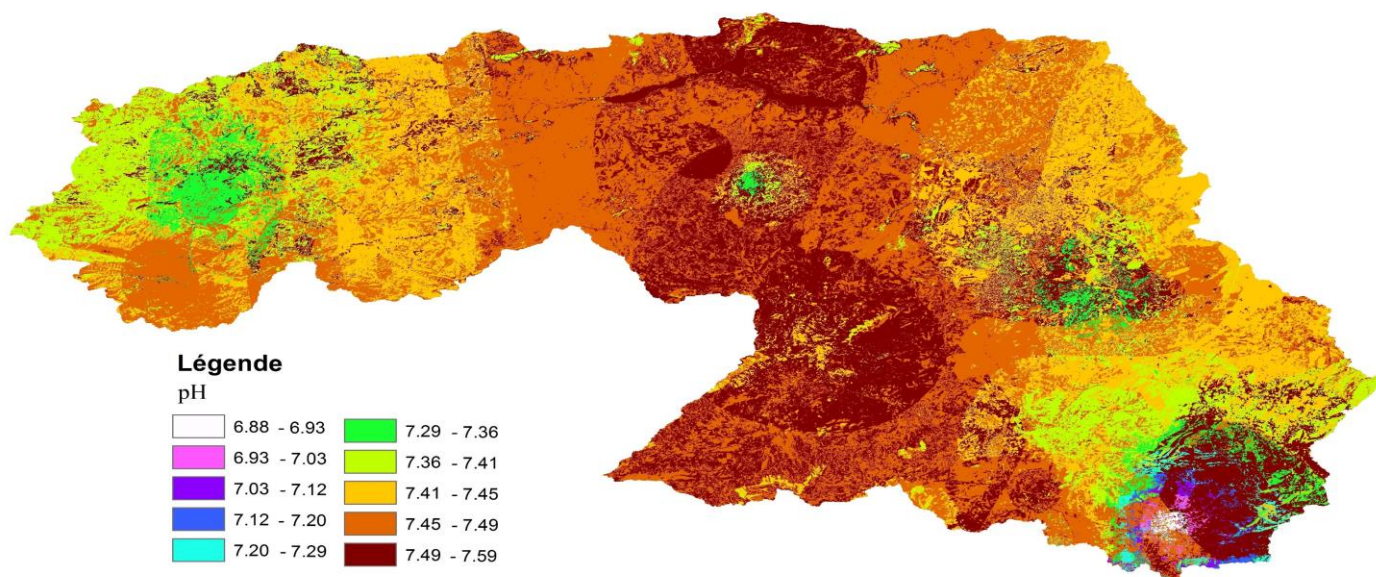


Figure III.13 Carte de variation du pH

Tableau III.7 Variation du pH par rapport au pourcentage de la surface

intervalle de pH	pourcentage de surface
6.29-7.29	1.11
7.30-7.41	28.04
7.42-7.59	70.85

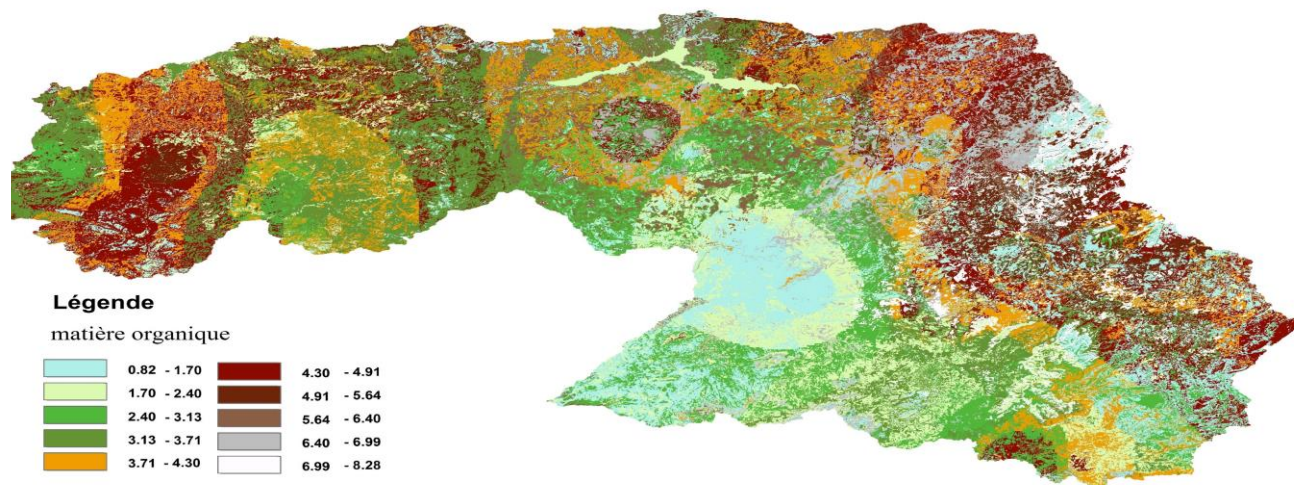


Figure III.14 Carte de variation de la matière organique



Tableau III.8 Variation de la Matière Organique par rapport au pourcentage de la surface

intervalle de M.O (%)	pourcentage de surface
0.825-5.5	86.6
5.501-8.25	13.4

Selon [Zeng et al., 2011] le pH et les M.O ont une grande influence sur la présence et la concentration des métaux lourds dans les sols en raison de leur relation avec le pH, et selon [Frye et al., 1982] il y'a une forte relation entre les sols érodés et la densité apparent plus élevé et la matière organique plus faible.

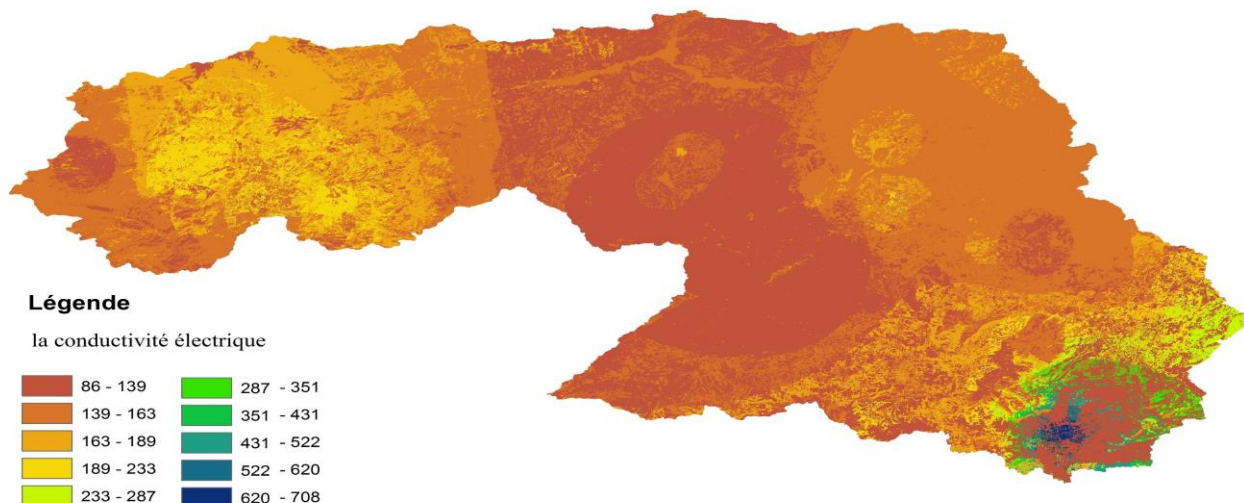


Figure III.15 : Carte de variation de la conductivité électrique

Tableau N III.9 Variation de la CE par rapport au pourcentage de la surface

Intervalle de la conductivité électrique (ds/m)	Pourcentage de surface (%)
86 - 287	98.56
288 - 708	1.44

La conductivité électrique et la mesure de la teneur globale en sels dissous dans le sol, et en général n'aucun effet direct sur la croissance ou le rendement des cultures [Zhang and Wienhold, 2002], mais elle a une relation diverses sur les autres paramètres exemple le pH, la relation entre le pH et la C.E a une  $R^2$  de 0.63.

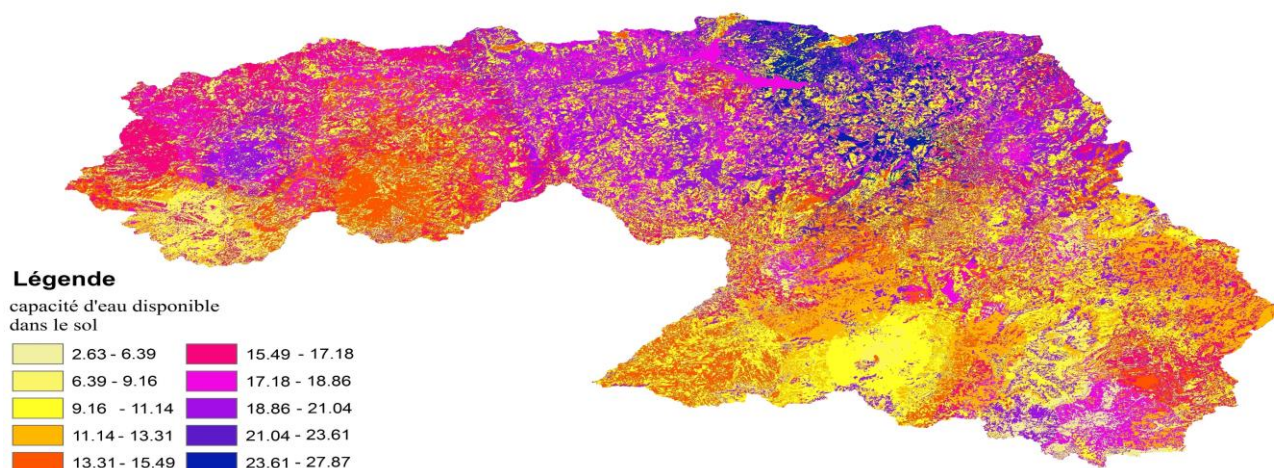


Figure III.16 Carte de variation de la capacité d'eau disponible dans le sol

Tableau III.10 Variation de la capacité d'eau dans le sol par rapport au pourcentage de la surface

Intervalle de la capacité d'eau dans le sol (%)	Pourcentage de surface (%)
2.63 – 9.16	7.96
9.17 – 21.04	86.06
21.05 – 27.87	5.96

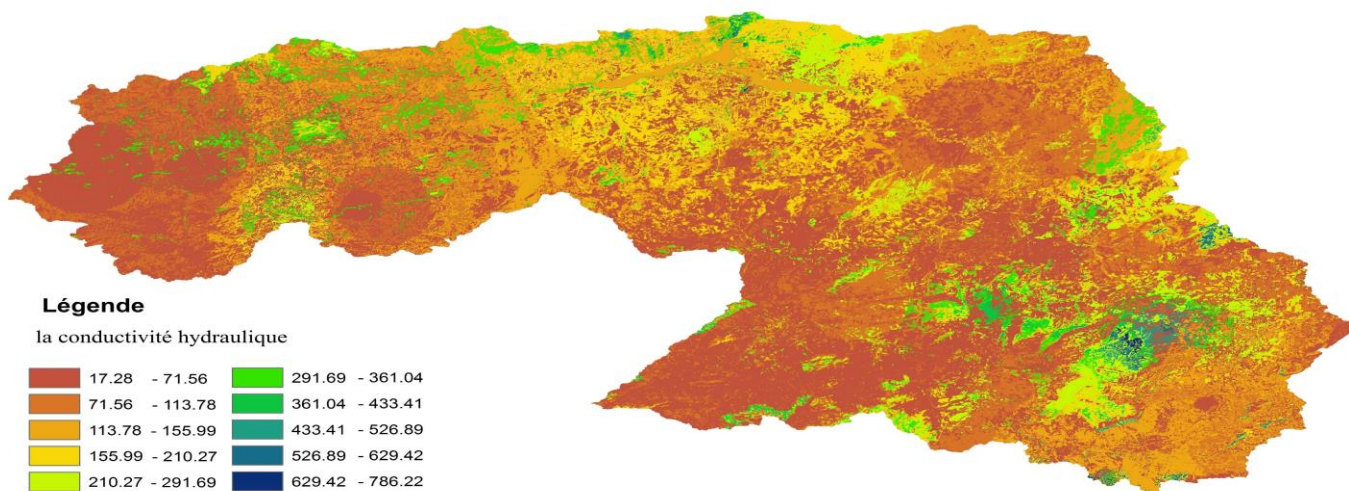


Figure III.17 Carte de variation de la conductivité hydraulique

Tableau III.11 Variation de la conductivité hydraulique par rapport au pourcentage de la surface

Intervalle de la conductivité hydraulique (mm/h)	Pourcentage de surface (%)
17.285 – 150	76.70
150.01 – 786.23	23.30

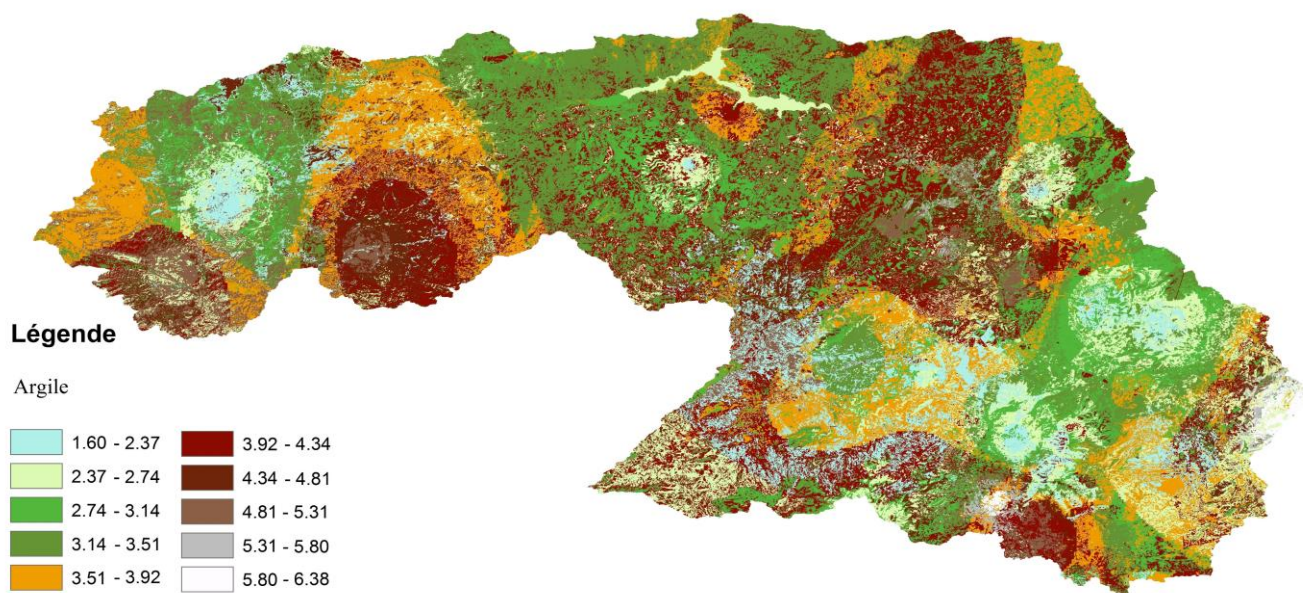


Figure III.18 Carte de variation du pourcentage de l'argile

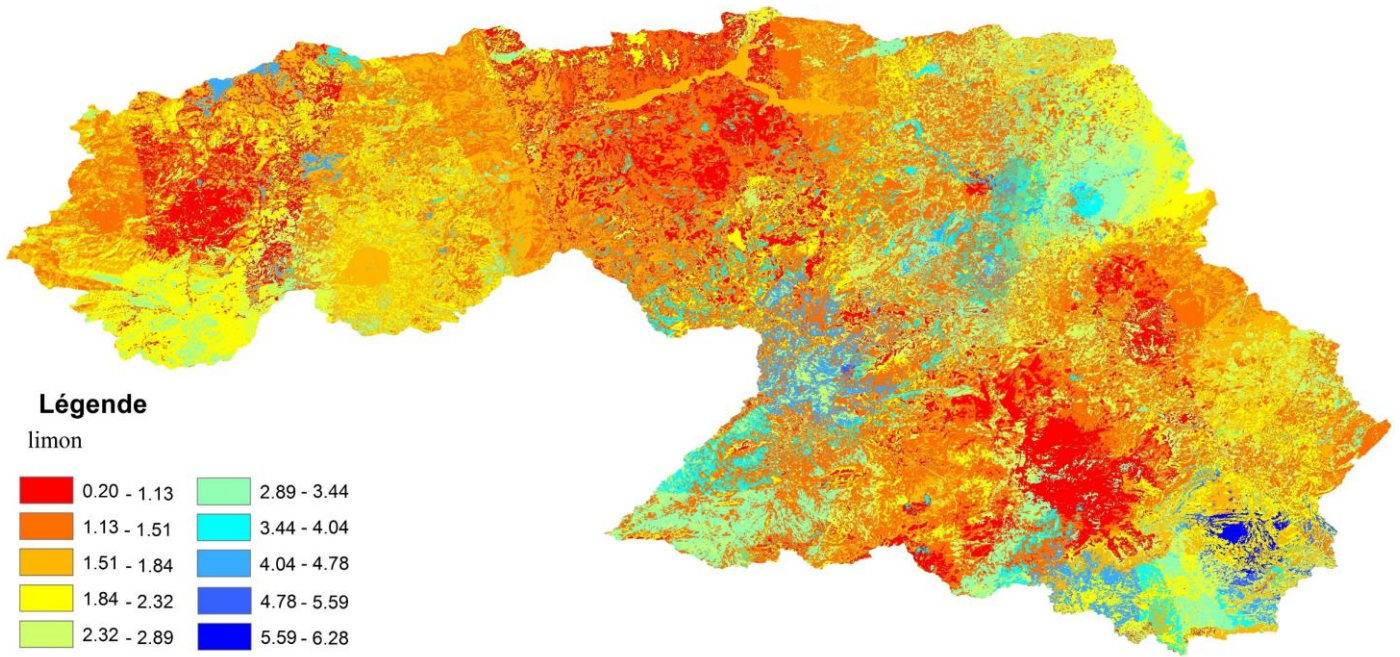


Figure III.19 Carte de variation du pourcentage de limon

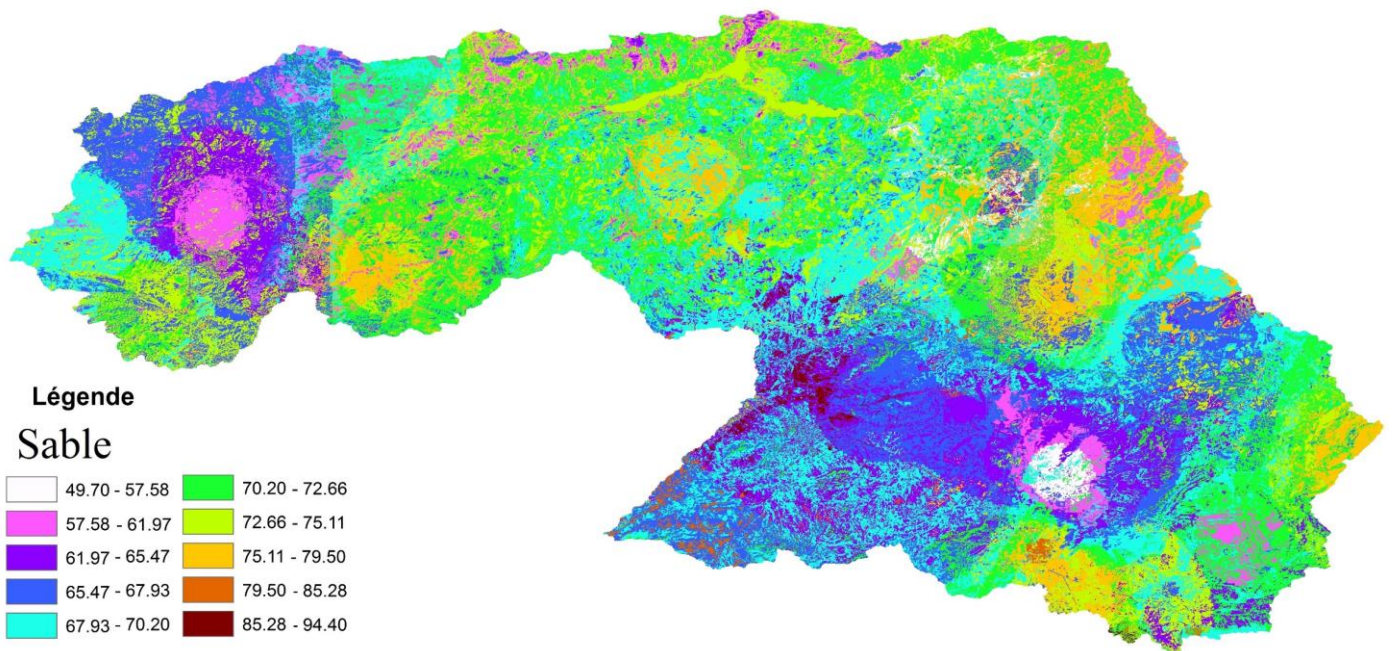


Figure III.20 Carte de variation du pourcentage de Sable

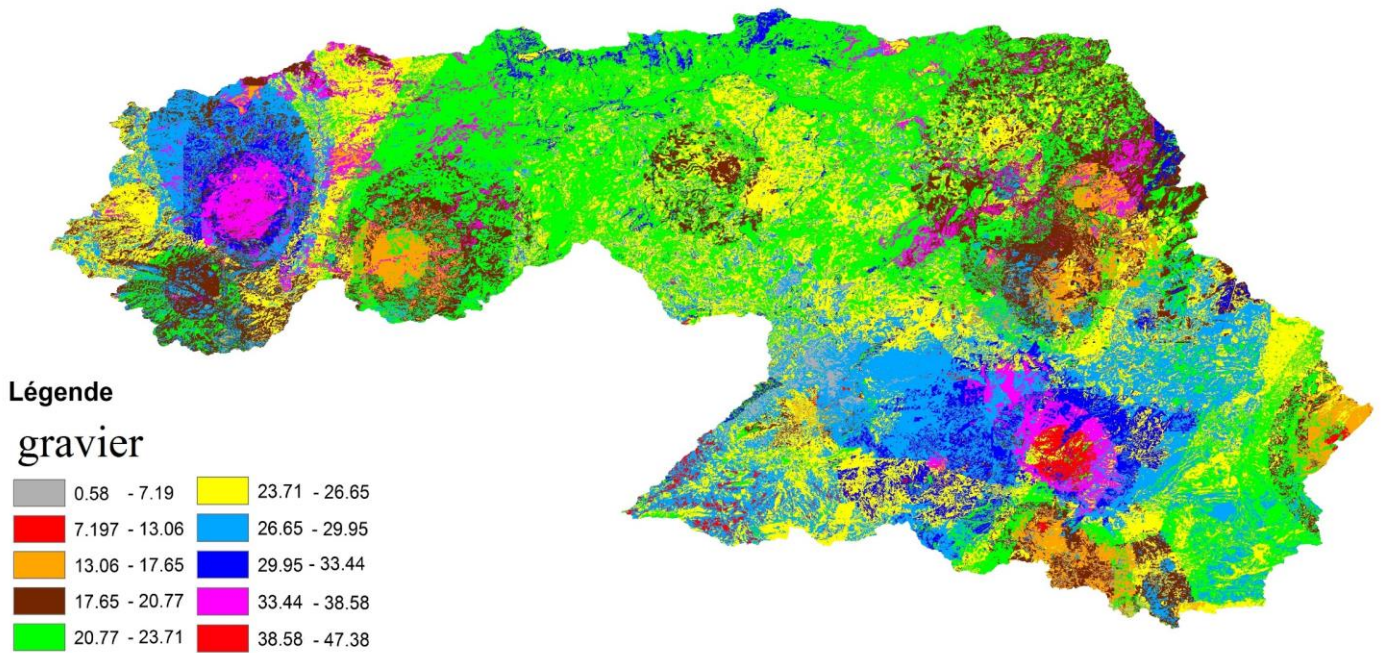


Figure III.21 Carte de variation du pourcentage de gravier

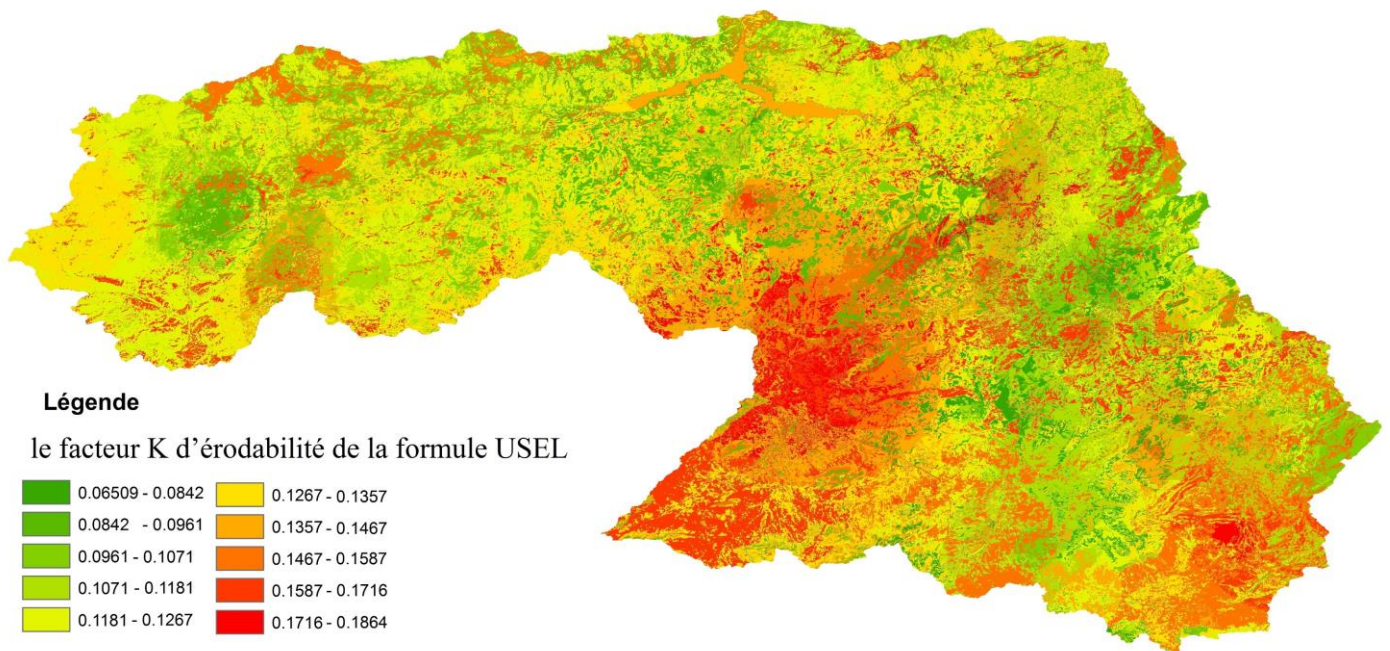


Figure III.22 Carte de variation du facteur K d'érodabilité de la formule USLE

Tableau III.12 Variation de facteur K d'érodabilité par rapport au pourcentage de la surface

Intervalles de facteur K d'érodabilité (t.ha.h.ha <sup>-1</sup> .MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	Pourcentage de surface (%)
0.065 – 0.11	22.14
0.111 – 0.15	56.08
0.151 – 0.18	21.78

Pour le facteur K d'érodabilité de la formule d'USEL [[Arnold et al., 2013](#)] ce dernier a une relation avec la matière organique, la texture et la conductivité hydraulique.

Selon [[Dumas, 1965](#)], si le facteur K d'érodabilité est de 0.05 a 0.1 ; le sol est faiblement érodables, mais de 0.1 à 0.2 ; le sol est moyennement érodables.

#### **Création de la carte des types des sols générés par tous les paramètres**

L'outil de la superposition dans le logiciel ARC-GIS a été utilisé pour création de la carte des types des sols générés par tous les paramètres. Pour faciliter et réduire le nombre des classes résultantes, Nous avons combiné chaque intervalle dans chaque cartes de variation des paramètres, pour cela nous avons attribué à chaque intervalles une seul valeur qui est la moyenne pondérés de la chaque intervalle sur la surface de ce derniers. Après on utilise la super position des cartes résultants. Voir tableau III.13 et figure III.23

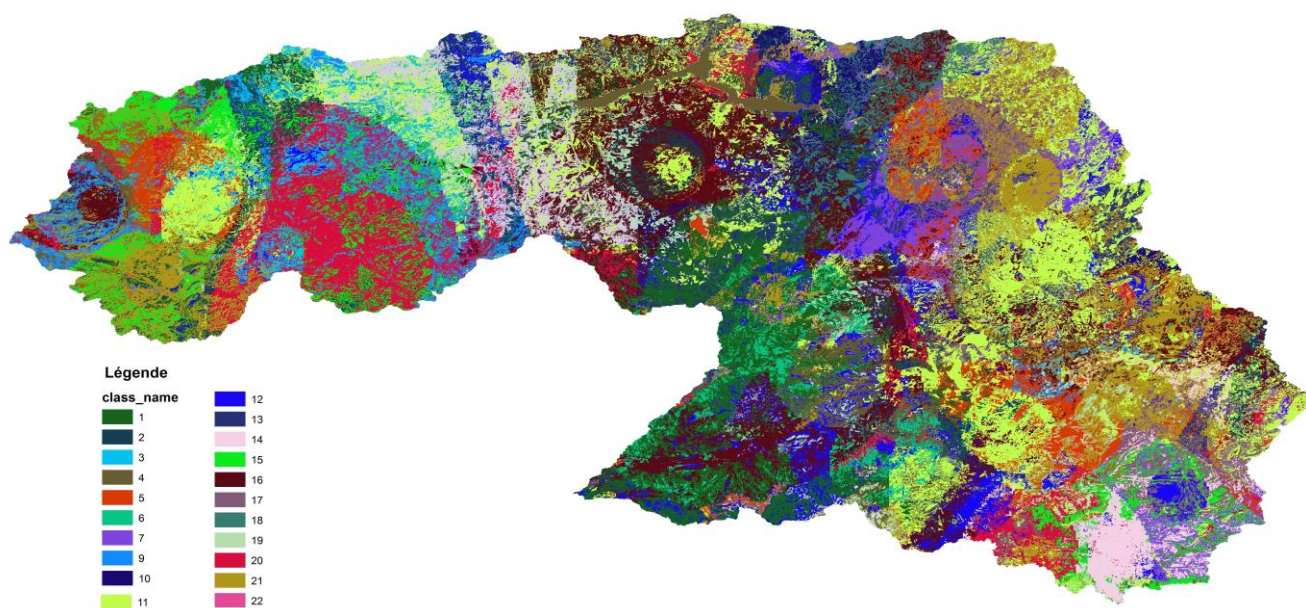


Figure III.23 Carte des types des sols

Tableau III.13 Base de données des types des sols

class_name	argile	limon	sable	gravel	HC	MO	K_usel	D	EC	H2osol	surface	GRP HYD	texture
1	3.46	3.74	92.8	24.3	66.258	1.32	0.1768	1.69	144	10.84	546.89	B	sand
2	5.57	1.62	92.8	24.3	150.617	4.917	0.1007	1.64	144	10.84	165	B	sand
3	2.43	4.77	92.8	24.3	286.27	1.939	0.1584	1.64	216	15.66	128.68	A	sand
4	4.62	2.43	92.95	24.42	150.617	1.939	0.1385	1.64	144	18.81	170.295	B	sand
5	7.33	5.29	87.38	24.82	416.47	3.078	0.1214	1.64	144	23.47	241.11	A	loamy sand
6	5.83	7.1	87.06	24.55	66.258	1.939	0.1584	1.69	144	10.84	119.48	B	loamy sand
7	6.71	2.24	91.05	17.84	66.258	3.947	0.1584	1.64	144	10.84	190.18	B	sand
8	4.62	2.43	92.95	24.42	150.617	3.947	0.1214	1.64	144	10.84	206.62	B	sand
9	4.62	2.43	92.95	24.42	286.27	3.947	0.1385	1.64	216	15.66	166.5	A	sand
10	4.62	2.43	92.95	24.42	150.617	3.947	0.1214	1.64	144	23.47	98.21	B	sand
11	2.77	8.28	88.95	33.49	66.258	3.078	0.1214	1.64	144	18.81	959.03	B	sand
12	4.25	4.85	90.9	17.92	150.617	3.078	0.1768	1.64	144	23.47	329.01	B	sand
13	4.62	2.43	92.95	24.42	286.27	3.078	0.1768	1.64	144	18.81	213.75	A	sand
14	4.25	4.85	90.9	17.92	150.617	1.939	0.1584	1.64	623	7.7	143.39	B	sand
15	4.25	4.85	90.9	17.92	66.258	3.947	0.1214	1.69	428	15.66	300.71	B	sand
16	5.57	1.62	92.8	24.3	66.258	3.078	0.1385	1.64	144	18.81	829.17	B	sand
17	6.62	2.24	91.14	17.92	150.617	1.32	0.1584	1.64	144	10.84	220.64	B	sand
18	6.62	2.24	91.14	17.92	150.617	6.122	0.1007	1.64	144	18.81	106.8	B	sand
19	6.62	2.24	91.14	17.92	150.617	6.94	0.0815	1.64	144	18.81	125.49	B	sand
20	6.62	2.24	91.14	17.92	66.258	3.078	0.1214	1.69	144	15.66	483.49	B	sand
21	6.62	2.24	91.14	17.92	66.258	4.917	0.1214	1.64	144	7.7	656.02	B	sand

#### III.2.4. Les données métrologique et hydrométrique

Les données journalières climatiques de 4 stations météorologiques sont fournies par l'office national algérien de météorologie "ONM". Par contre les données des 5 postes pluviométriques et des 5 stations hydrométriques pour contrôler les débits liquides et solides des cours d'eau dans le bassin versant sont fournies par l'agence nationale des ressources hydrauliques «ANRH». Voir figure II.2

Le model SWAT nécessite aussi un fichier de base des données météo mensuelle portés dans le tableau attributaire "Weather database" pour cela nous utilisons WGNmaker 4.1 qui est un programme statistique qui calcule les moyennes météorologiques mensuelles sur la base de données quotidiennes [Sergio, 2012] pour combler les lacune des station météorologique.

### III.3. Configuration du model

Pour atteindre les buts escomptés de cette étude, nous l'avons un protocole d'étude devisé en 4 étapes avec deux scenarios. La figure III.24 schématise ce protocole.

La 1<sup>er</sup> étape permet de déterminer les types de données pour chaque scenario et modifier et réglé ces derinier pour le model SWAT.

La 2<sup>eme</sup> étape permet de faire la simulation pour chaque scenario et voir les résultat préliminaire Ce qui aide à sélectionner et choisie les paramètres nécessaire pour la calibration du model.

La 3<sup>ème</sup> étape consiste à une calibration du model et à une comparaison des résultat avec les données observés des postes hydrométriques de mesures et la validation.

La 4<sup>ème</sup> étape permet la comparaison entre les scenario et voire qui donne le meilleur résultat.

### **III.3.1. Scenario 01**

Le 1<sup>er</sup> scénario consiste à utiliser les données mondiales qui sont disponibles, gratuites et faciles d'accès pour voir l'influence de ces dernières sur les résultats de simulation des débits liquides et solides dans le model SWAT ainsi que leur utilité pour le model dans cette zone d'étude.

Dans ce scenario nous utilisons les données d'entrée du model SWAT pour :

- 1- L'utilisation de la couverture des terres : GlobalCover.
- 2- Les types des sols: Harmonized World Soil Data base –HWSD-.

Le model a devisé le bassin en 31 sous-bassiné et par suite 1010 HRU's.

### **III.3.2. Scenario 02**

Le 2<sup>ème</sup> scénario consiste à utiliser les données extraites des images satellitaires LANDSAT8 en utilisant la télédétection et la cartographie numérique des sols afin de voir l'utilité de ces données et la représentativité du bassin versant du barrage dans le model.

Dans ce scenario nous utilisons les données d'entrée du model SWAT pour

- 1- L'utilisation de la couverture des terres : en utilisant les données de la télédétection.
- 2- Les types des sols : en utilisant les données et la base de données des types des sols basés sur la télédétection et la cartographie numérique des sols.

Le model a devisé le bassin en 31 sous-bassins comme le 1<sup>ère</sup> scenario pour comparés les résultats et par suite 12435 HRU's (Unité de Renonce Hydrologique).

Et pour le model numérique des terrains et les données météorologique nous avons utilisé les même données pour les deux scénarios

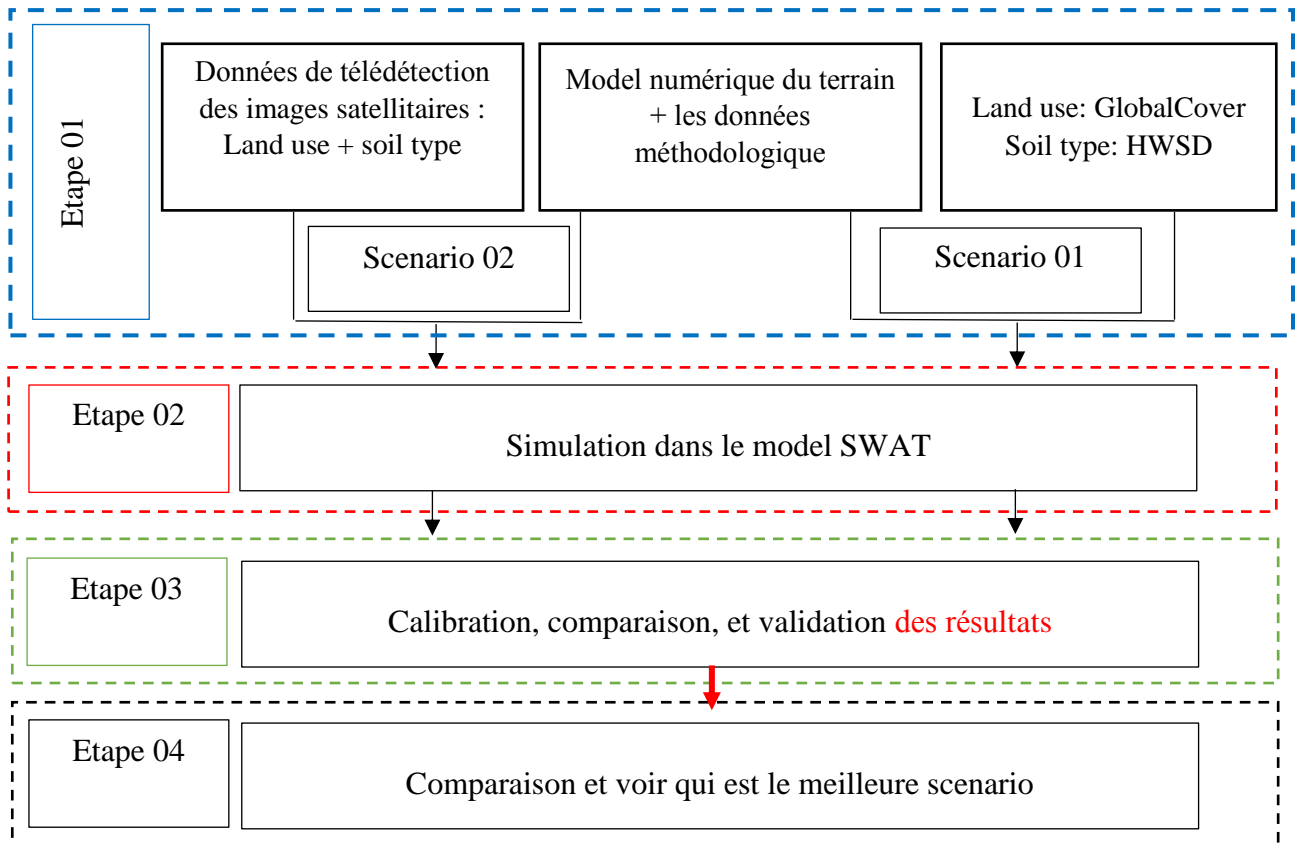


Figure III.24 Etapes du plan de travail





*Chapitre IV*  
*Modélisation*  
*Hydrologique Des*  
*Débits Liquides et*  
*Solides*

Ce chapitre présente les résultats de la modélisation hydrologique des débits liquides et solides dans le bassin versant, avec les résultats préliminaires, la calibration du modèle, la comparaison et la validation pour les deux scénarios. Ce chapitre présente en première partie, notre article publié en 2019 a la revue journal of water and land development, sous le theme “Hydrological modeling of liquid flows using SWAT model with two types of data in the Beni Haroun dam watershed Algeria” [KATEB et al., 2019]. et en seconde partie, un autre article paru dans la revue ARABIAN JOURNAL OF GEOSCIENCES sous le theme ”Sediment transport modeling by the SWAT model using two scenarios in the watershed of Beni Haroun dam in Algeria” [Kateb et al., 2020].

## IV.1. la modélisation hydrologique des flux liquides

### IV.1.1.les résultats préliminaires de la modélisation des débits liquides

Après avoir fait la simulation de chaque scenario, les résultats seront comparé avec les données des stations de jaugeage dans le bassin versant (figure IV.1, 2,3 pour scenario 01 et figure IV.4, 5,6 pour scénario 02) en utilisant les stations suivant : station GRAREM sur la période (1992-2000), la station AIN SMARA sur la période (1985-1991), la station TASSADANE sur la période (1981-2006 avec un pas de temps journaliers.

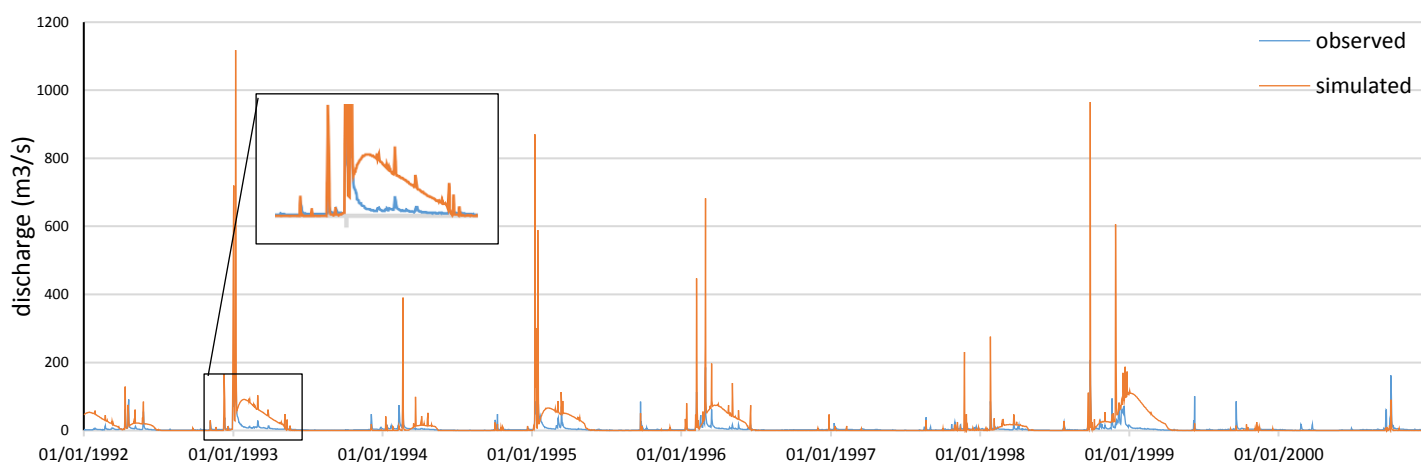


Figure IV.1 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station GRAREM dans le 1<sup>er</sup> scénario

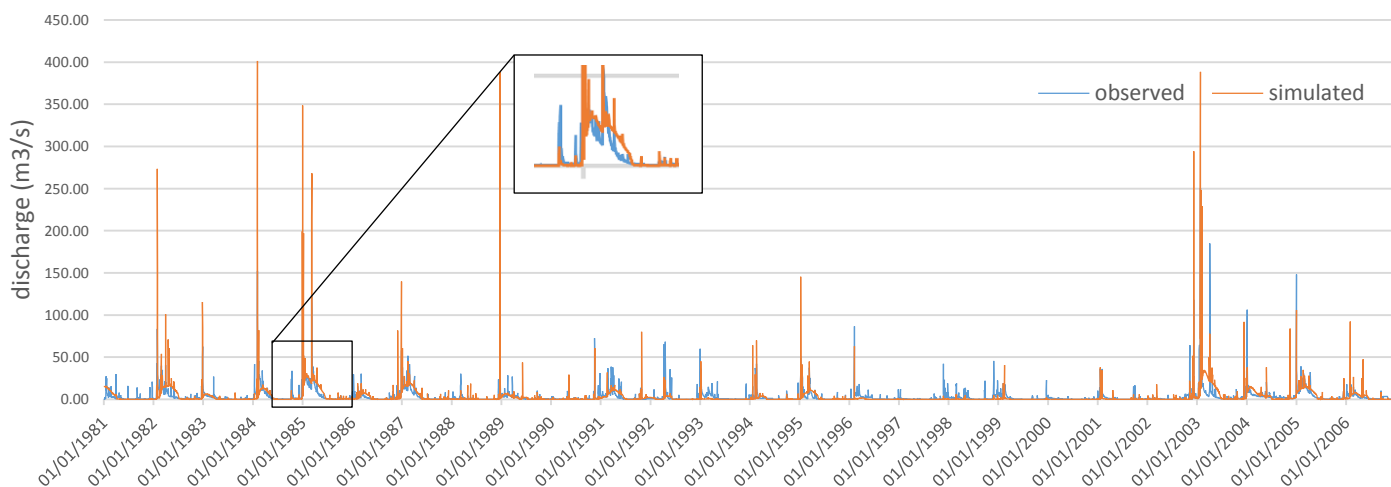


Figure IV.2 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station TASSADANE dans le 1<sup>er</sup> scénario

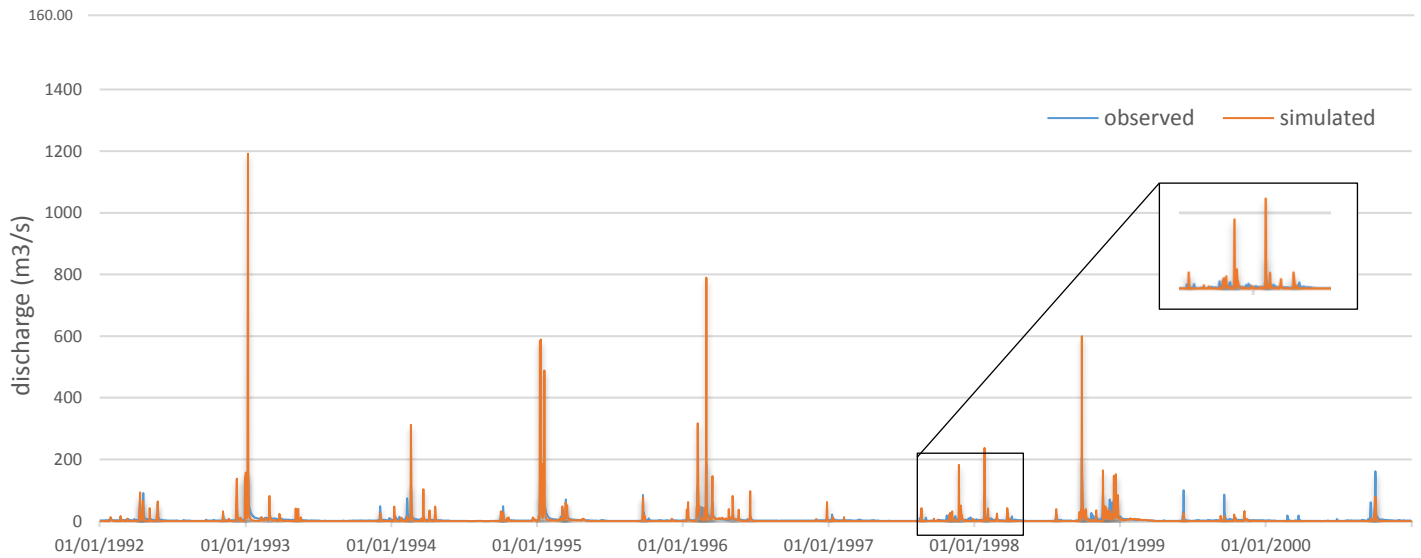


Figure IV.4 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station GRAREM dans le 2<sup>eme</sup> scénario

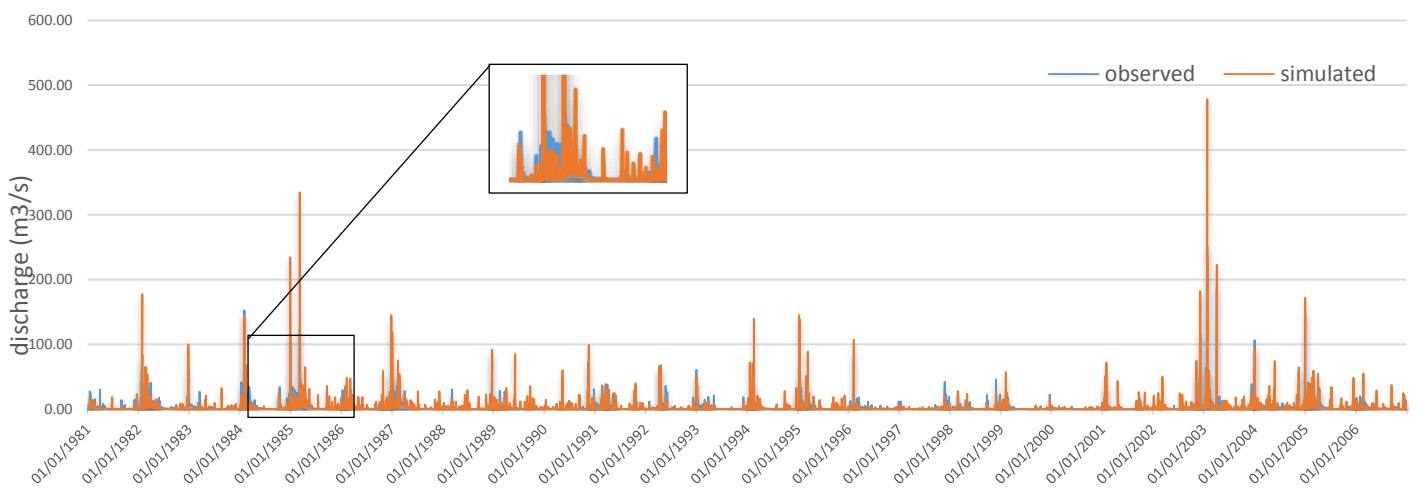


Figure IV.5 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station TASSADANE dans le 2<sup>eme</sup> scénario

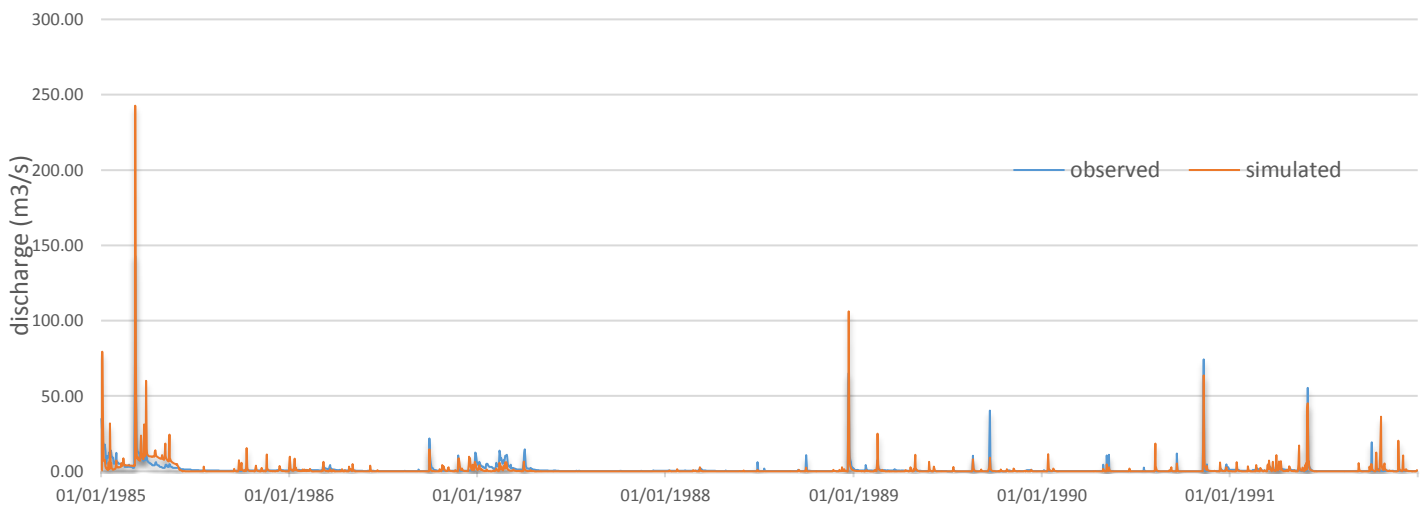


Figure IV.6 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station AIN SMARA dans le 2<sup>eme</sup> scénario

D'après les résultats préliminaires, notre model necessite une calibration pour les 2 scénario

- Pour le 1<sup>ère</sup> scenario, les résultats montrent que le débit liquide simulé et plus grand que l'observé pour la station GRAREM ( moy observée = 5.33m<sup>3</sup>/s , moy simulée =14.47 m<sup>3</sup>/s), (max observé=207.33 m<sup>3</sup>/s, max simulé=1118 m<sup>3</sup>/s), TASSADANE (moy observé = 3.28 m<sup>3</sup>/s, moy simulér =3.14 m<sup>3</sup>/s), (max observé=250.71 m<sup>3</sup>/s, max simulé=401.30 m<sup>3</sup>/s), sauf la station de AIN SMARA (moy observer = 1.24 m<sup>3</sup>/s, moy simuler =0.47 m<sup>3</sup>/s) ,(max observer=143.03 m<sup>3</sup>/s, max simuler=142.70 m<sup>3</sup>/s).
- Pour le 2<sup>ème</sup> scenario, les résultats montrent qu'il y a une difference entre le simulé et l'observé pour la station GRAREM ( moy observée = 5.33 m<sup>3</sup>/s, moy simulée =4.88 m<sup>3</sup>/s), (max observé=207.33 m<sup>3</sup>/s, max simulé=1192 m<sup>3</sup>/s), TASSADANE (moy observée = 3.28 m<sup>3</sup>/s, moy simulée =2.36 m<sup>3</sup>/s), (max observé=250.71 m<sup>3</sup>/s, max simulé=478.40 m<sup>3</sup>/s), AIN SMARA (moy observée = 1.24 m<sup>3</sup>/s, moy simulée =1.16 m<sup>3</sup>/s) ,(max observé=143.03 m<sup>3</sup>/s, max simulé=242.70 m<sup>3</sup>/s).

Les données obtenues sont globalement satisfaisants et confirment que notre model require une calibration des paramètres qui ont une influence sur le ruissellement de surface et les eaux souterraines [White and Chaubey, 2005], [Zhang et al., 2008], [Arnold et al., 2012]

### IV.2. Analyses de sensibilité

L'analyses de sensibilité est une approche qui permet d'évaluer l'impact de changement des paramètres d'entrée sur les résultats du model, dans cette étude on utilise le logiciel SWAT-CUP (Calibration Uncertainty Procedures), utilisant SUFI-2 algorithm (Sequential Uncertainty Fitting, ver. 2) [Abbaspour, 2013]. Le but des 2 scénarios est de voir l'influence des paramètres de ruissellement de surface et des eaux souterraines sur les résultats modèles, 50 simulations ont été effectuées pour chaque station hydrométrique.

### IV.3. Évaluation du modèle

Les deux scénarios sont évalués en utilisant le coefficient d'efficacité Nash-Sutcliffe (NSE) [Nash and Sutcliffe, 1970] et le coefficient de détermination (R<sup>2</sup>) [Tarald, 1985]

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \dots \dots \dots (IV. 1)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) (S_i - \bar{S})}{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2]^{1/2} \times [\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2]^{1/2}} \dots \dots \dots (IV. 2)$$

Ou : O, S : Valeurs observer et simuler

$\bar{O}, \bar{S}$  : Moyenne des valeurs d'observer et simuler

Il est jugé insatisfaisant quand NSE est inférieur à 0.36 et la simulation de modèle est satisfaisante si 0.36 > NSE > 0.75 [Krause et al., 2005], [Moriassi et al., 2007]

Table IV.1 Critères de performance du modèle [Krause et al., 2005], [Moriassi et al., 2007]

intervalle de NSE $-\infty$ to 1.0		intervalle de R <sup>2</sup> 0 to 1.0	
peu satisfaisant	0 > NSE > 0.36	pas de corrélation	R <sup>2</sup> valeur proche de zéro ou zéro
satisfaisant	0.36 > NSE > 0.50	acceptable	R <sup>2</sup> plus grand que 0.5
très bon	0.75 > NSE > 1	bien	R <sup>2</sup> valeurs proches de 1.0

### IV.4. Calibration et résultat des débits liquides

Les paramètres de calibration du model dans les 2 scénarios sont représentés dans le tableau IV.2 qui suit :

Tableau IV.2 Valeurs des paramètres calibré avec un classement des paramètres les plus sensibles Rank 1 = le plus sensible.

paramètres	difinition	file name	valeur initial	valeur de calibration scenario 01	rank	valeur de calibration scenario 02	rank
Cn2**	Moisture condition curve number	mgt	35-98	-15%, -30%	1	-15%, -45%	4
SHALLST*	Initial depth of shallow aquifer	gw	0-5000	0.5	6	0.5-5000	8
DEEPST*	Initial depth of deep aquifer		0-10000	1000	7	1000-10000	9
GW_DELAY*	Groundwater delay: time required for water leaving the bottom of the root zone to reach the shallow aquifer(days)		0-500	50	4	0.01-50	7
ALPHA_BF*	Base flow alpha factor characterizes the groundwater recession curve (days)		0-1	0.5	2	0.059-1	3
GWQMN*	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur (mm)		0-5000	5-5000	3	5--5000	1
GW_REVAP*	Groundwater “revap” coefficient: controls the amount of water which evaporates from the shallow aquifer		0.02-0.2	0.2	5	0.02-0.2	6
REVAPMN*	Threshold depth of water in the shallow aquifer for revap to occur		0-1000	100	8	5-1000	2
AWC**	Soil available water storage capacity (mm/mm)	sol	0-1	0%, +25%	9	0%, +75%	5
ESCO*	Soil evaporation compensation coefficient	hru	0-1	1	10	1	10

\*\* changement relative

\* remplacement des valeurs

Pour calibrer et valider notre résultat, les périodes de chaque stations sont devisées pour voir la compatibilité du model

- Pour la station GRAREM : calibration sur la période 1/1/1992 – 30/06/1996, et la validation 01/07/1996 – 31/12/2000
- Pour la station TASSADANE : calibration sur la période 1/1/1981 – 31/12/1993, et la validation 01/01/1994 – 31/12/2006
- Pour la station AIN SMARA : calibration sur la période 1/1/1985 – 30/06/1988, et la validation 01/07/1988 – 31/12/1991

Les résultats sont résumés dans les tableaux et les figures qui suivent :

Tableau IV.3 Performance du modèle pendant la période de calibration

calibration	scenario 01		scenario 02	
	R <sup>2</sup>	NSE	R <sup>2</sup>	NSE
station GRAREM	0.45	0.69	0.60	0.55
station TASSADANE	0.59	0.63	0.59	0.63
station AIN SMARA	0.69	0.80	0.66	0.75

Tableau IV.4 Performance du modèle pendant la période de validation

Validation	scenario 01		scenario 02	
	R <sup>2</sup>	NSE	R <sup>2</sup>	NSE
station GRAREM	0.47	0.64	0.559	0.66
station TASSADANE	0.59	0.63	0.70	0.70
station AIN SMARA	0.48	0.58	0.57	0.64

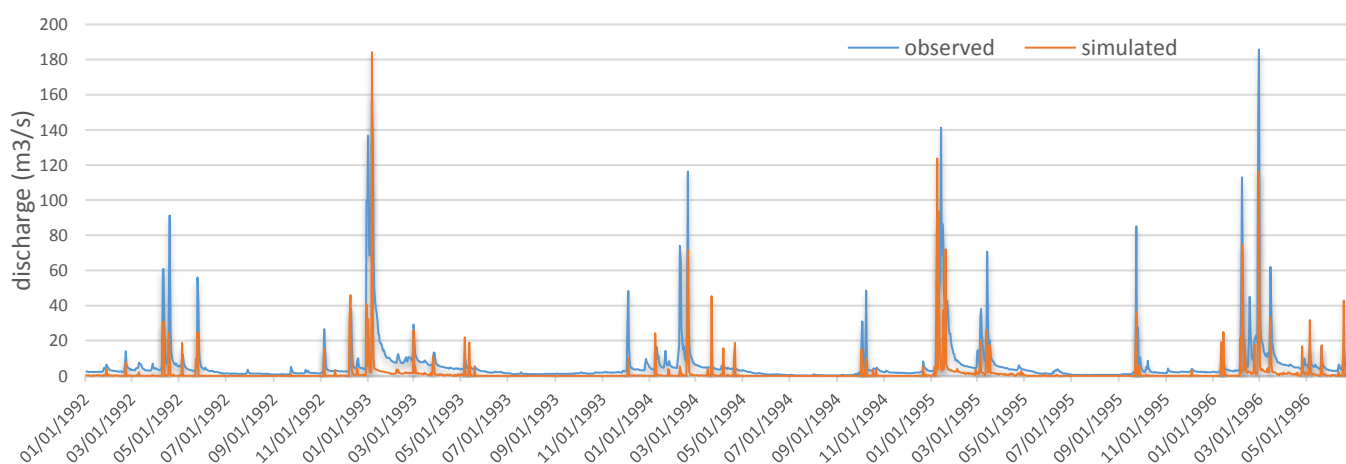


Figure IV.7 Débit quotidien simulé et observé (m<sup>3</sup>/s) à la station GRAREM dans le 1<sup>er</sup> scénario période de calibration

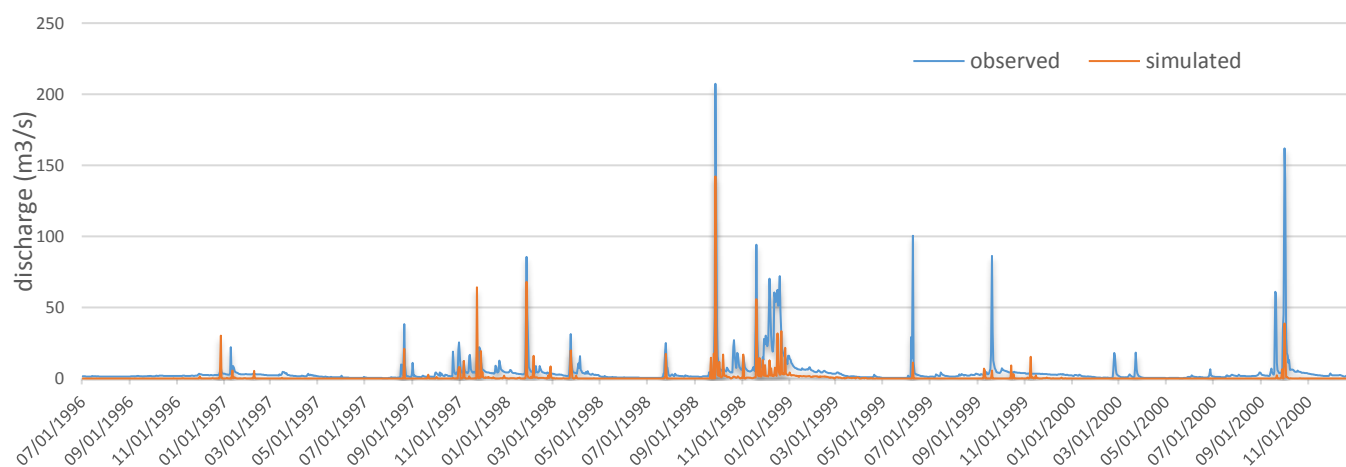


Figure IV.8 Débit quotidien simulé et observé (m<sup>3</sup>/s) à la station GRAREM dans le 1<sup>er</sup> scénario période de validation

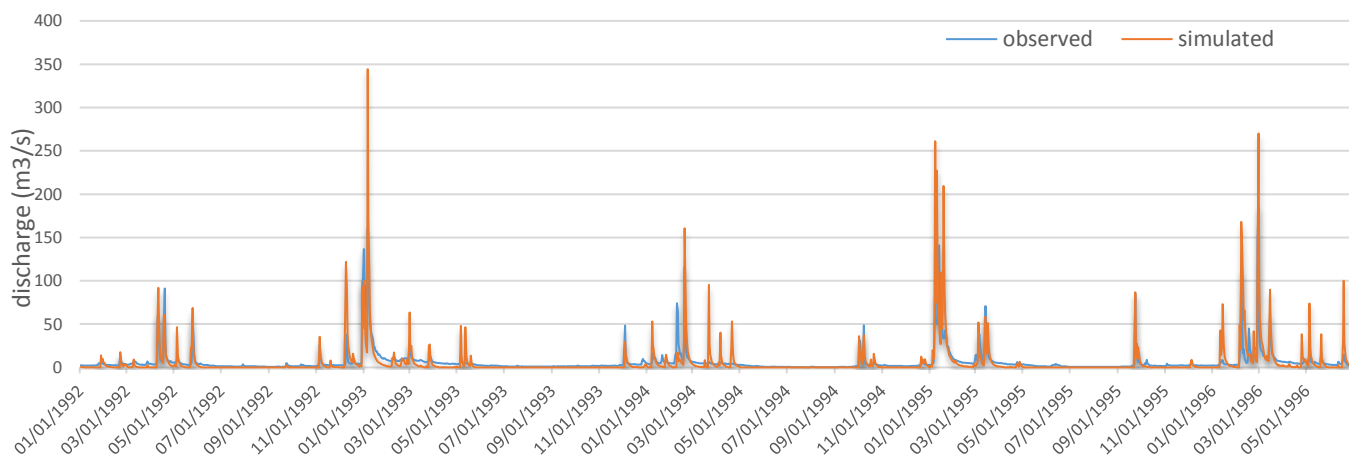


Figure IV.9 débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station GRAREM dans le 2eme scénario période de calibration

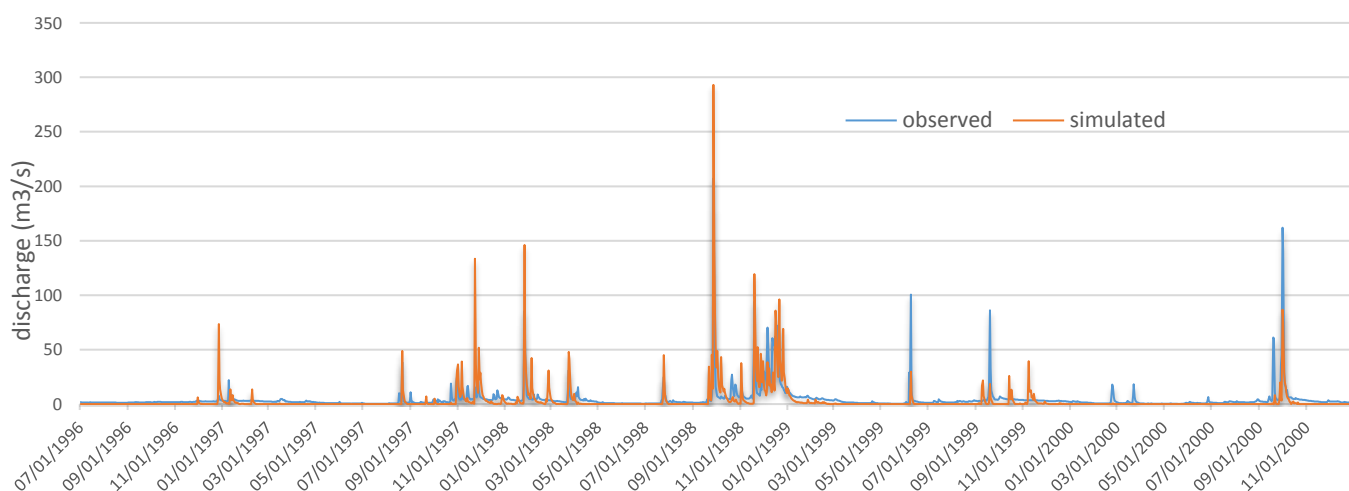


Figure IV.10 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station GRAREM dans le 2eme scénario période de validation

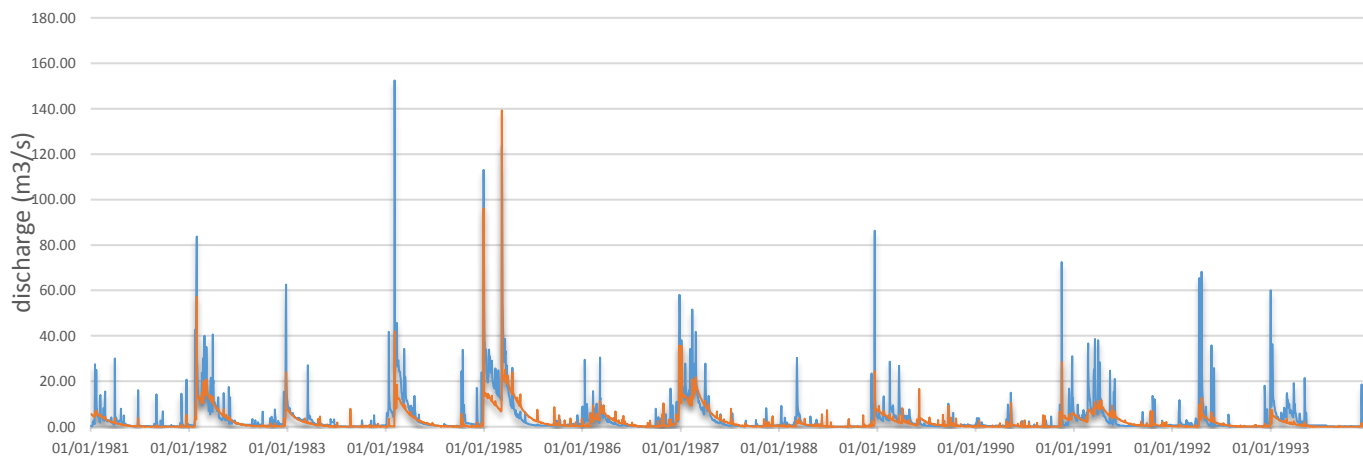


Figure IV.11 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station TASSADANE dans le 1er scénario période de calibration

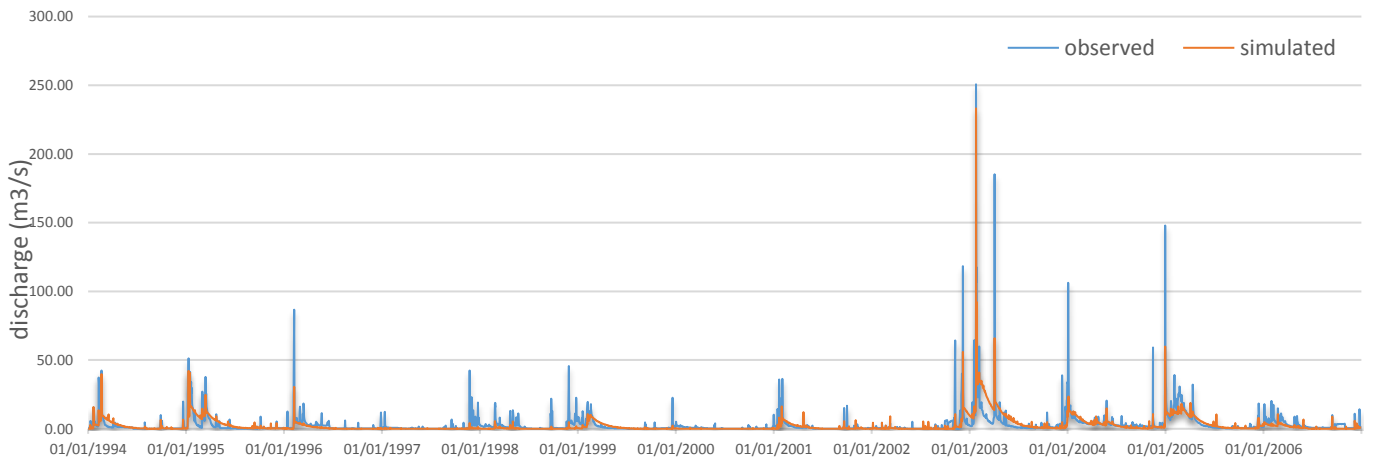


Figure IV.12 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station TASSADANE dans le 1<sup>er</sup> scénario période de validation

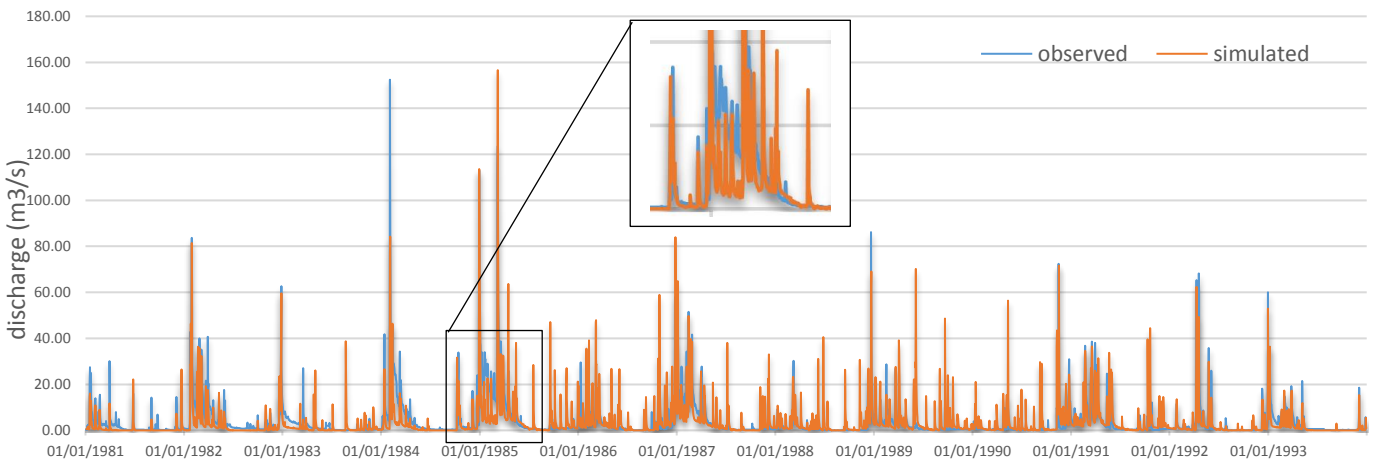


Figure IV.13 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station TASSADANE dans le 2eme scénario période de calibration

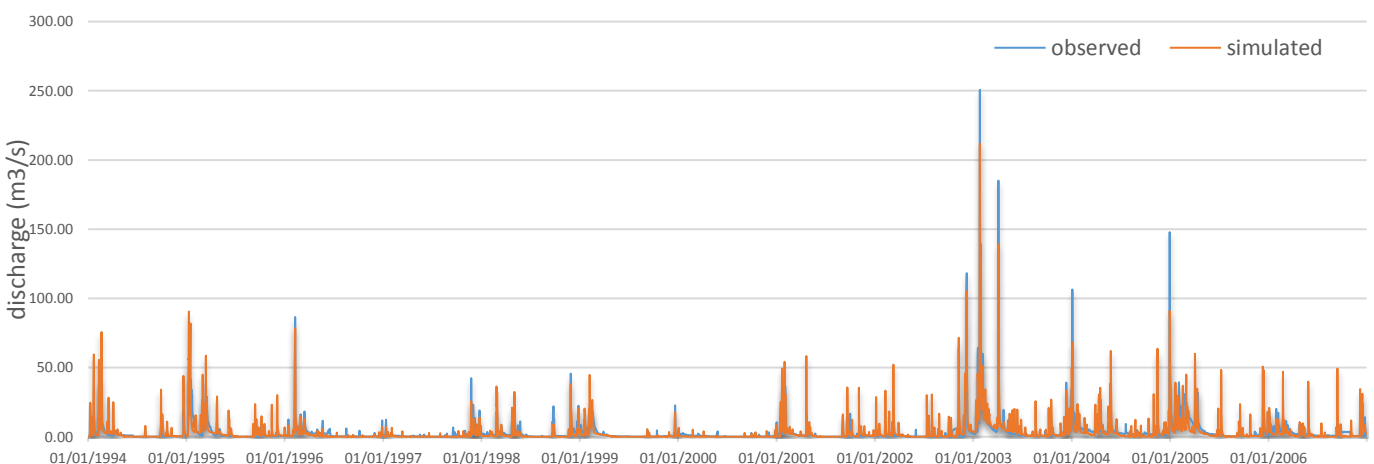


Figure IV.14 Débit quotidien simulé et observé (m3/s) à la station TASSADANE dans le 2eme scénario période de validation



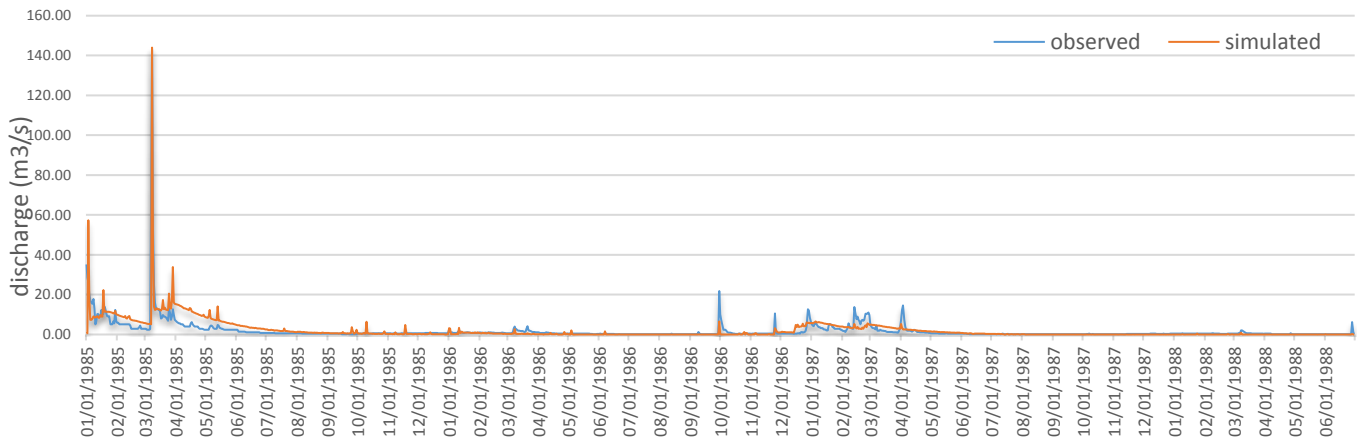


Figure IV.15 Débit quotidien simulé et observé (m<sup>3</sup>/s) à la station AIN SMARA dans le 1<sup>er</sup> scénario période de calibration

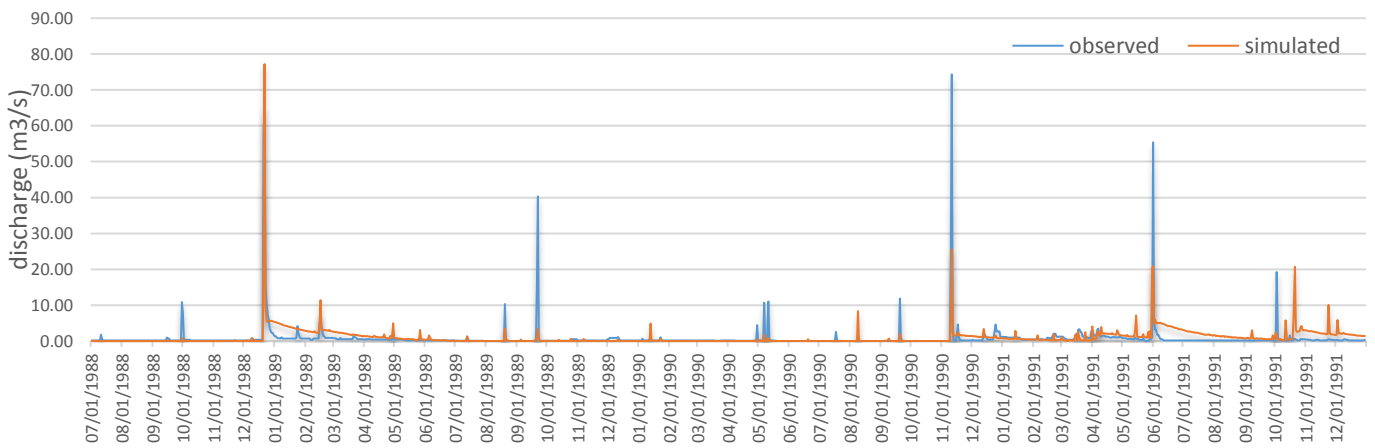


Figure IV.16 Débit quotidien simulé et observé (m<sup>3</sup>/s) à la station AIN SMARA dans le 1<sup>er</sup> scénario période de validation

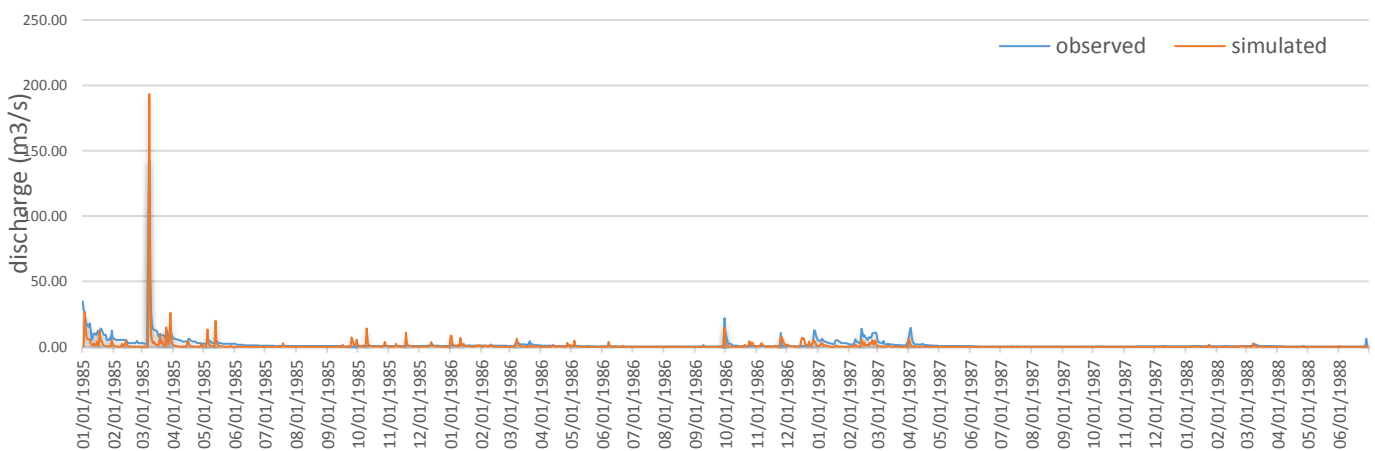


Figure IV.17 Débit quotidien simulé et observé (m<sup>3</sup>/s) à la station AIN SMARA dans le 2eme scénario période de calibration

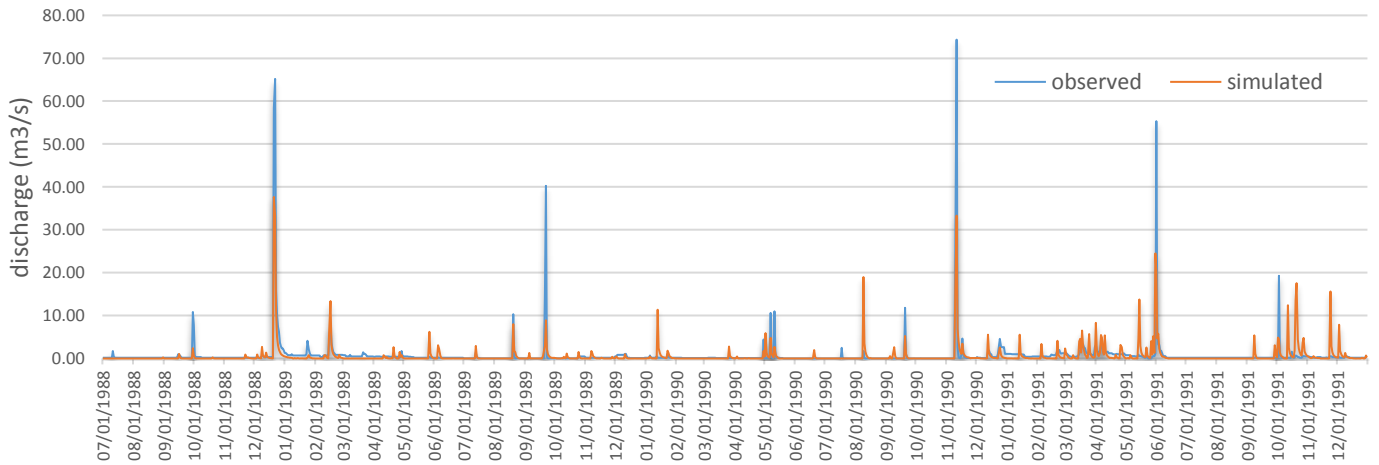


Figure IV.18 Débit quotidien simulé et observé (m<sup>3</sup>/s) à la station AIN SMARA dans le 2eme scénario période de calibration

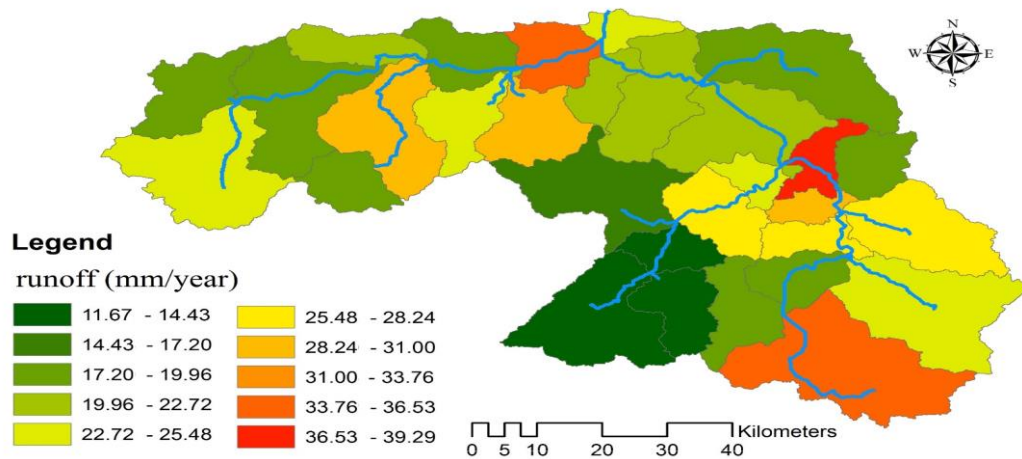


Figure IV.19 ruissellement simulé qui sort de chaque sous bassin 1er scénario

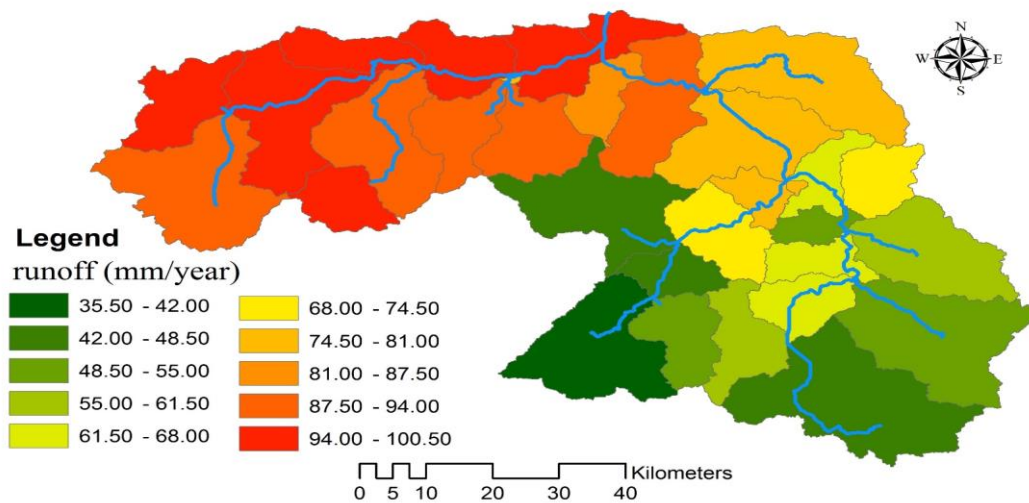


Figure IV.20 ruissellement simulé qui sort de chaque sous bassin 2eme scénario

### IV.5. Modélisation hydrologique des flux solides

Après la calibration et la validation de chaque scénario en utilisant les observations des flux liquides, nous utilisons les observations des débits solides pour une autre calibration du model. La modélisation hydrologique des flux solides comporte une étape de simulation des débits solides sans calibration, et une autre étape qui contient la calibration validation en utilisant les observations solides.

#### IV.5.1. Résultats préliminaires des débits solides

Après avoir fait la simulation de chaque scenario et calibré le modèle en utilisant les observations des débits liquides. Les résultats seront comparé avec les données des stations de jaugeage dans le bassin versant pour les débits solides (figure IV21, 22,23 pour scenario 01 et figure IV 24, 25,26 pour scénario 02), en utilisant les stations suivant : station GRAREM sur la période (1984-1993), la station TASSADANE sur la période (1987-2005), la station KOUDIA TENDART sur la période (1993-2002), avec un pas de temps journaliers.

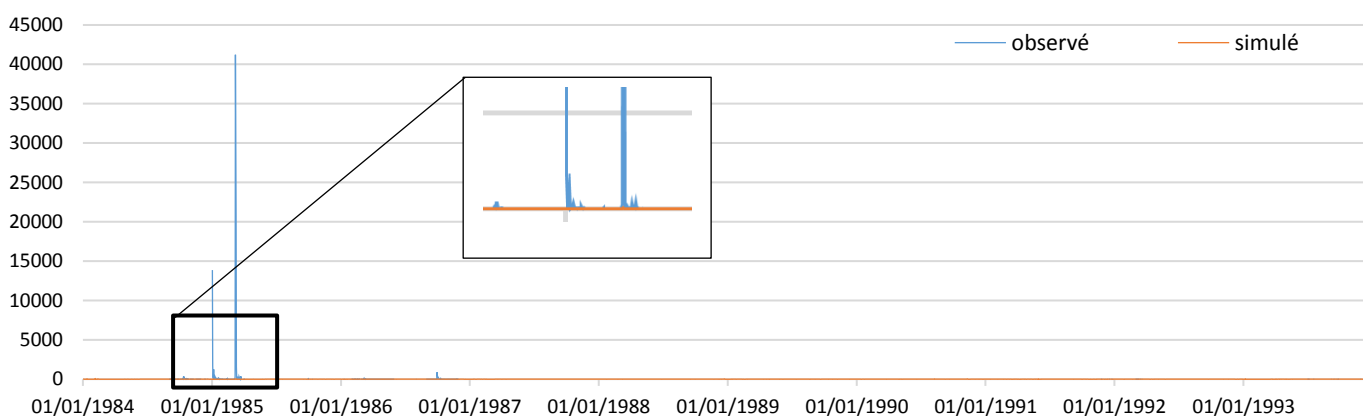


Figure IV.21 Débit solide quotidien simulé et observé (kg/s) à la station GRAREM dans le 1<sup>er</sup> scénario

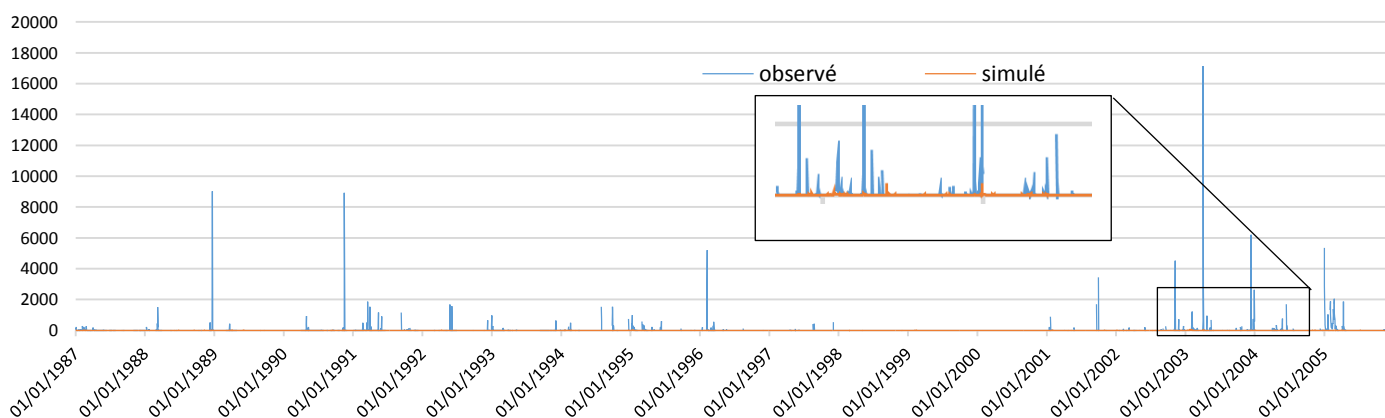


Figure IV.22 Débit solide quotidien simulé et observé (kg/s) à la station TASSADANE dans le 1<sup>er</sup> scénario

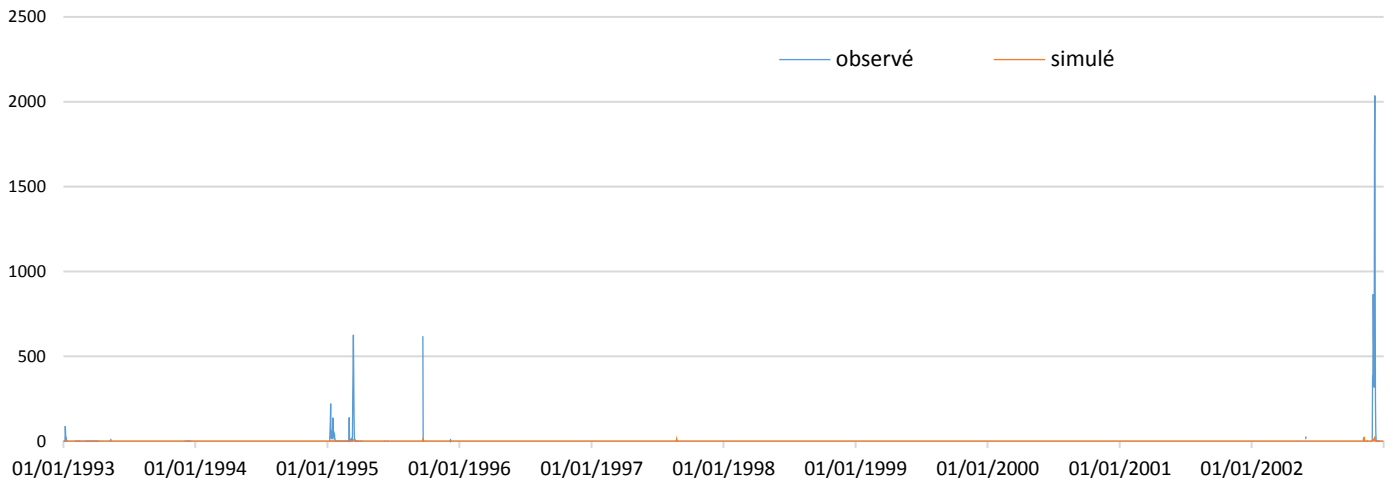


Figure IV.23 Débit solide quotidien simulé et observé (kg/s) à la station KOUDIA TENDART dans le 1<sup>er</sup> scénario

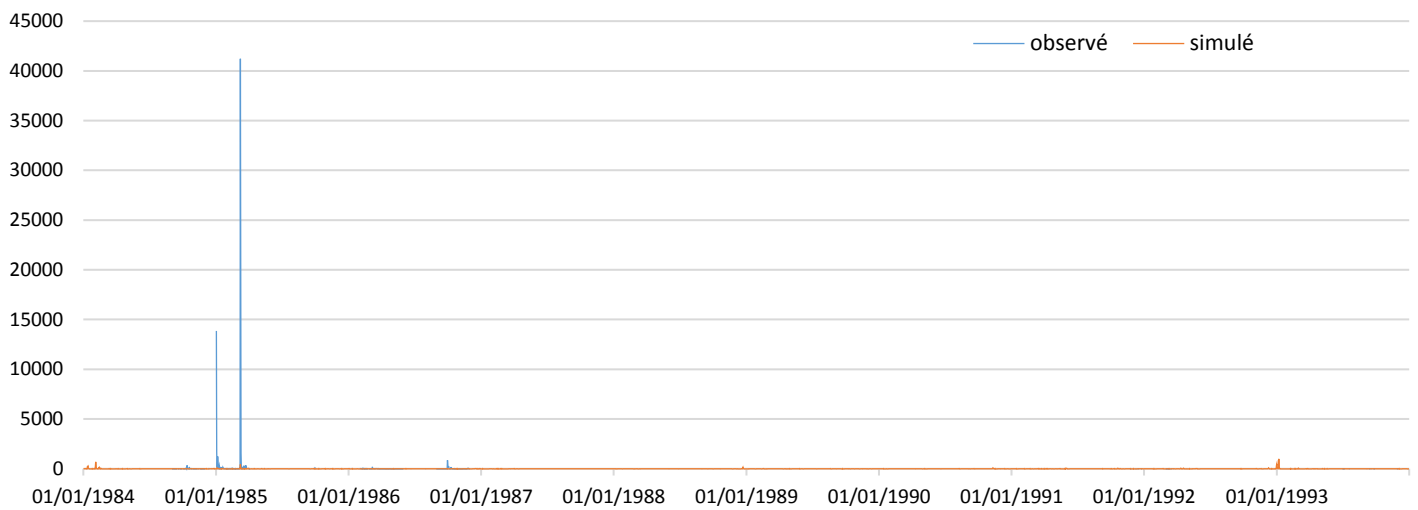


Figure IV.24 Débit solide quotidien simulé et observé (kg/s) à la station GRAREM dans le 2<sup>eme</sup> scénario

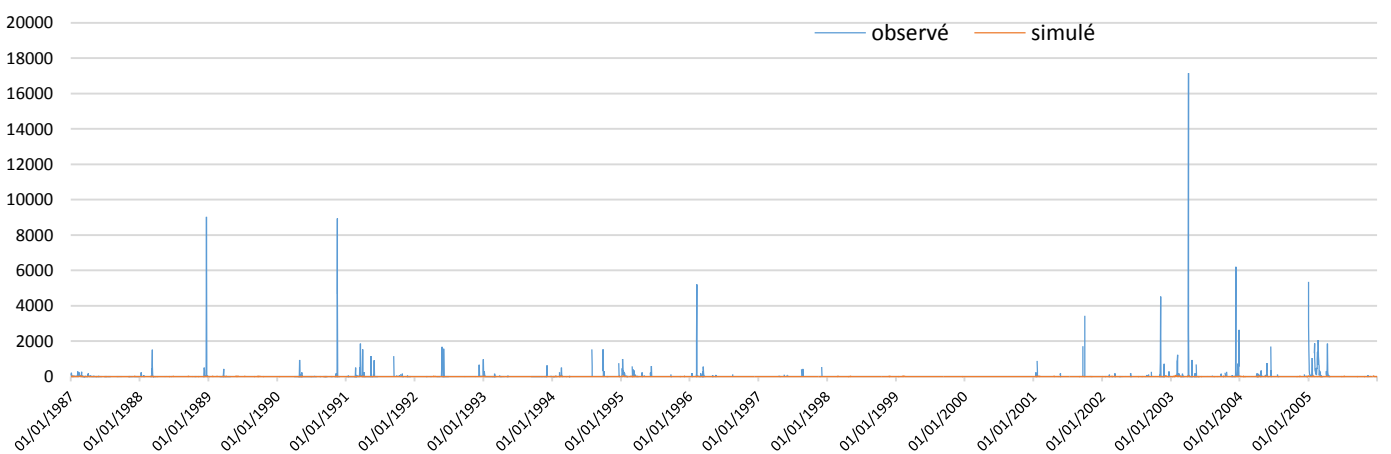


Figure IV.25 Débit solide quotidien simulé et observé (kg/s) à la station TASSADANE dans le 2<sup>eme</sup> scénario

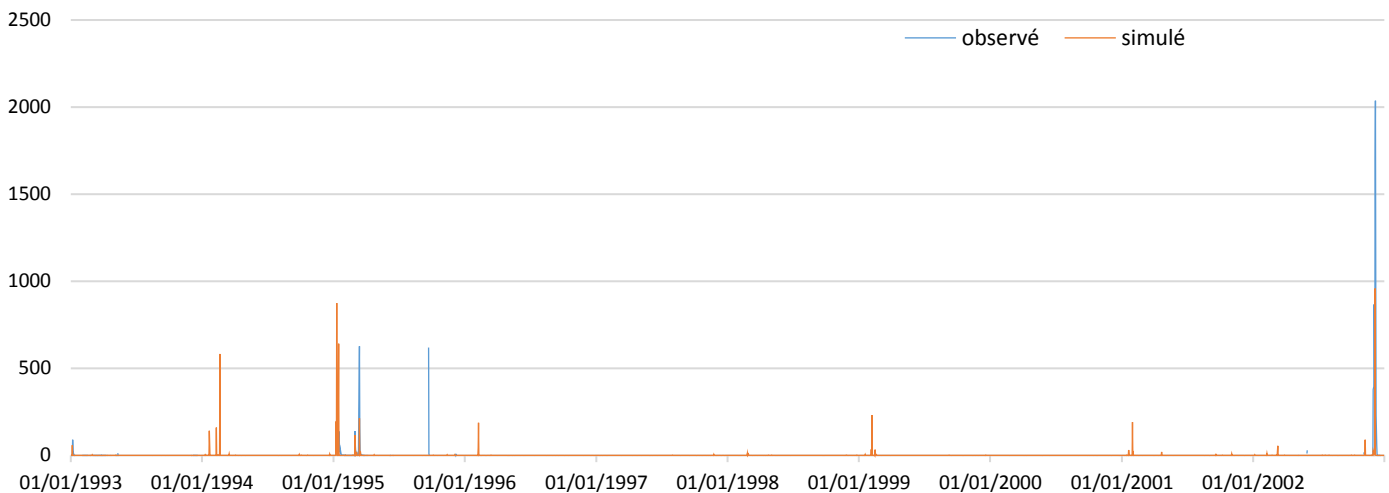


Figure IV.26 Débit solide quotidien simulé et observé (kg/s) à la station KOUDIA TENDART dans le 2<sup>ème</sup>

D'après les résultats préliminaires, notre model necessite une calibration pour les 2 scénarios

- Pour le 1<sup>ère</sup> scenario les résultats montrent que le débit solide simulé est moins que celui observé : pour la station **GRAREM** ( moy observer = 179.844 kg/s , moy simuler = 0.166 kg/s), (max observer= 41219.360 m<sup>3</sup>/s, max simuler=61.505 kg/s), pour la station **TASSADANE** (moy observer = 93.959 kg/s, moy simuler = 0.303 kg/s), (max observer= 17146.704 kg/s, max simuler= 198.457kg/s), pour la station **KOUDIA TENDART** (moy observer = 57.746 kg/s, moy simuler = 0.046 kg/s) ,(max observer= 2168.933 kg/s, max simuler= 25.103 kg/s).

Pour le 2<sup>ème</sup> scenario les résultats montrent qu'il y a une différence entre le simulé et l'observé pour la station **GRAREM** ( moy observer = 179.844 kg/s, moy simuler = 1.824 kg/s), (max observer= 41219.360 kg/s, max simuler= 994.907 kg/s), pour la station **TASSADANE** (moy observer = 93.959 kg/s, moy simuler = 0.421 kg/s), (max observer= 17146.704 kg/s, max simuler= 88.194 kg/s), pour la station **KOUDIA TENDART** (moy observer = 93.959 kg/s, moy simuler = 0.421 kg/s) ,(max observer=17146.704 kg/s, max simuler=88.194 kg/s).

Les données obtenues confirment globalement que notre model requit une calibration sur les paramètres influents sur les résultats des débits solides

#### IV.5.2. Calibration et résultat des débits solides

Basons sur les résultats de calibration des observations des débits liquides dans le tableau IV.2, et les observations des flux solides on fait une autre calibration, avec les paramètres qui ont une influence sur les résultats de simulation des débits solide

Tableau IV.5 les valeurs des paramètres calibré avec un classement des paramètres les plus sensibles Rank 1 = le plus sensible

paramètres	difinition	file name	valeur initial	valeur de calibration scenario 01	rank	valeur de calibration scenario 02	rank
SPCON	Linear parameter for calculating the channel sediment routing	bsn	0.0001	0.01	7	0.01	8
SPEXP	Exponent parameter for calculating the channel sediment routing		1	1.5	8	1.4 - 1.5	9
PRF	Peak rate adjustment factor for sediment routing		1	1.1-2	10	1 -2	10
USLE_K	USLE equation soil erodibility (K) factor	sol	0.1-176	+0.1	3	+0.2	1
USLE_P	USLE equation support practice factor	mgt	0-1	1	5	1	5
USLE_C	Minimum value of USLE C factor for water erosion	corp. dat	0.001-0.2	+0.2	6	+0.2	6
CH_COV01	Channel cover factor	rte	0	0.6	1	0.6	2
CH_COV02			0	1.5	2	1.5	4
CH_EROD (1-12)	Channel erodibility factor		0	1	4	1	3
ALPHA_BNK	Baseflow alpha factor for bank storage		0	0.01	9	0.01	7

Tableau IV.6 Performance du modèle dans le 1 er scénario

Scénario N 01	calibration		validation	
	R <sup>2</sup>	NSE	R <sup>2</sup>	NSE
station GRAREM	0.90	0.47	0.4073	0.62
station TASSADANE	0.032	0.1	0.028	0.27
station KOUDIA TENDART	0.38	0.88	0.21	0.88

Tableau IV.7 Performance du modèle dans le 2 eme scénario

Scénario N 02	calibration		validation	
	R <sup>2</sup>	NSE	R <sup>2</sup>	NSE
station GRAREM	0.7	0.79	0.477	0.63
station TASSADANE	0.5065	0.5198	0.5224	0.66
station KOUDIA TENDART	0.585	0.94	0.27	0.91

Malheureusement les séries d'observations contiennent plusieurs lacunes ; puisque dans les stations hydrométriques les prélèvements des concentrations solides (utiles pour le calcul des débits solides) sont fait une fois par mois, et parfois il n'existe pas des mesures pendant plusieurs mois. Pour cela les observations de chaque station sont divisées en deux parties pour la calibration et la validation

La calibration du model dans les 2 scénarios a été fait en utilisant les observations des débits solides des stations hydrométriques suivante :

- Station GRAREM période de calibration (01/01/1984 – 16/03/1986 245, observation). période de validation (17/03/1986 – 31/12/1993 244, observation).
- Station période TASSADANE période de calibration (01/01/1987 – 18/01/1993, 965 observation). période de validation (19/01/1993 – 31/12/2005, 966, observation).

- Station KOUDIA TENDART période de calibration (01/01/1993 – 23/01/1995, 965 observation). période de validation (24/01/1995 – 31/12/2002, 966 observation).

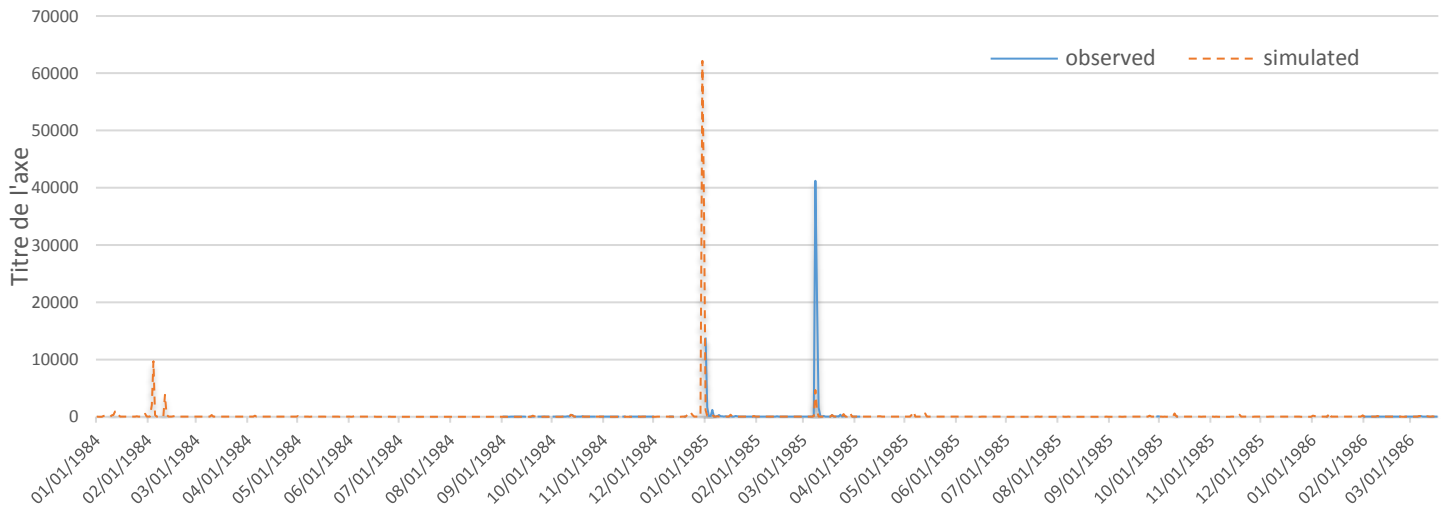


Figure IV.27 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station GRAREM dans le 1er scénario période de calibration

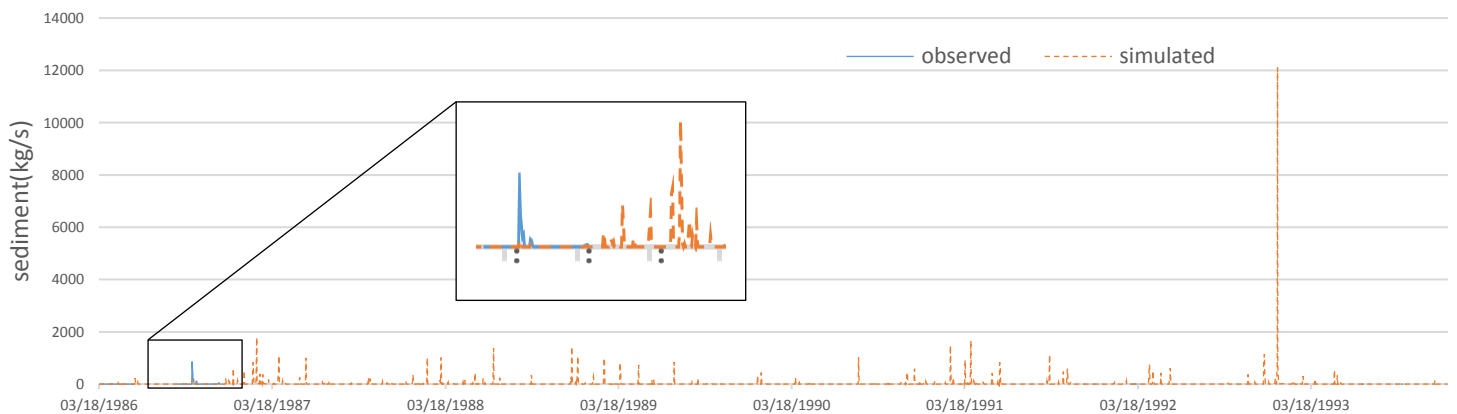


Figure IV.28 débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station GRAREM dans le 1er scénario période de validation

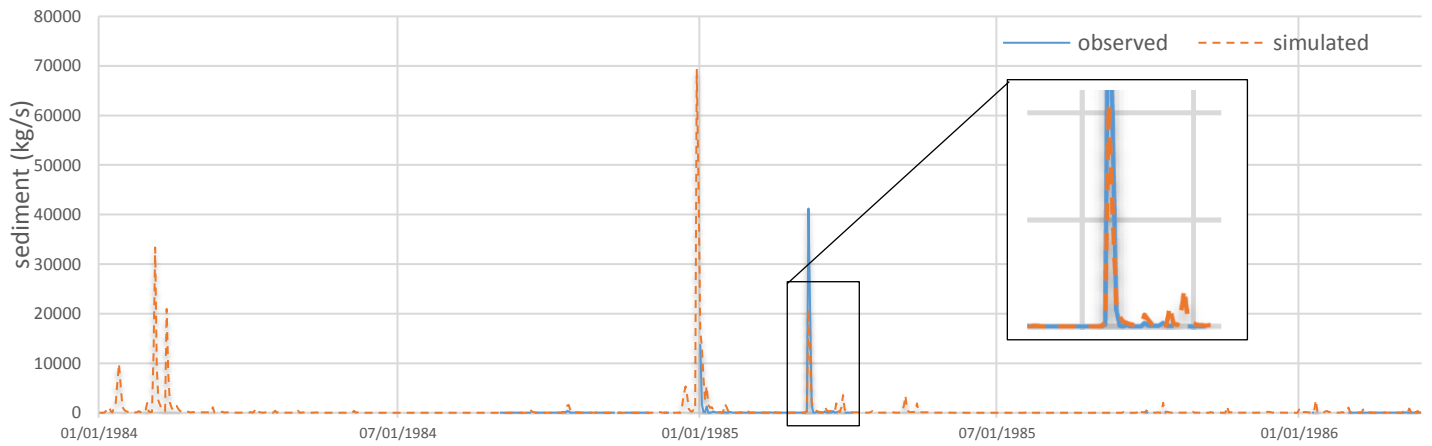


Figure IV.29 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station GRAREM dans le 2ème scénario période de calibration

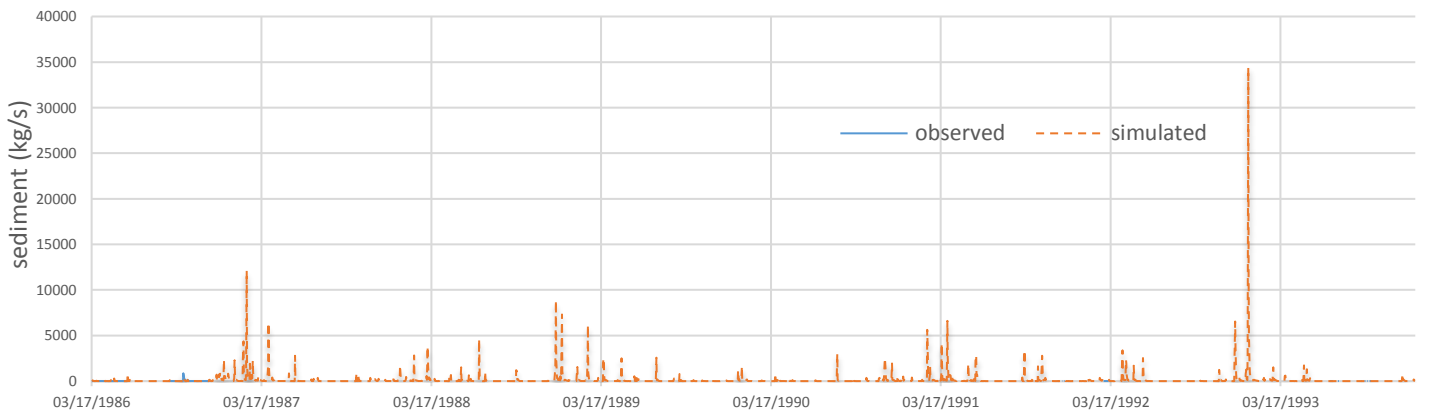


Figure IV.30 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station GRAREM dans le 2ème scénario période de validation

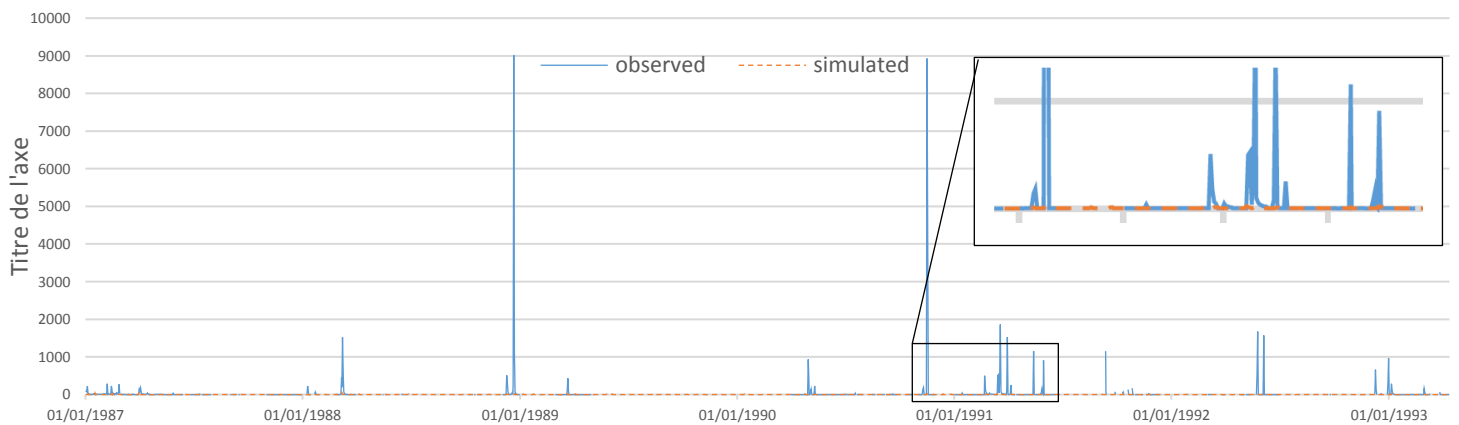


Figure IV.31 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station TASSADANE dans le 1er scénario période de calibration



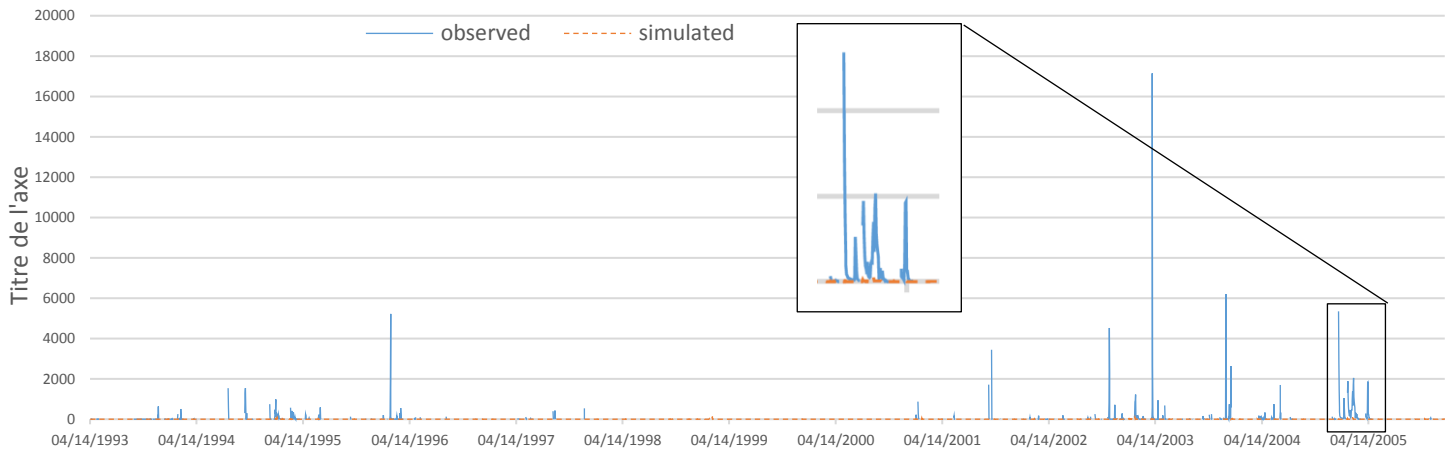


Figure IV.32 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station TASSADANE dans le 1 er scénario période de validation

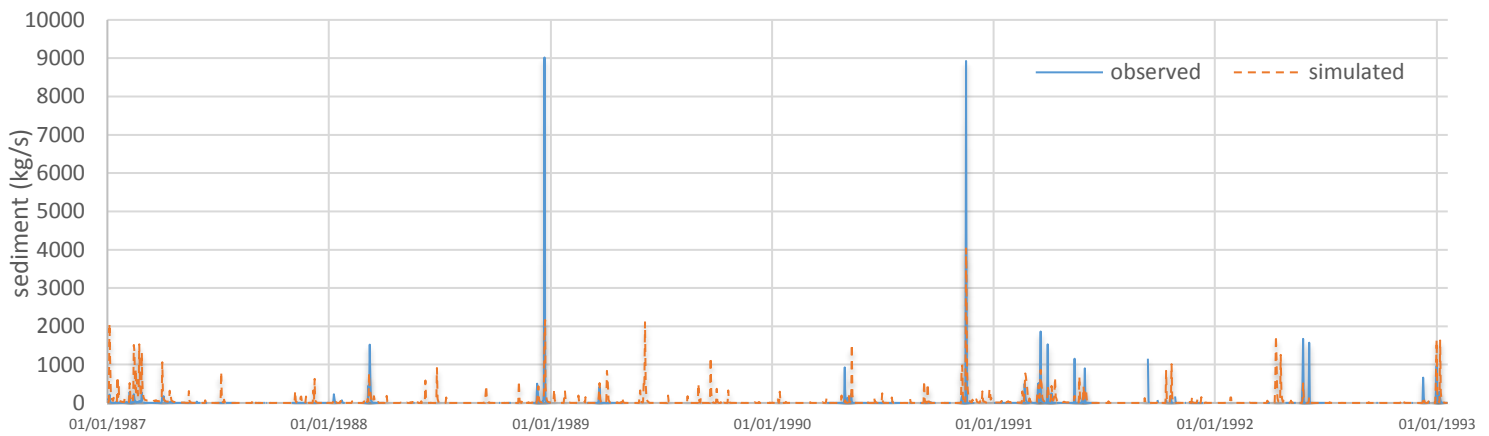


Figure IV.33 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station TASSADANE dans le 2eme scénario période de calibration

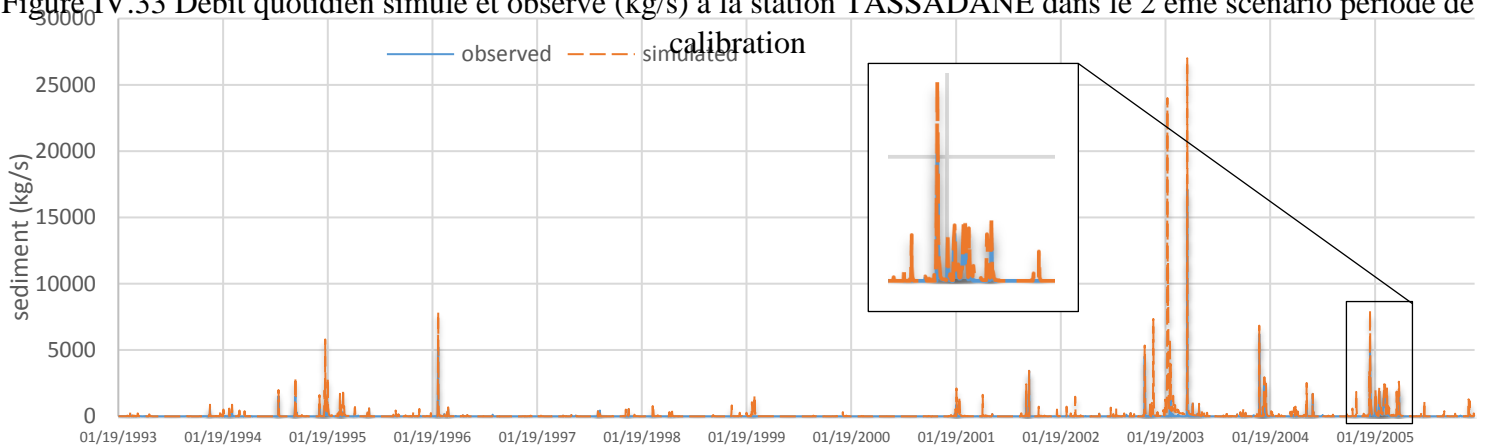


Figure IV.34 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station TASSADANE dans le 2eme scénario période de validation

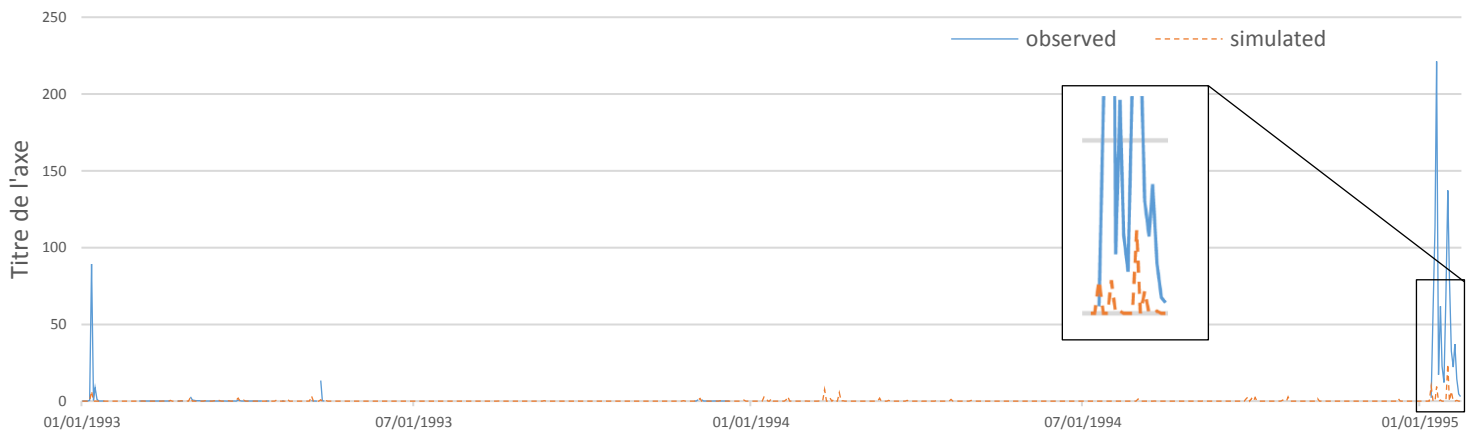


Figure IV.35 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station KOU디아 TENDART dans le 1er scénario période de calibration

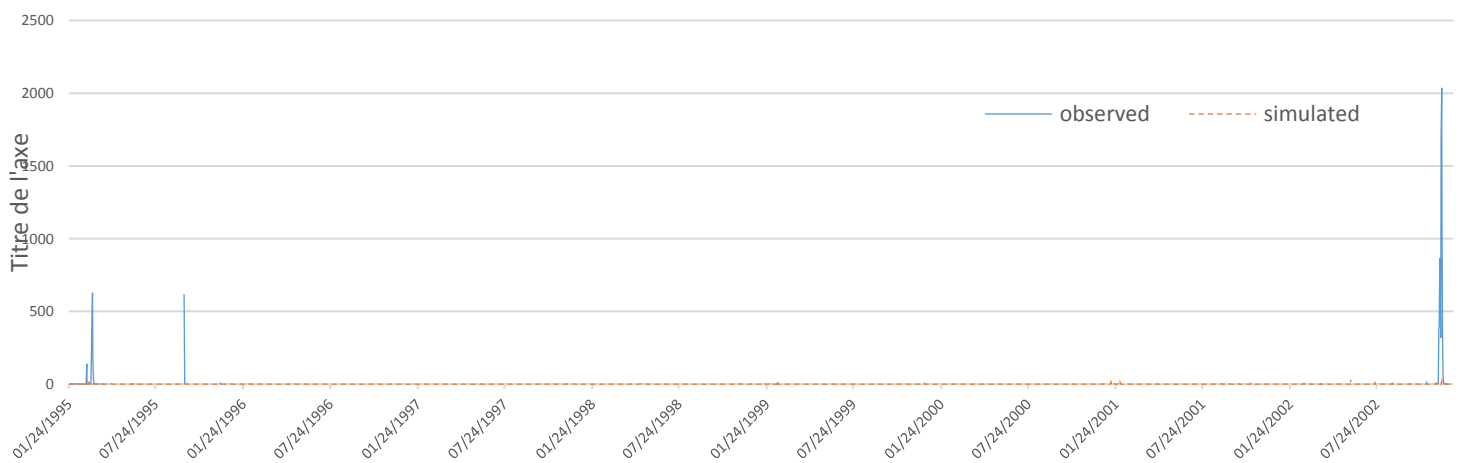


Figure IV.36 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station KOU디아 TENDART dans le 1er scénario période de validation

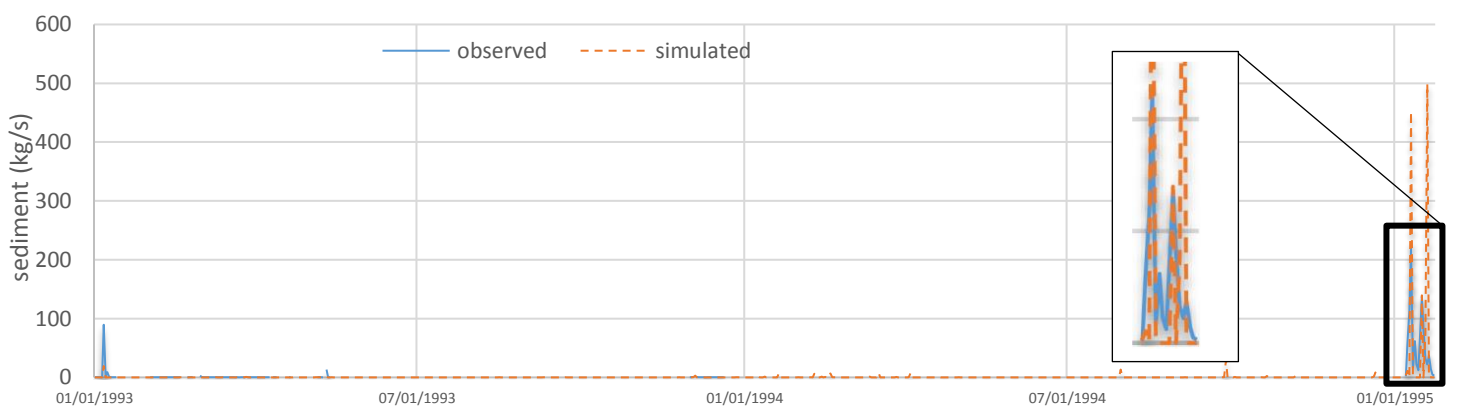


Figure IV.37 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station KOU디아 TENDART dans le 2eme scénario période de calibration

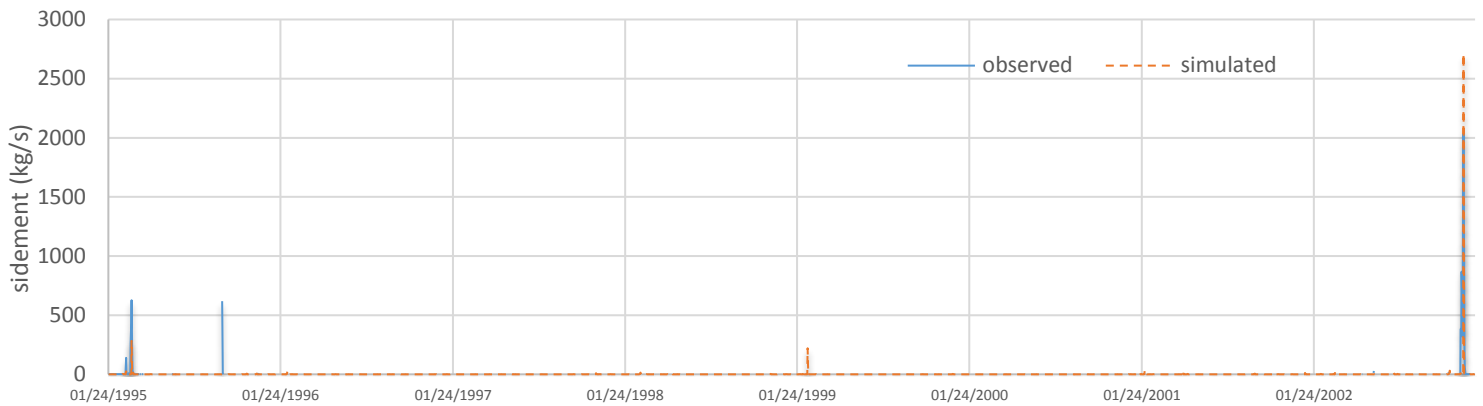


Figure IV.38 Débit quotidien simulé et observé (kg/s) à la station KOUDIA TENDART dans le 2eme scénario période de validation

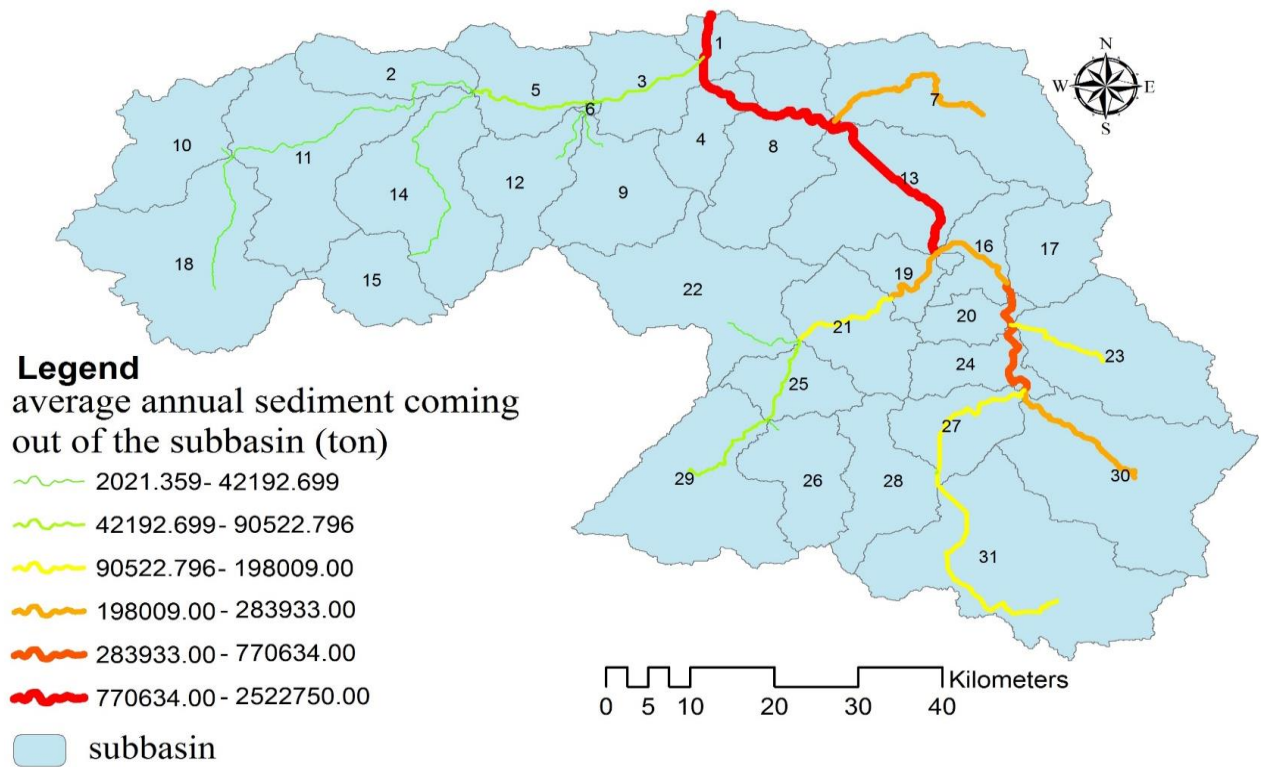


Figure IV.39 Sédiments annuels moyens sortant du sous bassin dans le premier scénario

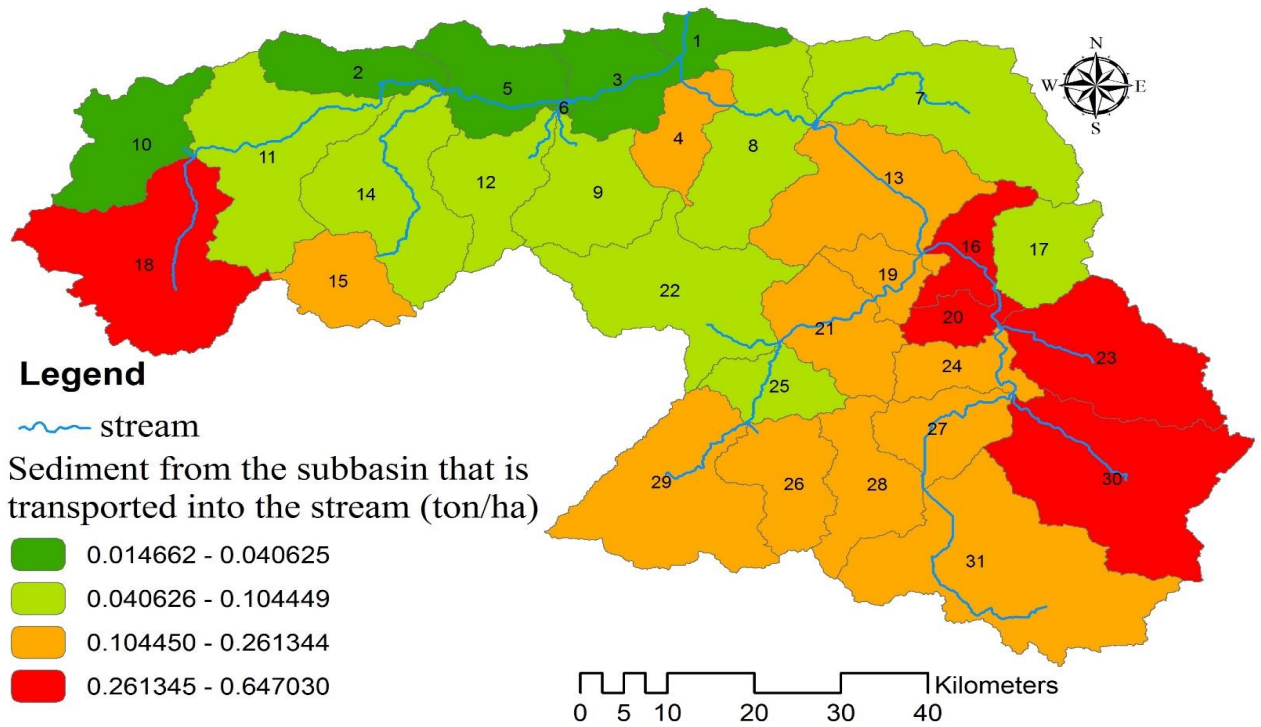


Figure IV. 40 Sédiments du sous bassin transportés dans le cours d'eau dans le premier scénario

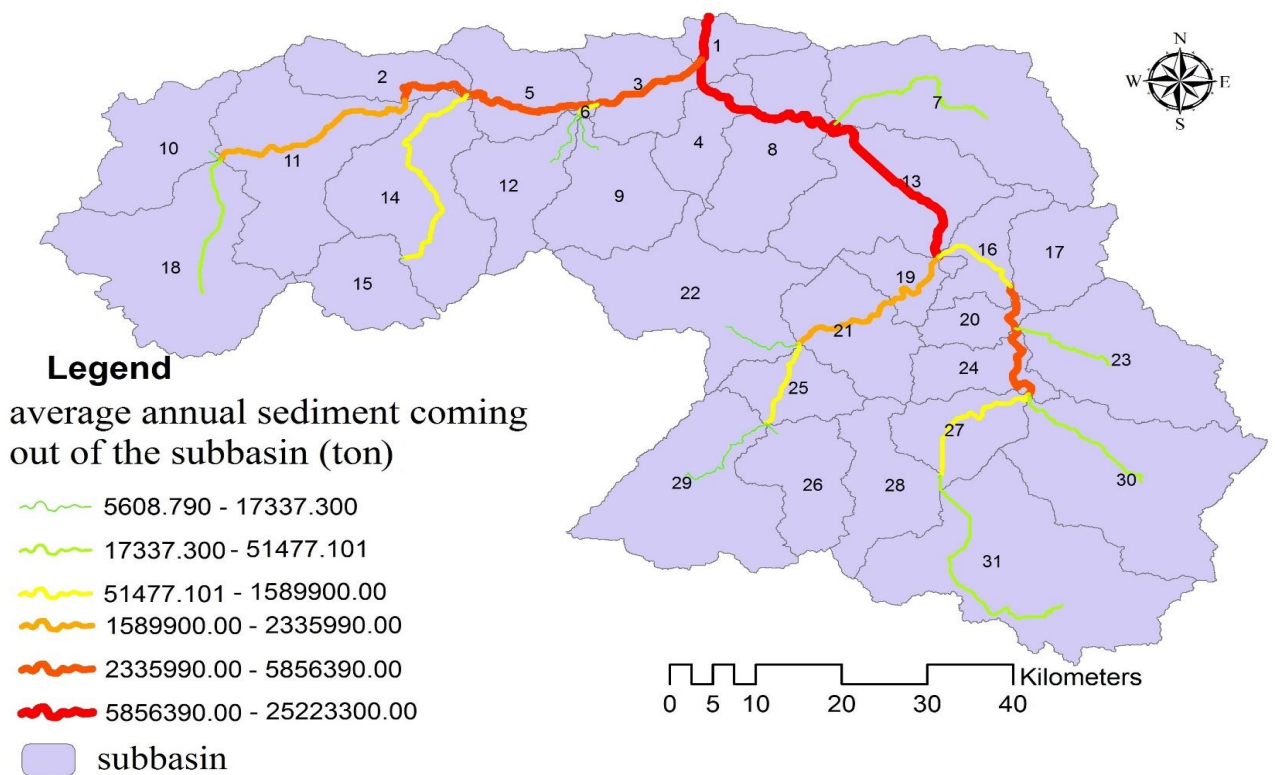


Figure IV.41 Sédiments annuels moyens sortant du sous bassin dans le deuxième scénario

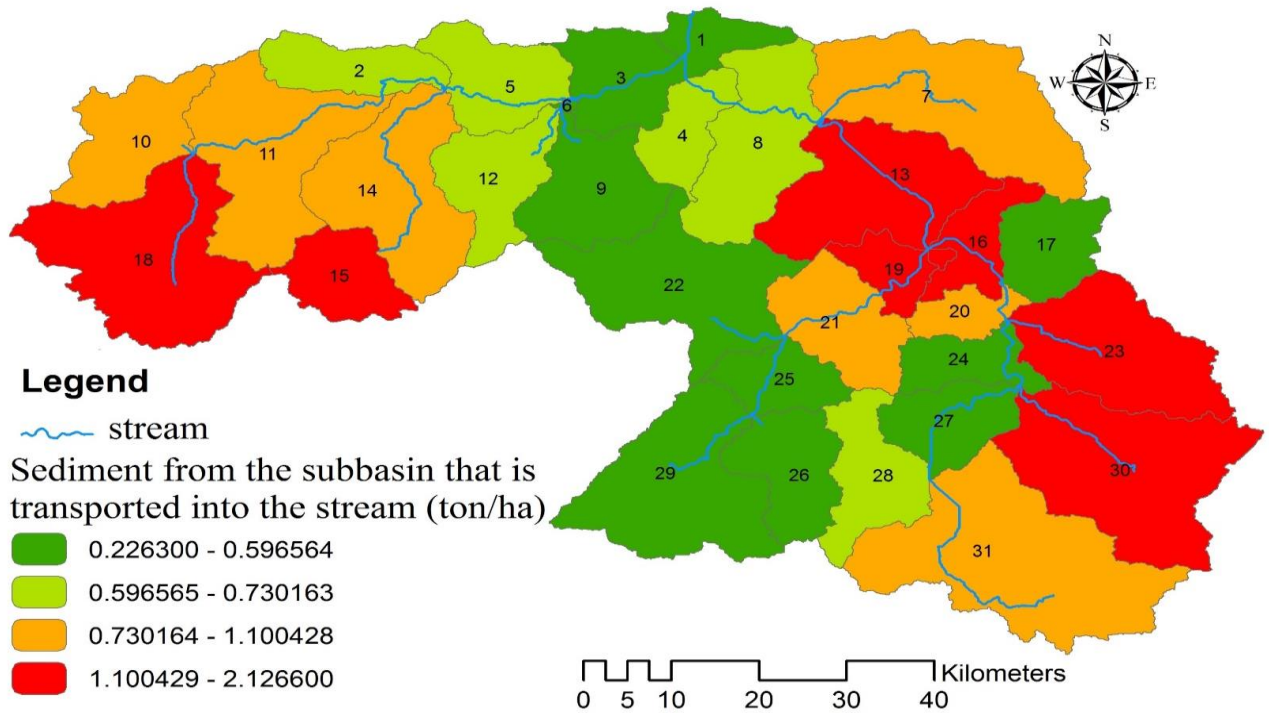


Figure IV.42 Sédiments du sous bassin transportés dans le cours d'eau dans le deuxième scénario

#### IV.6. Conclusion :

Après calibration, le modèle a donné de bons résultats de simulations aussi bien pour des débits liquides que pour les débits solides pour les deux scénarios pour un pas de temps journaliers, toutefois le 2<sup>ème</sup> scénario à une meilleure représentation du bassin versant par rapport au 1<sup>ier</sup> scénario.

A decorative border made of light gray feathers, arranged in a roughly rectangular shape around the text. The feathers are soft and wispy, with some showing more detail than others.

*Chapitre V*

*Discussions*

*Des résultats*

Ce chapitre est entièrement dédié à la discussion générale des résultats obtenus précédemment. La discussion 01 traitera les cartes de chaque paramètre des sols obtenus dans le chapitre III, la discussion 02 traitera les résultats de simulation et de calibration basés sur les données des stations hydrométriques des débits liquides abordés au chapitre IV et enfin la discussion 03 traitera la modélisation hydrologique des débits solide menée au même chapitre IV.

### V.1. Discussion 01

La zone d'étude présente :

- 97.72 % de la surface dans le centre et la majorité à l'est et à l'ouest du bassin à une densité de 1.6 à 1.75 g/cm<sup>3</sup> figure III.12 tableau III.6, donc la densité apparent et considéré comme moyenne.
- 70 % de la surface à un pH de 7.41 à 7.59. Et pour la matière organique, 86.60 % de la surface total à un taux de MO de 0.825 à 5.6 figure III.13.14 et tableau III.7.8.
- 98.56% de la surface total à une conductivité électrique entre 86 à 287 tableau III.9. figure III.15.
- capacité d'eau disponible dans le sol la majorité de la surface 86.08 % entre 9.17 à 21.04
- la conductivité hydraulique 76.70 % de la surface a une C.H varie entre 17.285 à 150 mm/h ce qui est considéré modéré à rapide, figure III.17 tableau III.11.
- le facteur K varie entre 0.065 à 0.186. avec 56.08 % de la surface du bassin a un facteur d'érodabilité varie de 0.11 à 0.15 t.ha.h.ha<sup>-1</sup>.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>1</sup>, et 21.78 % varie entre 0.15 à 0.186 t.ha.h.ha<sup>-1</sup>.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>. Donc la majorité de la surface 77.86 % un sol moyennement érodables figure III.22 tableau III.12.

Pour les pourcentages des argiles, limon, sable et gravier sont varié par rapport à la surface comme suite :

- Pour l'argile 22.73% de la surface a au pourcentage de 1.6 % à 2.74 %, 20.34% entre 2.74 à 3.51, 20.56 varie entre 4.43 à 5.31 et 16 % entre 5.31 à 6.83.0
- Pour les pourcentages des limons varient entre 0.2 – 6.29 mais la majorité de la surface 93.28 % entre 0.2 à 4.44.
- Pour le pourcentage des sables 94.68 % de la surface a un pourcentage de 60 – 79 %
- Pour le gravier varies entre 0.59 à 47.38 et la majorité de la surface 98.79 % à un pourcentage de gravier entre 10 à 40 %.

Ce qui nous donne que la texture dominante c'est le sable.

### V.3. Discussions 02

L'analyse de sensibilité basée sur la comparaison des flux liquides observée et simulée montre qui pour les 2 scénarios des paramètres les plus sensibles sont : Cn2, GWQMN, ALPHA\_BF, REVAPMN, GW\_DELAY, [[Arnold et al., 2012](#)]le ruissellement.

Mais la sensibilité de chaque paramètre n'est pas les mêmes dans les deux scénarios, puisque dans le 1ere scenario Cn2 est le plus sensible et pour le 2 eme scenario GWQMN ce qui indique qu'il y a une différence entre les données et que le scenario N 01 et très sensible au changement des couvertures des terres, par rapport au 2 eme scenario qui est sensible aux paramètres liés aux eaux souterrain.

dans une étude du bassin versant de R'dom dans le nord-ouest du Maroc, le paramètre de couverture terrestre était le paramètre le plus sensible, avec (NSE, R<sup>2</sup>) dans le pas de temps journalier dans la période de calibration et (0.58, 0.79) [Brouziyne et al., 2017]. Dans une autre étude dans le bassin versant de la Tafna dans la simulation du ruissellement, le paramètre des eaux souterraines a une grande influence sur le résultat de la simulation, avec la valeur de NSE et R<sup>2</sup> de la simulation du débit liquide et de 0,42 à 0,75, et R<sup>2</sup> était dans l'intervalle de 0,25 à 0,84[Zettam et al., 2017]

Les résultats de simulation du ruissèlement dans chaque sous bassin du model SWAT après la calibration montre qu'il y a une équivalence entre le résultat de simulation du 2<sup>eme</sup> scénario et les résultats de l'ANRH basé sur l'observation entre 1956-2002 (20 – 250 mm/ans) [ANRH, 2005a], simulé du 1<sup>ere</sup> scénario (11.67 – 39.26 mm/ans), et du 2<sup>eme</sup> scénario (35.50 – 100.50mm/ans).

Et qu'il y a une similarité entre le 2<sup>eme</sup> scénario et les résultats de l'ANRH sauf dans l'extrême du nord et du sud du bassin, ceci est dû à les erreurs des interpolations puisque le nord du bassin et une zone humide [ANRH, 2005b].

En général les résultats des flux liquides simulé montre que le model SWAT a réussi à reproduire le processus hydrologique dans tous les sous bassin contrôler par les stations hydrométrique sur le pas du temps quotidienne.

Avec NSE dans le 1<sup>ier</sup> scénario est entre (0.63-0.8) et R<sup>2</sup> entre (0.45-0.69) pour la période de calibration, et NSE est de (0.58 à 0.64), R<sup>2</sup> de (0.47-0.59) pour la période de validation. Et pour le 2<sup>ème</sup> scénario NSE est entre (0.55-0.75) et R<sup>2</sup> entre (0.59-0.66) dans la période de calibration, et pour la période de validation NSE est compris entre (0.64-0.70) et R<sup>2</sup> entre (0.56-0.70). Voir tableau IV.3, 4.

Pour la station GRAREM qui contrôle 4039 km<sup>2</sup>, dans la période de calibration on a 5 principaux évènements :

1- (10/04/1992 – 28/04/1992), 2- (12/01/1992 – 06/02/1993), 3- (17/02/1994 – 12/03/1994), 4- (06/01/1995 – 27/02/1995), 5- (05/02/1996 – 23/03/1996).

Pour le 1<sup>ere</sup> scénario on remarque qu'il y a une différence entre le temps de concentration dans tous les évènements, et les débits simulés moins que l'observer sauf le 2<sup>eme</sup> évènement (136.67 m<sup>3</sup>/s pour l'observer, 184.2 m<sup>3</sup>/s pour le simulé).

Par contre pour le 2<sup>eme</sup> scénario le temps de concentration est presque le même dans tous les évènements, mais le débit max simulé dans les pics sur chaque évènement et plus grands que l'observer.

Pour la période de validation sur le 1<sup>ere</sup> scénario (R<sup>2</sup>= 0.47, NSE=0.64) et dans le 2<sup>eme</sup> scénario (R<sup>2</sup>= 0.56, NSE=0.66), ce qui indique que les données d'entre avec une calibration des paramètres qui a une influence sur le ruissellement dans le 2<sup>eme</sup> scénario a une meilleur représentation du bassin versant contrôlé par la station GRAREM, figures IV.7.8.9.10.

Pour la station TASSADANE qui contrôle 914.7 Km<sup>2</sup>, sur la période de calibration il y a 12 principaux évènements



Pour le 1ere scenario on remarque que la différence entre le temps de concentration simulé et observé et mieux que celui de la station GRAREM, mais les débits simulé dans les pics dans chaque évènements et moins que l'observé.

Par contre dans le 2 eme scenario le temps de concentration dans les différents évènements n'est pas mieux que celui du 1 er scenario, et pour les débits simulé dans les pics le model a presque reproduit de derniers.

Pour la période de validation sur le 1ere scénario ( $R^2= 0.59$ ,  $NSE=0.63$ ) et dans le 2 eme scenario ( $R^2= 0.70$ ,  $NSE=0.70$ ), ce qui indique que les données du 2 eme scenario a une meilleur représentation du sous bassin contrôlé par la station TASSADANE figures IV.11.12.13.14.

Pour la station AIN SMARA qui contrôle 1101 Km<sup>2</sup>, sur la période de calibration il y a 05 principaux évènements.

Pour le 1ere scenario on remarque qu'il y n'a pas une grande différence entre le temps de concentration simulé et observé, et le débit liquide simulé et plus grand que l'observé notamment dans le 1ere et le 2 eme évènement.

Par contre dans le 2eme scénario il y a une différence entre le temps de concentration simulé et observé, et pour les débits simulé dans les pics et plus grand que l'observé.

Et cela se reflète dans la période de validation le 1 er scenario ( $R^2= 0.48$ ,  $NSE=0.58$ ) et dans le 2 eme scenario ( $R^2= 0.57$ ,  $NSE=0.64$ ), ce qui indique que le 2 eme scénario donne des meilleurs résultats et a une bonne représentation du sous bassin contrôlé par la station AIN SMARA figure IV15.16.17.18.

D'après ces résultats on constate qu'il y a une différence entre les sous bassins par rapport à la quantité des flux liquides, et l'influence des différents paramètres au ce derniers, comme dans notre cas l'impact des paramètres liés aux eaux souterraines et des couvertures des terres, et des types des sols au débit ruisselé.

Par exemple pour le 1er scenario le paramètre qui a une grande influence sur les résultats de simulation c'est Cn2 le nombre de courbes de la méthode SCS, par contre dans le 2 eme scenario les paramètres qui ont un impact sur les résultats sont les paramètres des eaux souterraines.

En général le model dans les deux scénarios réussit à reproduire le cycle hydrologique et nous donne de bons résultats, mais le 2eme scénario a donné la meilleure simulation ceci est dû aux types des données qui ont une meilleure représentation du bassin versant.

#### V.4. Discussion 03

L'analyse de sensibilité du model en utilisant SWAT- CUP en utilisant les observations des débits solides montre que les paramètres qui ont une grande influence sur les résultats de simulation pour les deux scénarios sont : le facteur d'érodabilité K USEL\_K, Facteur de couverture du canal CH\_COV1, Facteur d'érodabilité du canal CH\_EROD, Facteur de couverture du canal CH\_COV2. Ses résultats ainsi obtenus sont compatibles avec les études qui montrent que ces paramètres ont une influence sur les sédiments [White and Chaubey, 2005], [Arnold et al., 2012], [Neitsch et al., 2011]

Les résultats de simulation montrent que le 2eme scénario donne une meilleure représentation du bassin versant dans la simulation des débits solides avec

Pour le 1er scénario :

- Dans la période de calibration NSE et entre (0.1 – 0.88),  $R^2$  entre (0.032 – 0.9).
- Dans la période de validation NSE et entre (0.27 – 0.88),  $R^2$  entre (0.028 – 0.4).

Pour le 2eme scénario :

- Dans la période de calibration NSE et entre (0.51 – 0.94),  $R^2$  entre (0.5 – 0.7).
- Dans la période de validation NSE et entre (0.63 – 0.91),  $R^2$  entre (0.27 – 0.52).

Pour le 1er scénario on remarque que les résultats de simulation en général et moins que l'observé, ça dépend en 1er place aux résultats des débits liquides de ce scénario.

Pour la station GRAREM figures IV.27.28.29.30. Dans la période de calibration du scénario 01 le débit simulé est moins que l'observé, la moyenne et le maximum total dans toute la période de calibration et de (moy = 176.39 kg/s, max = 62164.35 kg/s) et la moyenne et le maximum de simulation dans la même période que l'observé et de (moy = 35.53 kg/s, max = 4672.45). Par rapport à la moyenne et le maximum de l'observé (moy 348.98 kg/s, max = 41219.36 kg/s). Et cela explique les résultats de comparaison entre le simulé et l'observé dans la période de calibration  $R^2 = 0.90$  donc il y a une similarité dans temps de montée et de la descente dans l'hydrogramme et puisque il y a une différence entre le simulé et l'observé  $NSE = 0.47$ .

Ceci est reflété sur la période de validation la moyenne et le maximum total dans toute la période et de (moy = 24.31 kg/s, max = 12106.48 kg/s) et la moyenne et le maximum de simulation dans la même période que l'observé et de (moy = 2.57 kg/s, max = 183.79 kg/s). Par rapport à la moyenne et le maximum de l'observé (moy 10.008 kg/s, max = 862.46 kg/s). En plus que la période de validation qui contient seulement 244 valeurs l'observation dans la période (17/03/1986 - 31/12/1993), ça a une grande influence sur les résultats ( $R^2 = 0.40$ ,  $NSE = 0.62$ ).

Par contre dans le 2eme scénario les résultats de simulation sont plus proches de l'observé, la moyenne et le maximum total dans toute la période de calibration et de (moy = 509.657 kg/s, max = 69224.53 kg/s) et la moyenne et le maximum de simulation dans la même période que l'observé et de (moy = 476.99 kg/s, max = 20902.77 kg/s). Par rapport à la moyenne et le maximum de l'observé (moy 348.98 kg/s, max = 41219.36 kg/s). Et cela démontre le rapprochement entre le observé et le simulé ( $R^2 = 0.7$ ,  $NSE = 0.7$ ).

Et dans la période de validation le 2eme scénario a le même problème que le 1er, mais il y a une amélioration dans les résultats de comparaison entre le simulé et l'observé, la moyenne et le maximum total dans toute la période de calibration et de (moy = 132.48 kg/s, max = 34398.14 kg/s) et la moyenne et le maximum de simulation dans la même période que l'observé et de (moy = 16.82 kg/s, max = 800.925 kg/s). Par rapport à la moyenne et le maximum de l'observé (moy 10.008 kg/s, max = 862.46 kg/s), et  $R^2 = 0.477$ ,  $NSE = 0.63$ .

Pour la station TASSADANE figures IV.31.32.33.34. Dans le 1er scénario les résultats de simulation dans les deux périodes de calibration et validation montre que le simulé est plus ou moins que l'observé

- Dans la période de calibration la moyenne et le maximum total dans cette la période et de (moy = 0.69 kg/s, max = 83.40 kg/s) et la moyenne et le maximum de simulation dans la même période que l'observé et de (moy = 1.18 kg/s, max = 83.40 kg/s). Par rapport à la moyenne et le maximum de l'observé (moy 41.15 kg/s, max = 8931.10 kg/s).
- Et dans la période de validation calibration la moyenne et le maximum total dans cette la période et de (moy = 0.66 kg/s, max = 127.89 kg/s) et la moyenne et le maximum de

simulation dans la même période que l'observer et de (moy= 1.84 kg/s, max= 86.36 kg/s). Par rapport à la moyenne et le maximum de l'observer (moy 144.89 kg/s, max= 17146.70 kg/s).

Ce qui nous donne des résultats insatisfaisant pour la période de calibration ( $R^2= 0.032$ , NSE=0.10), et pour la période de validation ( $R^2= 0.028$ , NSE=0.27).

Par contre dans le 2eme scénario donne des résultats satisfaisant, pour la période de calibration ( $R^2= 0.506$ , NSE=0.51), et pour la période de validation ( $R^2= 0.52$ , NSE=0.66). Avec :

- Dans la période de calibration la moyenne et le maximum total dans cette la période et de (moy =46.11 kg/s, max = 4034.72 kg/s) et la moyenne et le maximum de simulation dans la même période que l'observer et de (moy= 78.92 kg/s, max= 4034.72 kg/s). Par rapport à la moyenne et le maximum de l'observer (moy 41.15 kg/s, max= 8931.10 kg/s).
- Et dans la période de validation calibration la moyenne et le maximum total dans cette la période et de (moy =61.38 kg/s, max = 24004.69 kg/s) et la moyenne et le maximum de simulation dans la même période que l'observer et de (moy= 158.09 kg/s, max= 9859.95 kg/s). Par rapport à la moyenne et le maximum de l'observer (moy 144.89 kg/s, max= 17146.70 kg/s).

Pour la station KOUDIA TENDART figures IV.35.36.37.38. Sauf la période de calibration dans le 2eme scénario qui nous donne un résultat satisfaisant, et le reste des résultats le 1er scénario et la période de validation du 2eme scénario donne des résultats insatisfaisante. Puisque dans cette station il y a que 125 valeurs d'observation et validation pour cela les résultats de coefficient de détermination et moins que la limites acceptable ( $R^2$  et entre 0.21-0.38).

Et puisque il y a pas une calibration des débits liquides de cette station on utilise les paramètres de calibration de la station TASSADANE, et malheureusement la station pluviométrique utilisé dans la simulation n'pas une bon représentation de la pluie dans le sous bassin. cela explique les résultats dans cette station.

Dans la station GRAREM l'un des raisons sur lequel les résultats sont insatisfaisant ( $R^2=0.477$ ) dans la période de validation c'est la calibration des flux liquides utilisé dans le model et pris d'une autres période (1992-2000).

Et pour la station TASSADANE dans le 1er scénario les données de la couverture des terres, et des types des sols n'a pas une bon représentations su sous bassin contrôler par la station.

Les figure IV.39 et IV.41 montre le taux d'érosion de chaque sous bassin seulement. Les résultats montre que dans le 1er scénario le taux d'érosion de chaque sous bassin et de (0.015 ton/ ha – 0.647 ton/ha). Et pour le 2eme scénario entre (0.226 ton/ ha – 2.126 ton/ha)

Les figures IV.40 et IV.42 monter la moyenne interannuelles des sédiments transporté par les cours d'eau principales pour les deux scénarios respectivement.

Le taux d'érosion total du bassin versant dans le 2eme scénario et de 3944.83 ton/km<sup>2</sup>/an ce qui confirme les résultats de recherche [Demmak, 1982], (Demmak trouver que le taux d'érosion dans l'Algérie et de 2000 à 4000 ton/km<sup>2</sup>/an).

On conclue que le 2eme scénario nous donne une meilleur simulation et représentation de du bassin versant concernant les apports liquides et solides.

A decorative border composed of four grey, brushstroke-like elements that curve around the central text. Each element has a soft, feathered edge and a slightly darker, more defined inner stroke, giving it a hand-drawn, artistic appearance. The elements are positioned at the top, bottom, left, and right, meeting at the corners to frame the text.

# CONCLUSION

## VI.1. CONCLUSION

Le barrage de Beni Haroun est le plus grand en Algérie et avec ces installations de transferts alimentera 7 wilayas à l'Est de l'Algérie. Pour cela il est essentiel d'étudier le bassin versant et tous les paramètres qui ont une influence sur les divers apports arriveront à la retenue de ce dernier.

Dans cette étude le modèle SWAT a été utilisé pour une modélisation hydrologique dans le bassin versant du barrage de Beni Haroun, compte tenu de son importance, en utilisant 2 scénarios. Le 1<sup>er</sup> scénario consiste à utiliser les bases de données mondiales et le 2<sup>ème</sup> se base sur la télédétection et la cartographie numérique des sols des images satellitaire, afin de créer une base de données qui contient les paramètres requis pour faire une simulation, tel que la texture du sol (pourcentage d'argile, de limon et de sable, de gravier), le pourcentage de la matière organique, la densité apparent, la conductivité hydraulique, la capacité de l'eau dans le sol, pH, conductivité électrique et le facteur K d'érodabilité dans le but de cerner le type de données nous permettant d'aboutir aux meilleurs résultats.

Après les diverses simulations effectuées lors de la réalisation de cette thèse et d'après les résultats obtenus nous pouvons conclure que :

- Le modèle a réussi à reproduire le cycle hydrologique dans le bassin versant en question
- La calibration du modèle en utilisant les observations des débits liquides seulement n'est pas suffisante ; le modèle nécessite une autre calibration avec les observations des débits solides.
- il y a une différence entre les sous bassins, ceci est très clair dans la calibration de chaque sous bassin.
- Le scénario qui nous donne les meilleurs résultats c'est le 2<sup>ème</sup> scénario, néanmoins le 1<sup>er</sup> scénario demeure nécessaire et peut être utilisé pour une simulation des débits liquides ou pour une vue préliminaire et pour définir les paramètres de calibration.
- Le taux d'érosion total du bassin est relativement élevé (3944.83 t/km<sup>2</sup>/an), pour cela le bassin versant du barrage a besoin d'une étude d'aménagement pour contrôler les apports solides susceptibles d'arriver au barrage et par conséquent augmenter la durée de vie du barrage.

D'autres recherches sont nécessaires surtout dans la calibration des autres paramètres simulés par le modèle, cela nous donnera la possibilité de faire une meilleure modélisation hydrologique sur le bassin versant et nous donnera la capacité d'orienter nos recherches vers l'impact du changement climatique sur le bassin. Ce qui nous mènera à proposer des aménagements durables du bassin versant afin de mieux gérer les installations hydrotechniques et prolonger la durée de service du barrage est ces installations.

Sur la base de nos recherches et nos résultats, nous constatons qu'il y a quelques problèmes sur le bassin versant du barrage de Beni Haroun. L'un des problèmes, est l'absence des équipements de mesure et de contrôle au sein de bassin versant ; particulièrement, dans certains cas, la situation actuelle des stations hydrométriques disponibles ne permet pas de bien contrôler les apports liquides et solides produits au sein du bassin versant. De plus il a été constaté que les données des précipitations et d'autres paramètres climatiques présentent plusieurs lacunes, ce qui influe directement sur les résultats des simulations, d'où l'implantation de stations automatiques sera d'un grand intérêt car elles permettront de bien contrôler le bassin versant

## Conclusion

et de mesurer correctement les apports liquides et solides arriveront au barrage, ce qui mènera à la constitution des bases de données fiables et continues sans lacunes. Ces dernières permettront aux spécialistes et aux chercheurs d'évaluer et d'estimer les paramètres hydrologiques recherchés, d'adapter les modèles existants et même de créer leurs propres modèles afin de faciliter la gestion et l'aménagement du bassin versant.

A terme de notre étude, Le 2<sup>ème</sup> scénario a prouvé son efficacité lors de la modélisation hydrologique sur le plan des apports liquides et des apports solides qui avait donné des résultats très satisfaisants. (35.50 – 100.50mm/ans pour la simulation du ruissellement. 3944.83 ton/km<sup>2</sup>/an pour le taux d'érosion total du bassin versant).

Suite aux problèmes rencontrés lors de la réalisation essentiellement dus à la quantité et la qualité de l'information hydrologique, nous proposons pour les stations hydrométriques :

1. Changer l'emplacement de la station hydrométrique KOUDIAT TENDRAT vers l'exutoire du bassin versant 14.
  2. Changer l'emplacement de la station hydrométrique GRAREM avant le début du lac du barrage de Beni Haroun du côté d'Oued Rhumel.
  3. Ajouter une nouvelle station hydrométrique qui permet de mesurer les apports liquides, les apports solides et la qualité d'eau automatiquement à différents pas de temps dans le bassin versant N 03 avant le début du lac du barrage de Beni Haroun du côté d'Oued Enndja.
  4. Ajouter deux stations hydrométriques dans l'exutoire du sous bassin versant 16 et 19.
- Tous les stations hydrométriques dans le bassin versant doit être capable de mesurer les apports liquides et solides et la concentration des matières en suspension et tous les paramètres qui permettent de contrôler la qualité d'eau d'une façon automatisée.

D'après la carte de l'ANRH [[ANRH, 2004](#)] il existe plusieurs stations pluviométriques dans le bassin versant. Mais juste quelques stations qui contiennent un historique potentiellement utilisable pour des études des phénomènes hydrologiques. Pour cela nous proposons de renouveler quelques stations et les développer en stations climatiques automatisées pour assurer le minimum qui permet le contrôle et la modélisation hydrologique et climatique. Les stations proposées sont les suivantes :

1. 10-01-03
2. 10-01-04
3. 10-01-05
4. 10-02-03
5. 10-02-04
6. 10-02-06
7. 10-04-03
8. 10-04-04
9. 10-05-03
10. 10-05-06
11. 10-05-07
12. 10-05-08
13. 10-06-04
14. 10-06-06
15. 10-06-20

## Conclusion

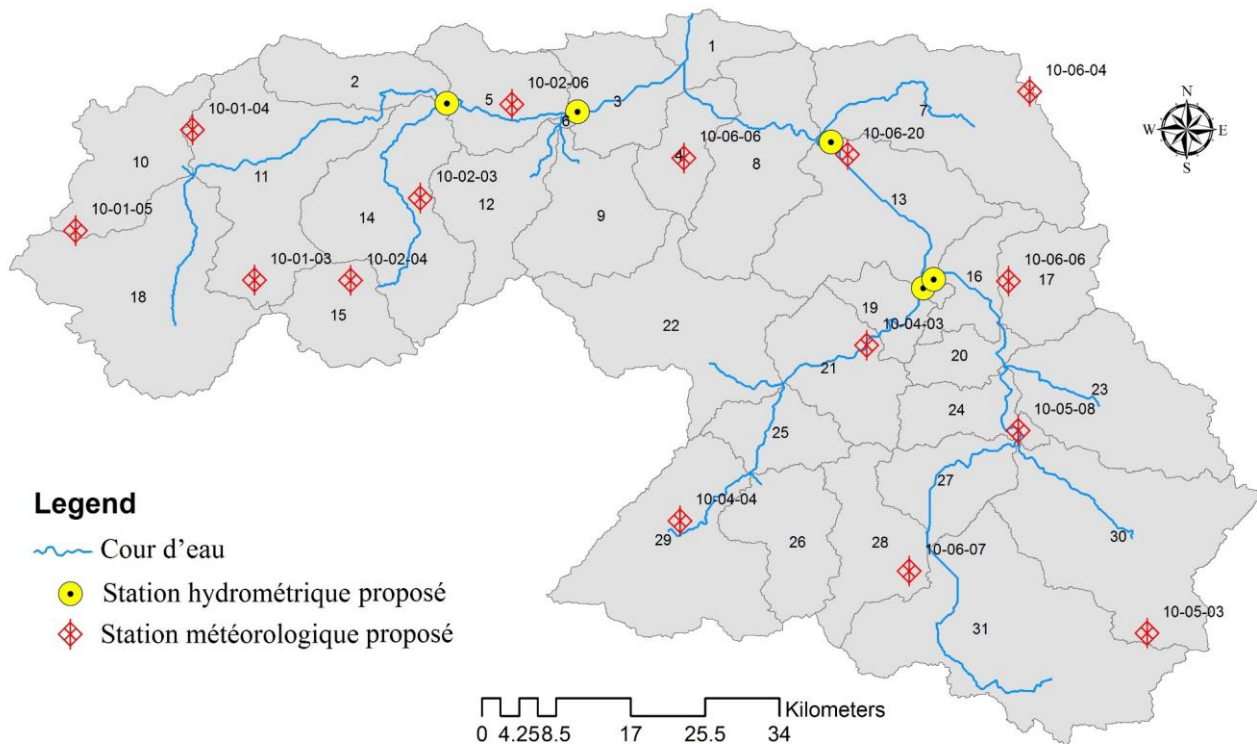


Figure V.1 Equipements de contrôle proposé

A ce stade ce stade cette modeste thèse ne prétend pas cerner tous les problèmes de modélisation hydrologiques mais ses résultats nous nous ont permis d'ouvrir une fenêtre sur de futures recherches plus poussés dans le domaine comme :

- La carte des types des sols et de l'utilisation de la couverture des terres réalisées nous permettrons d'essayer d'appliquer d'autres modèles comme RUSLE et USLE et PAP CAR.
- Les résultats satisfaisants de calibration basés sur les données d'observations liquides et solides était nous encourage à calibrer le modèle avec d'autres paramètres observés afin d'améliorer la représentation du bassin versant dans le modèle SWAT.
- L'utilisation des données plus étendues et plus variés et la calibration par les débits liquides et les débits solides, nous permettront d'avoir une vision correcte sur l'impact du changement climatique sur les bassins versants.
- L'utilisation combinée des résultats est comptés de ses recherches nous mènera forcément à des aménagements fiables, à une gestion rationnelle des ressources en eau au sein du bassin versant.



# *Annexe*





### **VII.1.La matière organique total**

On prend une quantité du sol est porté à 550° C pendant 2 heures ceci permet d'évalués du taux de matière organique [[Storer, 1984](#)].

### **VII.2.Texture**

La détermination de la texture du sol se fait sur deux étapes, l'analyse granulométrique par tamisage et par sédimentométrie

#### a. l'analyse granulométrique par tamisage

l'essai consiste de faire passer le sol à travers une séries des tamis classées du plus grand au plus petits (0.08mm) et de peser le refus de chaque tamis et ainsi calculer le pourcentage retenu par chaque tamis et de tracer la courbe correspondante [[AFNOR, 1996](#)]

#### L'analyse par sédimentométrie

C'est une partie complémentaire à la précédente, concerne les particules dont le diamètre est inférieur à 0.08 mm. Cette méthode se base sur le phénomène de la variation dans le temps de la densité du mélange "sol-eau".

Elle se déroule comme suite :

Prendre pour chaque échantillon 30 ml de défloculant dilué jusqu'au 200 ml par l'eau distillée, ce volume sera diviser en 02, les 100 ml vont être versé dans une éprouvette est complété par l'eau distillée jusqu'au 1000 ml pour servir d'éprouvette témoin. Les 100 ml restant vont être mélangé avec 20g du sol restant du tamisât de diamètre inférieur à 0.08mm, et malaxer par un agitateur pendant 3 minute puis verser dans une éprouvette complétée par l'eau distillée jusqu'au 1000 ml. On mélange cette dernière pour bien homogénéiser la suspension et directement on plonge le densimètre et on fait les lectures sur les graduations du densimètre depuis : 20'' ,30'' ,1' ,2' ,5' sans retirer le densimètre, puis l'introduire dans l'éprouvette témoin.

Les lectures seront faite pour les temps suivent : 20'' ,30'' ,1' ,2' ,5' ,10' ,80' ,240' ,24h. Les mesures de la température à fait dans l'éprouvette témoin et dans l'éprouvette à la suspension par un thermomètre. [[AFNOR, 1987](#)] [[Aubert, 1978](#)].



Figure VII. 1 Préparation des échantillons



Figure VII. 2 Mesure de la densité

### VII.3. La densité apparente

La densité apparente c'est le rapport entre le poids du sol séché à 105° sur son volume [[Aubert, 1978](#)].

### VII.4. l'humidité aux champs

C'est le pourcentage de l'eau dans le sol donc c'est poids su sol avant le séchage sur le poids du sol après le séchage [[Aubert, 1978](#)].

### **VII.3.5.L'humidité équivalent et la microporosité**

C'est la capacité de rétention en eau (eau emmagasinés dans les micropores après une période pluvieuse), on utilise la méthode de Bouyoucos

Mode opératoire :

Sur un filtre de BUCHNER placer un disque de papier filtre humidifié sur ce dernier déposer de la terre fine (particule <2 mm) sur une épaisseur de 1 cm.

-tasser légèrement la terre fine.

-Placer un filtre de BUCHNER dans un grand béccher dans lequel on versera de l'eau jusqu'à ce que le niveau de ce dernier se trouve un peu en dessous de la surface de la terre.

-Laisser la terre s'imbiber d'eau par capillarite (durant une nuit).

-Retirer du béccher, le filtre de BUCHNER et le porter sur une fiole a vidé reliée à une trompe d'eau à eau.

-Créer une dépression afin d'éliminer l'eau emprisonnée dans les pores.

-placer sur le filtre de BUCHNER une éponge mouillée afin d'éviter le dessèchement de la surface de la terre.

-Dès que l'eau ne s'écoule plus dans la fiole à vide, cesser l'aspiration et Ires rapidement opérer de la façon suivante :

-Mettre de la terre dans une capsule torrée.

-Peser la terre encore humide, soit P1 le poids terre humide.

-Placer la capsule dans une étuve à 105C° jusqu'à l'obtention d'un poids constants ; soit P2 le poids de terre séchée à 105C°.

Figure VII. 3 [[Aubert, 1978](#)]

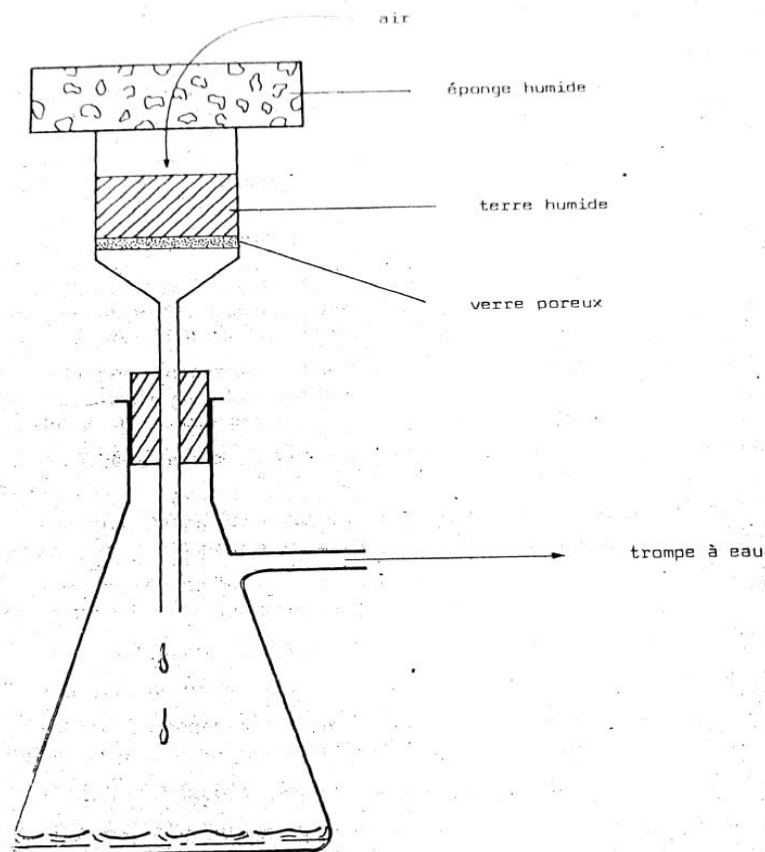


Figure VII. 3 dispositif pour la détermination de l'humidité équivalente [Aubert, 1978]

### VII.6. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur globale en sels dissous. De plus la connaissance de la conductivité est nécessaire pour l'étude du "complexe absorbant des sols salés".

Il se détermine comme suite :

- obtenir à partir d'un échantillon de terre, soit une pâte saturée en eau distillée, soit une solution d'extraction aqueuse en prenant soin de veiller à ce que le rapport  $sol/eau$  soit constant (1/5 ou 1/10).
- A l'aide d'un résistivimètre mesurer la résistivité de la solution.
- Tenir compte de la température de la solution pour le calcul.
- La conductivité électrique C. E. est égale à l'inverse de la résistivité. [Aubert, 1978]

### VII.7.pH

La mesure du pH s'effectue sur une suspension de terre fin ( $\leq 2mm$ ), elle se fait avec un pH mètre. Il se détermine comme suite :

prendre 40g de terre séchée ( $\leq 2mm$ ) la mélanger à 60ml d'eau distillée, et agité pendant 2 min puis laissé au repos pendant 30 min. L'électrode du pH mètre est trempée dans cette solution, la valeur du pH s'affiche sur le cadran du pH mètre. [[Aubert, 1978](#)] .

### VII.8. Conductivité hydraulique ou la perméabilité

On utilise la méthode de mesure en régime permanent a charge constante [[Todd and Larry, 2005](#)] .

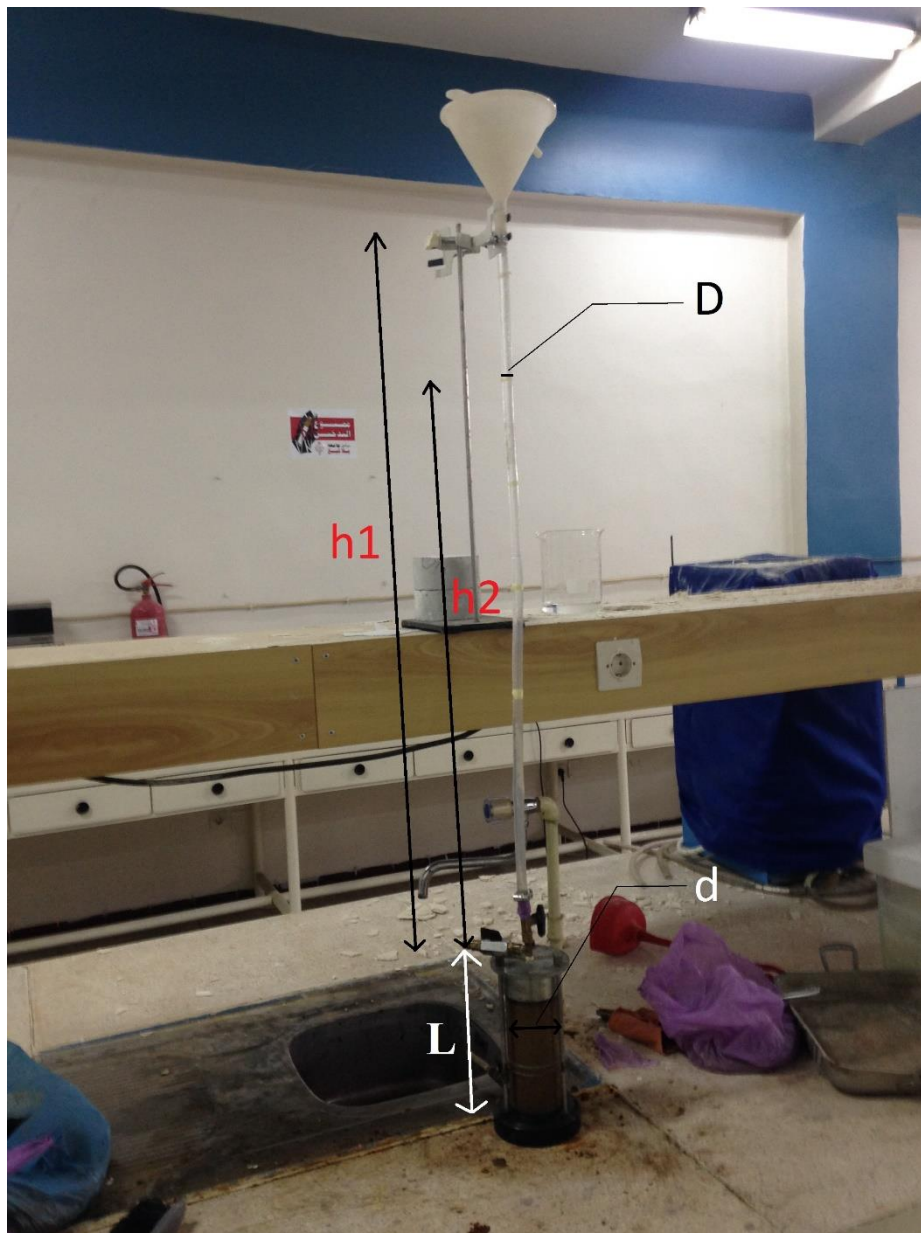


Figure VII.4 diapositif de mesure de la conductivité hydraulique A

## Annexe

La conductivité hydraulique peut être déterminée par un perméamètre, dans lequel le débit est maintenu à travers un petit échantillon de matériau pendant que des mesures de débit et de perte de charge sont effectuées.

Le perméamètre à tête constante illustré à la figure VII.4 peut mesurer les conductivités hydrauliques des formations consolidées ou non consolidées. L'eau pénètre dans le cylindre moyen, il s'ensuit que la conductivité hydraulique peut être obtenue à partir de

$$K = \frac{D^2 \times L}{d^2 \times t} \times \ln \frac{h_2}{h_1}$$

Où

-K conductivité hydraulique

-D, d, L, h1, h2, sont montrés dans la figure VII.4

-t : intervalle de temps pour que le niveau d'eau dans le tube tombe de h1 à h2



Figure VII.4 dispositif de mesure de la conductivité hydraulique B

### VII.9. facteur K d'érodabilité

Le facteur d'érodabilité K de la formule USEL avec la formule de Williams (1995) [[Arnold et al., 2013](#)] :

$$K_{USEL} = f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{org} \times f_{hisand}$$

$$f_{csand} = \left( 0.2 + 0.3 \times \left[ -0.265 \times m_s \times \left( 1 - \frac{m_{stil}}{100} \right) \right] \right)$$

$$f_{cl-si} = \left( \frac{m_{stil}}{m_c + m_{stil}} \right)^{0.3}$$

$$f_{org} = \left( 1 - \frac{0.0256 \times orgc}{orgc + \exp[3.72 - 2.95orgc]} \right)$$

$$f_{hisand} = \left( 1 - \frac{0.7 \times \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp[-5.51 + 22.9 \times \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)]} \right)$$

$f_{csand}$  : est un facteur qui donne de faibles facteurs d'érosion du sol pour les sols à forte teneur en sable grossier et des valeurs élevées pour les sols à faible teneur en sable

$f_{cl-si}$  : est un facteur qui donne de faibles facteurs d'érosion du sol pour les sols avec des rapports argile / limon élevés,

$f_{org}$  : Est un facteur qui réduit l'érodabilité des sols pour les sols avec une teneur en carbone organique élevée,

$f_{hisand}$  : Est un facteur qui réduit l'érodabilité des sols pour les sols avec du sable extrêmement élevé contenu.

$m_s$  : Est la teneur en % de sable (diamètre de particules 0,05 à 2,00 mm),

$m_{silt}$  : Est la teneur en % de limon (diamètre de particules 0.002- 0,05 mm),

$m_c$  : Est le contenu en % d'argile (diamètre de particules <0,002 mm),

$orgc$  : Est le en % teneur en carbone organique de la couche (%)

A decorative border composed of four grey brushstroke elements, each with a feathered, textured appearance, framing the central text. The strokes are positioned at the top-left, top-right, bottom-left, and bottom-right corners, curving inward towards the center.

*Références*  
*Bibliographiques*



## Références Bibliographiques

- ABBASPOUR, K., ROUHOLAHNEJAD, E., VAGHEFI, S., SRINIVASAN, R., YANG, H. & KLØVE, B. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524, 733-752.
- ABBASPOUR, K. C. 2013. SWAT-CUP 2012. SWAT Calibration and Uncertainty Program—A User Manual.
- ABRAHAMS, A. D., PARSONS, A. J. & WAINWRIGHT, J. 1995. Effects of vegetation change on interrill runoff and erosion, Walnut Gulch, southern Arizona. *Geomorphology*, 13, 37-48.
- ACHARYA, T. D. & YANG, I. 2015. Exploring Landsat 8. *Int. J. IT Eng. Appl. Sci. Res.*, 4, 4-10.
- AFNOR, N. 1987. analyses granulométriques par sédimentométrie MÉTHODE D'ESSAI LPC no 18. PARIS: LCPC.
- AFNOR, N. 1996. 94-056" Sols: reconnaissance et essais" Analyse granulométrique. Méthode par tamisage à.
- AKSOY, E. & DIRIM, M. S. 2009. Soil mapping approach in GIS using Landsat satellite imagery and DEM data. *African Journal of Agricultural Research*, 4, 1295-1302.
- ALI, R. & KOTB, M. 2010. Use of satellite data and GIS for Soil Mapping and Capability Assessment. *Nature and Science*, 8, 104-115.
- AMMARI, A. & REMINI, B. 2010. Estimation of Algerian rivers discharges based one Chiu's equation. *Arabian Journal of Geosciences*, 3, 59-65.
- ANBT. 2018. Agence National des Barrages et Transferts [Online]. Available: <http://www.anbt-dz.com/index.php/apropos> [Accessed].
- ANDERSON, J. R. 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data A land use and land cover classification system for use with remote sensor data, US Government Printing Office
- ANRH. 2004. Carte du réseau hydroclimatologique et de surveillance de la qualité des eaux 1:500,000. Algérie: ANRH.
- ANRH. 2005a. cares des écoulement moyens annuels sur le nord de l'algerie, 1:500000. ANRH.
- ANRH. 2005b. situation des etides pedologiques et agro-pedologiques du nord de l'algerie (1963-2004), 1:500000. [www.anrh.dz](http://www.anrh.dz).
- AQUASTAT, F. 2013. AQUASTAT Information system on water in agriculture [Online]. [Accessed].
- ARMON, R. H. & HÄNNINEN, O. 2016. Environmental indicators Environmental indicators, Springer.9402403825
- ARNOLD, J., KINIRY, J., SRINIVASAN, R., WILLIAMS, J., HANEY, E. & NEITSCH, S. 2013. SWAT 2012 Input/Output Documentation. Texas Water Resources Institute.
- ARNOLD, J., SRINIVASAN, R., NEITSCH, S., GEORGE, C., ABBASPOUR, K., HAO, F., VAN GRIENSVEN, A., GOSAIN, A., DEBELS, P. & KIM, N. 2009. Soil and water assessment tool (SWAT) global applications Soil and water assessment tool (SWAT) global applications, Bangkok, Thailand: World Association of Soil and Water Conservation.9746137220
- ARNOLD, J. G., MORIASI, D. N., GASSMAN, P. W., ABBASPOUR, K. C., WHITE, M. J., SRINIVASAN, R., SANTHI, C., HARMEL, R., VAN GRIENSVEN, A. & VAN LIEW, M. W. 2012. SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55, 1491-1508.
- ARNOLD, J. G., SRINIVASAN, R., MUTTIAH, R. S. & WILLIAMS, J. R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34, 73-89.

## Références Bibliographiques

- ARROUAYS, D., GRUNDY, M. G., HARTEMINK, A. E., HEMPEL, J. W., HEUVELINK, G. B., HONG, S. Y., LAGACHERIE, P., LELYK, G., MCBRATNEY, A. B. & MCKENZIE, N. J. 2014. Chapter Three-GlobalSoilMap: Toward a fine-resolution global grid of soil properties. *Advances in agronomy*, 125, 93-134.
- ATMANIA, D. 2010. Minéralogie des argiles et phénomène de retrait-gonflement dans le bassin de Mila (Nord constantinois). PHD, UNIVERSITE MENTOURI-CONSTANTINE.
- AUBERT, G. 1978. Méthodes d'analyses des sols Méthodes d'analyses des sols, Centre national de documentation pédagogique, Centre régional de documentation pédagogique de Marseille
- AYDEMIR, S., KESKIN, S. & DREES, L. 2004. Quantification of soil features using digital image processing (DIP) techniques. *Geoderma*, 119, 1-8.
- BAAHMED, D., OUDIN, L. & ERRIH, M. 2015. Current runoff variations in the Macta catchment (Algeria): is climate the sole factor? *Hydrological sciences journal*, 60, 1331-1339.
- BACHIR, S., NOUAR, B., HICHAM, C., AZZEDINE, H. & LARBI, D. 2015. Application of GR2M for Rainfall-Runoff Modeling in Kébir Rhumel Watershed, North East of Algeria. *World Applied Sciences Journal*, 33, 1623-1630.
- BAGNOLD, R. 1977. Bed load transport by natural rivers. *Water resources research*, 13, 303-312.
- BAGNOULS, F. & GAUSSEN, H. Les climats biologiques et leur classification. *Annales de géographie*, 1957. JSTOR, 193-220.
- BARSI, J. A., LEE, K., KVARAN, G., MARKHAM, B. L. & PEDELTY, J. A. 2014. The spectral response of the Landsat-8 operational land imager. *Remote Sensing*, 6, 10232-10251.
- BATES, B. 2009. Climate Change and Water: IPCC technical paper VI Climate Change and Water: IPCC technical paper VI, World Health Organization. 9291691232
- BATJES, N. 2009. Harmonized soil profile data for applications at global and continental scales: updates to the WISE database. *Soil Use and Management*, 25, 124-127.
- BEASLEY, D., HUGGINS, L. & MONKE, A. 1980. ANSWERS: A model for watershed planning. *Transactions of the ASAE*, 23, 938-944.
- BEASLEY, D. B. & HUGGINS, L. F. 1981. ANSWERS, areal nonpoint source watershed environment response simulation: user's manual.
- BENADJI, S. 2010. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET CATALYTIQUES DES OXYDES MIXTES D'ELEMENTS DE TRANSITION DE TYPE K-Nb-W-As-O ET DES PHOSPHOVANADOMOLYBDATES SUPPORTES.
- BENKHALED, A. & REMINI, B. 2003. Analyse de la relation de puissance: débit solide-débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'oued Wahrane (Algérie). *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 16, 333-356.
- BENNETT, H. H. 1939. Soil conservation. *Soil conservation*.
- BETRIE, G. D., MOHAMED, Y. A., VAN GRIENSVEN, A. & SRINIVASAN, R. 2011. Sediment management modelling in the Blue Nile Basin using SWAT model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 807.
- BISHOP, T., HORTA, A. & KARUNARATNE, S. 2015. Validation of digital soil maps at different spatial supports. *Geoderma*, 241, 238-249.
- BLANCO, H. & LAL, R. 2010. Soil and water conservation. *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer, 2.
- BOETTINGER, J., RAMSEY, R., BODILY, J., COLE, N., KIENAST-BROWN, S., NIELD, S., SAUNDERS, A. & STUM, A. 2008. Landsat spectral data for digital soil mapping. *Digital soil mapping with limited data*, 193-202.

## Références Bibliographiques

- BOETTINGER, J. L., HOWELL, D. W., MOORE, A. C., HARTEMINK, A. E. & KIENAST-BROWN, S. 2010. Digital soil mapping: bridging research, environmental application, and operation Digital soil mapping: bridging research, environmental application, and operation, Springer Science & Business Media.9048188636
- BOUANANI, A., BABA-HAMED, K. & FANDI, W. 2013. Production et transport des sédiments en suspension dans l'oued Sikkak (Tafna-nord-ouest Algérie). *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 26, 119-132.
- BOUCEFIANE, A., MEDDI, M., LABORDE, J. P. & ESLAMIAN, S. 2014. Rainfall frequency analysis using extreme values distributions in the steppe region of Western Algeria. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 4, 348-367.
- BOUCHELKIA, H. 2009. Etude du transport solide dans un bassin versant. Doctorat, Université Aboubeker Belkaid de Tlemcen.
- BOUCHELKIA, H., BELARBI, F. & REMINI, B. 2013. Estimated flows of suspended solids by the statistical analysis of outfall drainage basin of Tafna (Algeria). *Soil and Water Resources*, 8, 63-70.
- BOUCHELKIA, H., BELARBI, F. & REMINI, B. 2014a. QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION PAR ANALYSE STATISTIQUE: CAS DU BASSIN VERSANT DE MOUILLAH/QUANTIFICATION OF SUSPENDED SEDIMENT YIELD BY STATISTICAL ANALYSIS: THE CASE OF MOUILLAH WATERSHED. *Revue LJEE*.
- BOUCHELKIA, H., BELARBI, F. & REMINI, B. 2014b. Quantification of suspended sediment load by double correlation in the watershed of Chellif (Algeria). *Journal of Water and Land Development*, 21, 39-46.
- BOUCHELKIA, H. & REMINI, B. 2003. Quantification du transport solide dans le bassin versant algérien du Chellif. *Ingénieries-EAT*, p. 45-p. 56.
- BOUGDAH, M. & AMIRA, A. B. 2017. Water and sediment retention in a reservoir (Zit Amba, Algeria). *AACL Bioflux*, 10.
- BOUILLIN, J., DURAND-DELGA, M., GELARD, J., LEIKINE, M., RAOULT, J., RAYMOND, D., TEFIANI, M. & VILA, J. 1970. Définition d'un flysch massylien et d'un flysch maurétanien au sein des flyschs allochtones de l'Algérie. *CR Acad. Sci. Paris*, 270, 2249-2252.
- BOUSLIHIM, Y., KACIMI, I., BRIRHET, H., KHATATI, M., ROCHDI, A., PAZZA, N. E. A., MIFTAH, A. & YASLO, Z. 2016. Hydrologic modeling using SWAT and GIS, application to subwatershed Bab-Merzouka (Sebou, Morocco). *Journal of Geographic Information System*, 8, 20.
- BROUZIYNE, Y., ABOUABDILLAH, A., BOUABID, R., BENAABIDATE, L. & OUESLATI, O. 2017. SWAT manual calibration and parameters sensitivity analysis in a semi-arid watershed in North-western Morocco. *Arabian Journal of Geosciences*, 10, 427.
- BROWN, L. & FOSTER, G. 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions. *Transactions of the ASAE*, 30, 379-0386.
- CARTER, C. E., GREER, J., BRAUD, H. & FLOYD, J. 1974. Raindrop characteristics in south central United States. *Transactions of the ASAE*, 17, 1033-1037.
- CERRO, C., BECH, J., CODINA, B. & LORENTE, J. 1998. Modeling rain erosivity using disdrometric techniques. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 731-735.
- CHENU, C., LE BISSONNAIS, Y. & ARROUAYS, D. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 1479-1486.
- CHIBANE, B. & ALI-RAHMANI, S. 2015. HYDROLOGICAL BASED MODEL TO ESTIMATE GROUNDWATER RECHARGE, REAL-EVAPOTRANSPIRATION

## Références Bibliographiques

- AND RUNOFF IN SEMI-ARID AREA. *LARHYSS Journal* ISSN 1112-3680, 231-242.
- CHILDS, C. 2004. Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst. *ArcUser*, July-September, 3235, 569.
- CONGALTON, R., GU, J., YADAV, K., THENKABAIL, P. & OZDOGAN, M. 2014. Global land cover mapping: A review and uncertainty analysis. *Remote Sensing*, 6, 12070-12093.
- COUTINHO, M. A. & TOMÁS, P. P. 1995. Characterization of raindrop size distributions at the Vale Formoso Experimental Erosion Center. *Catena*, 25, 187-197.
- DE ROO, A., WESSELING, C. & RITSEMA, C. 1996. LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: theory, input and output. *Hydrological processes*, 10, 1107-1117.
- DE VENTE, J. & POESEN, J. 2005. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models. *Earth-science reviews*, 71, 95-125.
- DEHNI, A. & LOUNIS, M. 2012. Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: application to the Oran region of Algeria. *Procedia Engineering*, 33, 188-198.
- DEMMAK, A. 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et du transport solide en Algérie Septentrionale. Docteur-ingenieur, pierre et Marie Curie.
- DEMMAK, A. 1984. Recherche d'une relation empirique entre apports solides spécifiques et paramètres physico-climatiques des bassins: application au cas algérien. *Challenges in African Hydrology and Water Resource*, 144.
- DEMMAK, A., OUAAR, M. & GUEDJTAL, A. 1991. Quantification de l'érosion à l'exutoire de micro-bassins en zone semi-aride. *John Libbey*.
- DOGAN, H. M. & KILIC, O. M. 2013. Modelling and mapping some soil surface properties of Central Kelkit Basin in Turkey by using Landsat-7 ETM+ images. *International journal of remote sensing*, 34, 5623-5640.
- DOUGLAS-MANKIN, K., SRINIVASAN, R. & ARNOLD, J. 2010. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model: Current developments and applications. *Transactions of the ASABE*, 53, 1423-1431.
- DUMAS, J. 1965. Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. *Cahiers Orstom: Serie Pédologie*, Paris, 3, 307-333.
- EKWUE, E. & HARRILAL, A. 2010. Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering*, 105, 112-118.
- EL-SADEK, A. & IRVEM, A. 2014. Evaluating the impact of land use uncertainty on the simulated streamflow and sediment yield of the Seyhan River basin using the SWAT model. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38, 515-530.
- ELWELL, H. Soil loss estimation technique for southern Africa. *Soil conservation problems and prospects: [proceedings of Conservation 80, the International Conference on Soil Conservation, held at the National College of Agricultural Engineering, Silsoe, Bedford, UK, 21st-25th July, 1980]/edited by RPC Morgan, 1981. Chichester [England], Wiley, c1981.*
- ENGMAN, E. T. 1986. Roughness coefficients for routing surface runoff. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 112, 39-53.
- FADIL, A., RHINANE, H., KAOUKAYA, A., KHARCHAF, Y. & BACHIR, O. A. 2011. Hydrologic modeling of the Bouregreg watershed (Morocco) using GIS and SWAT model. *Journal of Geographic Information System*, 3, 279.
- FLANAGAN, D. C., GILLEY, J. E. & FRANTI, T. G. 2007. Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development history, model capabilities, and future enhancements. *Transactions of the ASABE*, 50, 1603-1612.

## Références Bibliographiques

- FRYE, W., EBELHAR, S., MURDOCK, L. & BLEVINS, R. 1982. Soil Erosion Effects on Properties and Productivity of Two Kentucky Soils 1. *Soil Science Society of America Journal*, 46, 1051-1055.
- FU, S., LIU, B., LIU, H. & XU, L. 2011. The effect of slope on interrill erosion at short slopes. *Catena*, 84, 29-34.
- GABET, E. J., BURBANK, D. W., PRATT-SITULA, B., PUTKONEN, J. & BOOKHAGEN, B. 2008. Modern erosion rates in the High Himalayas of Nepal. *Earth and Planetary Science Letters*, 267, 482-494.
- GASSMAN, P. W., REYES, M. R., GREEN, C. H. & ARNOLD, J. G. 2007. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE*, 50, 1211-1250.
- GASSMAN, P. W., SADEGHI, A. M. & SRINIVASAN, R. 2014. Applications of the SWAT model special section: overview and insights. *Journal of Environmental Quality*, 43, 1-8.
- GEOSYSTEMS, L. 2005. ERDAS Field Guide Norcross, GA, 30092.
- GESSESSE, B., BEWKET, W. & BRÄUNING, A. 2015. Model-based characterization and monitoring of runoff and soil erosion in response to land use/land cover changes in the Modjo watershed, Ethiopia. *Land Degradation & Development*, 26, 711-724.
- GHADIRI, H. 2004. Crater formation in soils by raindrop impact. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 29, 77-89.
- GHENIM, A. & MEGNOUNIF, A. 2016. SPATIAL DISTRIBUTION AND TEMPORAL TRENDS IN DAILY AND MONTHLY RAINFALL CONCENTRATION INDICES IN KEBIR-RHUMEL WATERSHED. *LARHYSS Journal* ISSN 1112-3680, 85-97.
- GHENIM, A., TERFOUS, A. & SEDDINI, A. 2007. Étude du transport solide en suspension dans les régions semi-arides méditerranéennes: cas du bassin-versant de l'oued Sebdou (Nord-Ouest algérien). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 18, 39-44.
- GIRI, C. P. 2012. Remote sensing of land use and land cover: principles and applications Remote sensing of land use and land cover: principles and applications, CRC Press.1420070746
- GITHUI, F., MUTUA, F. & BAUWENS, W. 2009. Estimating the impacts of land-cover change on runoff using the soil and water assessment tool (SWAT): case study of Nzoia catchment, Kenya/Estimation des impacts du changement d'occupation du sol sur l'écoulement à l'aide de SWAT: étude du cas du bassin de Nzoia, Kenya. *Hydrological Sciences Journal*, 54, 899-908.
- GOODRICH, D., BURNS, I., UNKRICH, C., SEMMENS, D. J., GUERTIN, D., HERNANDEZ, M., YATHEENDRADAS, S., KENNEDY, J. R. & LEVICK, L. R. 2012. KINEROS2/AGWA: model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55, 1561-1574.
- GREGORICH, E. G. & CARTER, M. R. 2008. Soil sampling and methods of analysis Soil sampling and methods of analysis, CRC.0849335868
- GYSSSELS, G., POESEN, J., BOCHET, E. & LI, Y. 2005. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in physical geography*, 29, 189-217.
- HARTEMINK, A. E., MCBRATNEY, A. & MENDONÇA-SANTOS, M. D. L. 2008. Digital soil mapping with limited data Digital soil mapping with limited data, Springer Science & Business Media.1402085923
- HUDSON, N. 1993. Field measurement of soil erosion and runoff Field measurement of soil erosion and runoff, Food & Agriculture Org.9251034060

## Références Bibliographiques

- HUDSON, N. & JACKSON, D. Results achieved in the measurement of erosion and runoff in Southern Rhodesia. Inter-African Soils Conference. Dalaba, Central African Republic, 1959.
- HUDSON, N. W. 1965. The influence of rainfall on the mechanics of soil erosion: with particular reference to Southern Rhodesia. University of Cape Town.
- IME 2010. REGIONAL REPORT ON MANAGEMENT OF SEDIMENTS IN MEDITERRANEAN DAMS. Institut Méditerranéen de l'Eau.
- JAYAWARDENA, A. & REZAUR, R. 2000. Drop size distribution and kinetic energy load of rainstorms in Hong Kong. *Hydrological Processes*, 14, 1069-1082.
- JEAN-PIERRE, L., PHILIPPE, G., MOHAMED, A., ABDELMATIF, D. & LARBI, B. 2010. Climate evolution and possible effects on surface water resources of North Algeria. *Current Science*, 1056-1062.
- JIONGXIN, X. 2003. Sediment flux to the sea as influenced by changing human activities and precipitation: example of the Yellow River, China. *Environmental Management*, 31, 0328-0341.
- JIONGXIN, X. 2005. Precipitation–vegetation coupling and its influence on erosion on the Loess Plateau, China. *Catena*, 64, 103-116.
- KASSOUL, M., ABDELGADER, A. & BELORGEY, M. 1997. Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie. *Revue des sciences de l'eau*, 10, 339.
- KATEB, Z., BOUCHELKIA, H., BENMANSOUR, A. & BELARBI, F. 2019. Hydrological modeling using the SWAT model based on two types of data from the watershed of Beni Haroun dam, Algeria. *JOURNAL OF WATER AND LAND DEVELOPMENT*, 43 (X–XII), 76–89.
- KATEB, Z., BOUCHELKIA, H., BENMANSOUR, A. & BELARBI, F. 2020. Sediment transport modeling by the SWAT model using two scenarios in the watershed of Beni Haroun dam in Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-17.
- KEBLOUTI, M., OUERDACHI, L. & BERHAIL, S. 2013. The use of weather radar for rainfall-runoff modeling, case of Seybouse watershed (Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 1-11.
- KHANCHOUL, K., ALTSCHUL, R. & ASSASSI, F. 2009. Estimating suspended sediment yield, sedimentation controls and impacts in the Mellah Catchment of Northern Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 2, 257-271.
- KHANCHOUL, K., BOUKHRISSE, Z. & MAJOUR, H. 2012. Statistical modelling of suspended sediment transport in the Cherf drainage basin, Algeria. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 1, 13-17.
- KIRKBY, M. 1969. II. Erosion by Water on Hillslopes. *Water, earth and man: a synthesis of hydrology, geomorphology and socio-economic geography*.
- KNISEL, W. G. 1980. CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems, Department of Agriculture, Science and Education Administration
- KOSMAS, C., DANALATOS, N., CAMMERAAT, L. H., CHABART, M., DIAMANTOPOULOS, J., FARAND, R., GUTIERREZ, L., JACOB, A., MARQUES, H. & MARTINEZ-FERNANDEZ, J. 1997. The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *Catena*, 29, 45-59.
- KOSMAS, C., DANALATOS, N. & GERONTIDIS, S. 2000. The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions. *Catena*, 40, 3-17.
- KRAUSE, P., BOYLE, D. & BÄSE, F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in geosciences*, 5, 89-97.

## Références Bibliographiques

- KRYSANOVA, V. & WHITE, M. 2015. Advances in water resources assessment with SWAT—an overview. *Hydrological Sciences Journal*, 60, 771-783.
- LAGACHERIE, P., MCBRATNEY, A. & VOLTZ, M. 2006. Digital soil mapping: an introductory perspective. *Digital soil mapping: an introductory perspective*, Elsevier.0080468071
- LAKSHMI, S. V., JAMES, J., SOUNDARIYA, S., VISHALINI, T. & PANDIAN, P. K. 2015. A comparison of soil texture distribution and soil moisture mapping of Chennai coast using Landsat ETM+ and IKONOS data. *Aquatic Procedia*, 4, 1452-1460.
- LANGBEIN, W. B. & SCHUMM, S. A. 1958. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 39, 1076-1084.
- LAWS, J. O. & PARSONS, D. A. 1943. The relation of raindrop-size to intensity. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 24, 452-460.
- LEFLAIVE, X. Water Outlook to 2050: The OECD calls for early and strategic action. *Global Water Forum*, 2012.
- LIU, B., NEARING, M., SHI, P. & JIA, Z. 2000. Slope length effects on soil loss for steep slopes. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 1759-1763.
- LIU, J., GAO, G., WANG, S., JIAO, L., WU, X. & FU, B. 2018. The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. *Journal of Geographical Sciences*, 28, 59-78.
- LIU, Q.-Q., CHEN, L. & LI, J.-C. 2001. Influences of slope gradient on soil erosion. *Applied Mathematics and mechanics*, 22, 510-519.
- LOYD, C. 2013. Putting Landsat 8's Bands to Work. *MapBox*, June, 14.
- MA, X., XU, J., LUO, Y., PRASAD AGGARWAL, S. & LI, J. 2009. Response of hydrological processes to land-cover and climate changes in Kejie watershed, south-west China. *Hydrological Processes*, 23, 1179-1191.
- MALAGÒ, A., PAGLIERO, L., BOURAOUI, F. & FRANCHINI, M. 2015. Comparing calibrated parameter sets of the SWAT model for the Scandinavian and Iberian peninsulas. *Hydrological Sciences Journal*, 60, 949-967.
- MARMI, R. & GUIRAUD, R. 2006. End Cretaceous to recent polyphased compressive tectonics along the "Mole Constantinois" and foreland (NE Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, 45, 123-136.
- MARMI, R., KACIMI, M. & BOULARAK, M. 2008. Les mouvements de terrain dans la région de Mila (Algérie nord-orientale) : impact sur les infrastructures. *Revista de geomorfologie*, 10, 51-56.
- MAROUF, N. & REMINI, B. 2011. Temporal Variability in Sediment Concentration and Hysteresis in the Wadi Kebir Rhumel Basin of Algeria. *HKIE Transactions*, 18, 13-21.
- MARSHALL, J. S. & PALMER, W. M. K. 1948. The distribution of raindrops with size. *Journal of meteorology*, 5, 165-166.
- MCCULLY, P. 1996. *Silenced rivers: The ecology and politics of large dams*. Zed Books.1856494365
- MEBARKI, A. 2005. *Hydrologie des bassins de l'Est algérien: ressources en eau, aménagement et environnement*. Thèse de doctorat d'état. Université Mentouri de Constantine.
- MEBARKI, A. 2010. *Hydrologie, Barrages et Transferts d'Eau en Algérie orientale*. bulletin des sciences géographiques 25.
- MEBARKI, A. & THOMAS, C. 1988. Analyse des relations entre écoulements superficiels et souterrains à partir des hydrogrammes des cours d'eau. Application au bassin du Kébir-Rhumel dans le Constantinois (Algérie). *Revue Hydrologie continentale*, ORSTOM, Paris, 3, 89-103.
- MEDDI, M., KHALDI, A. & MEDDI, H. 1998. Contribution à l'étude du transport solide en Algérie du nord. *IAHS PUBLICATION*, 393-398.

## Références Bibliographiques

- MEDDI, M., TOUMI, S. & ASSANI, A. A. 2016. Spatial and temporal variability of the rainfall erosivity factor in Northern Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 282.
- MEGNOUNIF, A. & GHENIM, A. N. 2016. Rainfall irregularity and its impact on the sediment yield in Wadi Sebdou watershed, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 267.
- MEGNOUNIF, A., TERFOUS, A., GHENAIM, A. & POULET, J.-B. 2007. Key processes influencing erosion and sediment transport in a semi-arid Mediterranean area: the Upper Tafna catchment, Algeria/Processus clefs influençant l'érosion et le transport des sédiments dans une région semi-aride Méditerranéenne: le bassin versant de la Haute Tafna, Algérie. *Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques*, 52, 1271-1284.
- MEGNOUNIF, A., TERFOUS, A. & OUILLOU, S. 2013. A graphical method to study suspended sediment dynamics during flood events in the Wadi Sebdou, NW Algeria (1973–2004). *Journal of hydrology*, 497, 24-36.
- MIDDLETON, H. E. 1930. Properties of soils which influence soil erosion Properties of soils which influence soil erosion, US Dept. of Agriculture
- MINASNY, B. & MCBRATNEY, A. B. 2016. Digital soil mapping: A brief history and some lessons. *Geoderma*, 264, 301-311.
- MORGAN, R., QUINTON, J., SMITH, R., GOVERS, G., POESEN, J., AUERSWALD, K., CHISCI, G., TORRI, D. & STYCZEN, M. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group*, 23, 527-544.
- MORGAN, R. P. C. 2009. Soil erosion and conservation Soil erosion and conservation, John Wiley & Sons.140514467X
- MORIASI, D. N., ARNOLD, J. G., VAN LIEW, M. W., BINGNER, R. L., HARMEL, R. D. & VEITH, T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50, 885-900.
- MOSLEH, Z., SALEHI, M. H., JAFARI, A., BORUJENI, I. E. & MEHNATKESH, A. 2016. The effectiveness of digital soil mapping to predict soil properties over low-relief areas. *Environmental monitoring and assessment*, 188, 195.
- MUSGRAVE, G. 1947. The quantitative evaluation of factors in water erosion: a first approximation. *Journal of soil and water conservation*, 2, 133-138.
- MWANIKI, M. W., MOELLER, M. S. & SCHELLMANN, G. 2015. A comparison of Landsat 8 (OLI) and Landsat 7 (ETM+) in mapping geology and visualising lineaments: A case study of central region Kenya. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 897.
- NACHTERGAELE, F., VAN VELTHUIZEN, H., VERELST, L., BATJES, N., DIJKSHOORN, J., VAN ENGELEN, V., FISCHER, G., JONES, A., MONTANARELLA, L. & PETRI, M. 2008. Harmonized world soil database (version 1.0). Food and Agric Organization of the UN (FAO); International Inst. for Applied Systems Analysis (IIASA); ISRIC-World Soil Information; Inst of Soil Science-Chinese Acad of Sciences (ISS-CAS); EC-Joint Research Centre (JRC).
- NASH, J. E. & SUTCLIFFE, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10, 282-290.
- NEITSCH, S. L., ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R. & WILLIAMS, J. R. 2011. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute.
- NIELSEN, A., TROLLE, D., ME, W., LUO, L., HAN, B.-P., LIU, Z., OLESEN, J. E. & JEPPESEN, E. 2013. Assessing ways to combat eutrophication in a Chinese drinking water reservoir using SWAT. *Marine and Freshwater Research*, 64, 475-492.



## Références Bibliographiques

- NYEKO, M. 2015. Hydrologic modelling of data scarce basin with SWAT model: capabilities and limitations. *Water resources management*, 29, 81-94.
- ONAGA, K., SHIRAI, K., YOSHINAGA, A. & RIMWANICH, S. 1988. Rainfall erosion and how to control its effects on farmland in Okinawa. *Land conservation for future generations*. Department of Land Development, Bangkok, 627-639.
- ORUK, E. O., ERIC, N. J. & OGOGO, A. 2012. Influence of soil textural properties and land use cover type on soil erosion of a characteristic ultisols in Betem, Cross River State, Nigeria. *Journal of Sustainable Development*, 5, 104.
- PAGLIERO, L., BOURAOUI, F., WILLEMS, P. & DIELS, J. 2014. Large-scale hydrological simulations using the Soil Water Assessment Tool, protocol development, and application in the Danube basin. *Journal of environmental quality*, 43, 145-154.
- PĂLTINEANU, C., CALCIU, I. & VIZITIU, O. 2015. CHARACTERIZING SOILS COMPACTION BY USING PACKING DENSITY AND COMPACTION DEGREE INDICES. *SOIL SCIENCE*, 49, 65-71.
- PANAGOS, P., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., YU, B., KLIK, A., LIM, K. J., YANG, J. E., NI, J., MIAO, C. & CHATTOPADHYAY, N. 2017. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific reports*, 7, 4175.
- PARECE, T., CAMPBELL, J. & MCGEE, J. 2014. Remote sensing in an ArcMap environment  
Remote sensing in an ArcMap environment, VirginiaView
- PETRYK, S. & BOSMAJIAN III, G. 1975. Analysis of flow through vegetation. *Journal of the Hydraulics Division*, 101.
- QUÉBEC-CANADA, M. D. D. D. L. E. E. D. P. D. 2009. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 5 – Échantillonnage des sols Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 5 – Échantillonnage des sols. ISBN 978-2-550-57649-5
- RAKSHIT, A., ABHILASH, P. C., SINGH, H. B. & GHOSH, S. 2017. Adaptive Soil Management: From Theory to Practices Adaptive Soil Management: From Theory to Practices, Springer.9811036373
- REE, W. 1949. Hydraulic characteristics of vegetation for vegetated waterways. *Agricultural Engineering*, 30, 184-189.
- REMINI, B. 2017. A NEW MANAGEMENT APPROACH OF DAMS SILTATION. *LARHYSS Journal* ISSN 1112-3680, 51-81.
- REMINI, B. & BENFETTA, H. 2015. LE BARRAGE RESERVOIR DE GARGAR EST-IL MENACE PAR L'ENVASEMENT? *LARHYSS Journal* ISSN 1112-3680, 175-192.
- REMINI, B., LEDUC, C. & HALLOUCHE, W. 2009. Changes in big dams of arid areas: Some examples in Algeria. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 20, 96-103.
- REMINI, B. & TOUMI, A. 2017. THE BENI HAROUN RESERVOIR (ALGERIA) IS IT THREATENED BY SILTATION? *LARHYSS Journal* ISSN 1112-3680, 249-263.
- RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G., MCCOOL, D. & YODER, D. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), United States Department of Agriculture Washington, DC
- RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A. & PORTER, J. P. 1991. RUSLE: Revised universal soil loss equation. *Journal of soil and Water Conservation*, 46, 30-33.
- ROCHE, P.-A., MIQUEL, J. & GAUME, E. 2012. Hydrologie quantitative: Processus, modèles et aide à la décision Hydrologie quantitative: Processus, modèles et aide à la décision, Springer Science & Business Media.2817801067

## Références Bibliographiques

- ROSEWELL, C. J. 1986. Rainfall kinetic energy in eastern Australia. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25, 1695-1701.
- SANCHEZ, P. A., AHAMED, S., CARRÉ, F., HARTEMINK, A. E., HEMPEL, J., HUISING, J., LAGACHERIE, P., MCBRATNEY, A. B., MCKENZIE, N. J. & DE LOURDES MENDONÇA-SANTOS, M. 2009. Digital soil map of the world. *Science*, 325, 680-681.
- SAXTON, K. E. & RAWLS, W. J. 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil science society of America Journal*, 70, 1569-1578.
- SCHMIDT, J. 2013. Soil Erosion: Application of physically based models *Soil Erosion: Application of physically based models*, Springer Science & Business Media.3662042959
- SCHUOL, J., ABBASPOUR, K. C., SRINIVASAN, R. & YANG, H. 2008. Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model. *Journal of hydrology*, 352, 30-49.
- SCHWAB, G., FANGMEIER, D., ELLIOT, W. & FREVERT, R. 1993. Soil and water conservation engineering. John Willey & Sons. Inc. Toronto.
- SERGIO, D. Z. 2012. Modelagem Hidrológica da Bacia do Rio Cubatão do Sul com modelo Swat.
- SHUKLA, M. 2011. Soil hydrology, land use and agriculture: measurement and modelling *Soil hydrology, land use and agriculture: measurement and modelling*, Cabi.1845938771
- SLAIMI, A. 2013. Gouvernance et gestion rationnelle de l'eau en Algérie. *ECONOMIE & MANAGEMENT*, 181.
- SMITH, R. M., HENDERSON, R. & TIPPIT, O. J. 1954. Summary of soil and water conservation research from the Blackland Experiment Station, Temple, Texas, 1942-53.
- SOOD, A., MUTHUWATTA, L. & MCCARTNEY, M. 2013. A SWAT evaluation of the effect of climate change on the hydrology of the Volta River basin. *Water international*, 38, 297-311.
- SOUKEHAL, B. & CHERRAD, S. E. 2011. LES RESSOURCES EN EAU DANS LA WILAYA DE MILA: MOBILISATION, CONSOMMATION ET COMPORTEMENT DE MENAGES. *Sciences & Technologie D*, 19-25.
- SRINIVASAN, R., RAMANARAYANAN, T. S., ARNOLD, J. G. & BEDNARZ, S. T. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part II: model application. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34, 91-101.
- STORER, D. A. 1984. A simple high sample volume ashing procedure for determination of soil organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15, 759-772.
- TAGHIZADEH-MEHRJARDI, R., NABIOLLAHI, K. & KERRY, R. 2016. Digital mapping of soil organic carbon at multiple depths using different data mining techniques in Baneh region, Iran. *Geoderma*, 266, 98-110.
- TAGHIZADEH-MEHRJARDI, R., NABIOLLAHI, K., MINASNY, B. & TRIANTAFILIS, J. 2015. Comparing data mining classifiers to predict spatial distribution of USDA-family soil groups in Baneh region, Iran. *Geoderma*, 253, 67-77.
- TAHMISCIOĞLU, M. S., ANUL, N., EKMEKÇI, F. & DURMUŞ, N. Positive and negative impacts of dams on the environment. *International Congress on River Basin Management*, 2007. 22-24.
- TARALD, O. K. 1985. Cautionary note about R2. *The American Statistician*, 39, 279-285.
- TEMPLE, D. M. 1982. Flow retardance of submerged grass channel linings. *Transactions of the ASAE*, 25, 1300-1303.

## Références Bibliographiques

- TERFOUS, A., MEGNOUNIF, A. & BOUANANI, A. 2001. Etude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord Ouest Algérien). *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 14, 173-185.
- THIEDE, R. C., BOOKHAGEN, B., ARROWSMITH, J. R., SOBEL, E. R. & STRECKER, M. R. 2004. Climatic control on rapid exhumation along the Southern Himalayan Front. *Earth and Planetary Science Letters*, 222, 791-806.
- TODD, D. K. & LARRY, W. M. 2005. *groundwater hydrology*, third edition. John Wiley & Sons, Inc USA.
- TOUAIBIA, B., AIDAOUI, A., GOMER, D. & ACHITE, M. 2001. Quantification et variabilité temporelles de l'écoulement solide en zone semi-aride, de l'Algérie du Nord. *Hydrological sciences journal*, 46, 41-53.
- TOUAZI, M., LABORDE, J. P. & BHIRY, N. 2004. Modelling rainfall-discharge at a mean inter-yearly scale in northern Algeria. *Journal of Hydrology*, 296, 179-191.
- TOUMI, B., GUEMMADI, Z. & HOUARI, H. Roller Compacted Concrete: A New Way in Algerian Dam Construction. *Role of Concrete In Sustainable Development: Proceedings of the International Symposium dedicated to Professor Surendra Shah, Northwestern University, USA held on 3–4 September 2003 at the University of Dundee, Scotland, UK, 2003*. Thomas Telford Publishing, 617-624.
- TOUMI, S. 2013. Application des techniques nucléaires et de la télédétection à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Mina. Thèse de Doctorat Es-Sciences, L'école nationale supérieure d'hydraulique, Algérie.
- TOURKI, M., KHANCHOUL, K., LE BISSONNAIS, Y. & BELALA, F. 2017. Sediment yield assessment in the Upper Wadi Kebir catchment, Kébir Rhumel River, Northeast of Algeria (1973-2006). *Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie*, 34, 122-133.
- TRIMBLE, S. W. 2007. *Encyclopedia of Water Science, -Two Volume Set (Print Version)* Encyclopedia of Water Science, -Two Volume Set (Print Version), CRC press.0849396271
- TUPPAD, P., DOUGLAS-MANKIN, K., LEE, T., SRINIVASAN, R. & ARNOLD, J. 2011. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrologic/water quality model: Extended capability and wider adoption. *Transactions of the ASABE*, 54, 1677-1684.
- VAN DIJK, A., BRUIJNZEEL, L. & ROSEWELL, C. 2002. Rainfall intensity–kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. *Journal of Hydrology*, 261, 1-23.
- VAYSSE, K. & LAGACHERIE, P. 2015. Evaluating digital soil mapping approaches for mapping GlobalSoilMap soil properties from legacy data in Languedoc-Roussillon (France). *Geoderma Regional*, 4, 20-30.
- WHITE, K. L. & CHAUBEY, I. 2005. Sensitivity analysis, calibration, and validations for a multisite and multivariable SWAT model. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 41, 1077-1089.
- WILLIAMS, J. 1974. Predicting sediment yield frequency for rural basins to determine man's effect on long-term sedimentation. *Effects of Man on the Interface of the Hydrological Cycle with the Physical Environment*, 105-108.
- WILLIAMS, J. 1975. Sediment routing for agricultural watersheds 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 11, 965-974.
- WILLIAMS, J. 1995. Chapter 25: The EPIC model. 909-1000. *Computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications.
- WILLIAMS, J. R. 1990. The erosion-productivity impact calculator (EPIC) model: a case history. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 329, 421-428.

## Références Bibliographiques

- WISCHMEIER, W. H. 1975. Estimating the soil loss equation's cover and management factor for undisturbed areas. Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources, 118-124.
- WISCHMEIER, W. H. 1976. Use and misuse of the universal soil loss equation. *Journal of soil and water conservation*.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*, Science and Education Administration, US Department of Agriculture
- WOOLHISER, D. A., SMITH, R. & GOODRICH, D. C. 1990. KINEROS: a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual. KINEROS: a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual, US Department of Agriculture, Agricultural Research Service Washington^ eD. C DC
- XIE, H., YOU, L., WIELGOSZ, B. & RINGLER, C. 2014. Estimating the potential for expanding smallholder irrigation in Sub-Saharan Africa. *Agricultural Water Management*, 131, 183-193.
- YAHIAOUI, I., DOUAOUI, A., ZHANG, Q. & ZIANE, A. 2015. Soil salinity prediction in the Lower Cheliff plain (Algeria) based on remote sensing and topographic feature analysis. *Journal of Arid Land*, 7, 794-805.
- YANG, C. X., XIAO, P. Q., ZHEN, B., SHEN, Z. Z. & LI, L. Effects of vegetation cover on runoff and sediment in field prototype slope by experimental. *Advanced Materials Research*, 2012. *Trans Tech Publ*, 4707-4711.
- YOUNG, R., ONSTAD, C., BOSCH, D. & ANDERSON, W. 1989. AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. *Journal of soil and water conservation*, 44, 168-173.
- YU, X., ZHANG, X., LI, J., ZHANG, M. & XIE, Y. 2006. Effects of vegetation cover and precipitation on the process of sediment produced by erosion in a small watershed of loess region. *Acta Ecologica Sinica*, 26, 1-8.
- YUKSEL, A., GUNDOGAN, R. & AKAY, A. E. 2008. Using the remote sensing and GIS technology for erosion risk mapping of Kartalkaya dam watershed in Kahramanmaraş, Turkey. *Sensors*, 8, 4851-4865.
- ZACHAR, D. 1982a. Soil erosion: developments in soil science. *Soil erosion: Developments in soil science*.
- ZACHAR, D. 1982b. *Soil erosion: developments in soil science*. New York. Elsevier Scientific. 547p.
- ZANCHI, C. & TORRI, D. 1980. Evaluation of rainfall energy in central Italy. *Evaluation of rainfall energy in central Italy.*, 133-142.
- ZENG, F., ALI, S., ZHANG, H., OUYANG, Y., QIU, B., WU, F. & ZHANG, G. 2011. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental pollution*, 159, 84-91.
- ZENG, Z., TANG, G., HONG, Y., ZENG, C. & YANG, Y. 2017. Development of an NRCS curve number global dataset using the latest geospatial remote sensing data for worldwide hydrologic applications. *Remote Sensing Letters*, 8, 528-536.
- ZEROUAL, A., MEDDI, M. & ASSANI, A. 2015. Estimation of discharge in rivers by different artificial neural network algorithms: case of the Algerian Coastal basin. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 366, 177-178.
- ZETTAM, A., TALEB, A., SAUVAGE, S., BOITHIAS, L., BELAIDI, N. & SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M. 2017. Modelling Hydrology and Sediment Transport in a Semi-Arid and Anthropized Catchment Using the SWAT Model: The Case of the Tafna River (Northwest Algeria). *Water*, 9, 216.

## Références Bibliographiques

- ZHANG, R. & WIENHOLD, B. J. 2002. The effect of soil moisture on mineral nitrogen, soil electrical conductivity, and pH. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 63, 251-254.
- ZHANG, X.-S., SRINIVASAN, R. & VAN LIEW, M. 2008. Multi-site calibration of the SWAT model for hydrologic modeling. *Transactions of the ASABE*, 51, 2039-2049.
- ZHANG, X., IZAURRALDE, R., ZONG, Z., ZHAO, K. & THOMSON, A. 2012. Evaluating the efficiency of a multi-core aware multi-objective optimization tool for calibrating the SWAT model. *Transactions of the ASABE*, 55, 1723-1731.
- ZINGG, A. W. 1940. Degree and length of land slope as it affects soil loss in run-off. *Agric. Engng.*, 21, 59-64.

The page features four decorative flourishes, one in each corner, rendered in a light gray, feather-like or brush-stroke style. These elements frame the central text. The word "Résumé" is written in a bold, black, cursive script font, centered on the page.

# Résumé

### المخلص

التعرية المائية للتربة هي واحدة من المشاكل التي لها تأثير سلبي على السدود، سد بني هارون معرض لهذه المشكلة. يعتبر هذا السد الأكبر في الجزائر، مرافق ومنشآت النقل المياه لهذا السد ستغذي 7 ولايات في شرق الجزائر. لهذا من الضروري دراسة هاذ الحوض السابك وكل العوامل التي لها تأثير على كل ما سيصل إلى السد من مياه أو طمي. تم استخدام نموذج SWAT لتحديد المدخلات السائلة وتحديد نقاط الضعف باستخدام سيناريوهين ، أحدهما باستخدام بيانات العالمية ، والآخر باستخدام الاستشعار عن بعد الخرائط الرقمية للتربة ، لمعرفة ما هي أنواع البيانات التي تعطي أفضل النتائج . بشكل عام، نجح النموذج في السيناريوهين في إعادة إنتاج الدورة الهيدرولوجية بإخلاص في منطقة مستجمعات سد بني هارون، لكن السيناريو الثاني أعطى أفضل نتيجة لأن محاكاة الجريان السطحي في كل حوض فرعي من نموذج SWAT بعد عروض المعايرة أن هناك تكافؤ بين نتائج المحاكاة لهذا السيناريو مع تلك الخاصة بالوكالة الوطنية للموارد المائية، مع الجريان السطحي من 35.50 إلى 100.50 مم / سنة من ناحية أخرى خلال السيناريو الأول يكون من 11.67 إلى 39.26 مم / سنة.

تمت الملاحظة نفسها فيما يتعلق بمحاكاة التدفقات الصلبة أو معدل التآكل لكل حوض فرعي وفقاً للسيناريو الثاني (أفضل نتيجة) كان بين 0.226 طن / هكتار و 2.126 طن / هكتار الموافق لمعدل التآكل الكلي في منطقة مستجمعات المياه تبلغ 3,944,835 طن / كم<sup>2</sup> / سنة ، في حين أعطى السيناريو الأول معدل تآكل لكل حوض فرعي من 0.015 طن / هكتار إلى 0.647 طن / هكتار لمعدل تآكل إجمالي قدره 394,51 طن / كم<sup>2</sup> / سنة. تشير هذه النتائج إلى أن البيانات التي تم الحصول عليها باستخدام الاستشعار عن بعد ورسم الخرائط الرقمية للتربة توفر تمثيلاً أفضل الحوض السابك للسد بني هارون و النمذجة الهيدرولوجية أفضل.

### Abstract

Water erosion and one of the problems that has a negative influence on dams, Beni Haroun dam and reinforced by this problem. This dam and the largest in Algeria, is these transfer facilities will supply seven willayas to the east of Algeria. For this, it is essential to study the watershed and all the parametrized, which has an influence on input, will arrive at the dam. The SWAT model has been used to quantify liquid inputs and will identify vulnerabilities using two scenarios, one using global baseline data, and the other using remote sensing and digital soil mapping, to see what types of data give the best results.

In general, the model in the two scenarios succeeded in faithfully reproducing the hydrological cycle in the catchment area of the Beni Haroun dam. however the 2nd scenario had given the best result because the simulation of the runoff in each sub-basin of the SWAT model after calibration shows that there is an equivalence between the simulation results of this scenario with those of the ANRH, with a runoff of 35.50 to 100.50 mm / year, on the other hand during the 1st scenario it is from 11.67 to 39.26 mm / year.

Same observation was made regarding the simulation of solid flows or the erosion rate of each sub-basin. according to the 2nd scenario (best result) was between 0.226 t / ha and 2.126 t / ha corresponding to a total erosion rate in the catchment area of 3,944,835 t / km<sup>2</sup> / year, whereas the first scenario had given an erosion rate for each sub-basin from 0.015 t / ha to 0.647 t / ha for a total erosion rate of 394,51 t / km<sup>2</sup> / year..

These results indicate that data obtained from remote sensing and digital soil mapping provide better representation of the watershed and better hydrological modeling.

### Résumé

L'érosion, le transport solide et l'envasement est un processus qui a une influence négative a qui sont les confronté les barrages. Le barrage de Beni Haroun est le plus grand en Algérie, avec ces installations de transferts, il alimentera 7 willayas à l'Est de l'Algérie. Ce dernier ne fait exception face aux problèmes d'érosion et du transport solide, pour cette raison, il est essentiel d'étudier son bassin versant et tous les paramétrés qui ont une influence sur les apports arrivant au barrage. Le modèle SWAT a été utilisé pour quantifier les apports liquides et les apports solides ainsi que d'identifier les points vulnérables en utilisant deux scénarios ; l'un a l'aide des données des bases mondiales et l'autre en utilisant la télédétection et la cartographie numérique des sols, dans le but de cerner le type de données nous permettant d'aboutir aux meilleurs résultats.

En général le modèle dans les deux scénarios a réussi à reproduire fidèlement le cycle hydrologique dans le bassin versant du barrage de Beni Haroun. Néanmoins le 2<sup>ème</sup> scénario avait donné le meilleur résultat car la simulation du ruissellement dans chaque sous bassin du modèle SWAT après calibration montre qu'il y a une équivalence entre les résultats de simulation du ce scénario avec ceux de l'ANRH, avec un ruissellement de 35.50 à 100.50 mm/an par contre lors du 1er scénario il est de 11.67 à 39.26 mm/an.

Même constatation a été faite en ce qui concerne la simulation des débits solides ou le taux d'érosion de chaque sous bassin selon le 2<sup>ème</sup> scénario (meilleur résultat) était entre 0.226 t/ha et 2.126 t/ha correspondant un taux d'érosion total sur le bassin versant de 3944.83 t/km<sup>2</sup>/an, alors que le 1<sup>er</sup> scénario avait donné un taux d'érosion de chaque sous bassin de 0.015 t/ ha à 0.647 t/ha pour un taux d'érosion total de 394.51 t/km<sup>2</sup>/an.

Ces résultats indiquent que les données obtenues à l'aide de la télédétection et de la cartographie numérique des sols fournissent une meilleure représentation du bassin versant du barrage de Beni Haroun et une meilleure modélisation hydrologique.

### Mots clés :

Modèle SWAT, SIG, Carte, bassin versant, débit liquide, débit solide, Beni Haroun,