

République Algérienne Démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة ابو بكر بلقايد-تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMEN
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département d'Ecologie et Environnement



MEMOIRE

Présenté par

HOUBAD Hanane

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Ecologie

Thème :

**Mise en place du modèle SWAT sur le bassin versant
de Chélif**

Soutenu le 23/06/2023, devant le jury composé de :

Président	HASSANI Faïçal	professeur Université de Tlemcen
Encadrant	ZETTAM Amin	M.C. A Université de Tlemcen
Examineur	KECHAIRI Réda	M.C. A Université de Tlemcen

Année universitaire 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Je rends grâce à Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté que la conscience afin de Rédiger ce modeste travail que je souhaite qu'il soit estimable et réussi.

Mes remerciements les plus vifs et ma gratitude vont à mon encadreur Monsieur Zettam Amine Maitre de Conférence au département d'Ecologie et Environnement, faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers de l'université de Tlemcen pour sa patience, son aide, ses orientations et ses conseils très précieux

Mes remerciements s'adressent également à :

- Monsieur HASSANI Faïçal professeur à L'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen pour avoir accepté de présider le jury.
- Monsieur kechiari Réda Maitre de Conférences à l'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen pour l'honneur qu'il m'a fait pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Dédicaces

À ma mère,

« Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte. En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour l'affection dont tu m'as toujours entourée »

À mon père,

« L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect. Aucun dédicace ne saurait exprimer sentiments, que dieu te préserve et te procure santé et longue vie »

Je dédie ce modeste travail : A mes très chers parents qui m'ont soutenu et encouragé jusqu'au bout et à qui je dois tout l'amour et le respect.

*A mes chères sœurs Khaira, Nasira, Aicha, Fatiha, Maryam, Khadouja,
Chifaa*

A mes nièces Aya, Sarah, Fatima

Et mes neveux Mohamed, Ismail, Abdoullah, Yazid

A toute ma promotion d'écologie et environnement

*A tous ce qui m'ont aidé et encouragé dans ce mémoire,
même avec une bonne parole.*

Hanane

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I.1 Le cycle de l'eau	4
I.1.1 Processus de cycle hydrologique	6
I.2 Hydrologie	8
I.3 La modélisation hydrologique	8
I.3.1 Définition d'un modèle	8
I.3.2 Classification des modèles hydrologique	10
I.3.3 L'objectif de la modélisation hydrologique.....	12
I.4. SWAT (Soil and Water Assessment Tool)	12
I.4.1 Le choix de modèle.....	12
I.4.2 Présentation de modèle SWAT	13
I.4.3 Organisation de modèle SWAT.....	14
I.4.4 L'application de modèles aux niveaux mondiale	18
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODE	20

SOMMAIRE

II.1 Présentation de bassin versant d'oued Chélif	21
II.1.1 Hydrographie.....	22
II.1.2 Hydrologie.....	22
II.1.3 Relief et topographie	22
II.1.4 Géologie	23
II.1.5 Pédologie.....	23
II.1.6 Occupation de sol	24
II.2. Données utilisées en entrée pour la modélisation	27
II.2.1 Le modèle numérique de terrain (MNT).....	27
II.2.2 Type de sol	28
II.2.3 Occupation des sols	29
II.2.4 Les données météorologiques	29
II.2.5 Mesure de débit	30
II.2.6 Pentés	31
II.3. Calibration de l'hydrologie	33
CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS	35
III.1 Calibration de l'hydrologie	36

SOMMAIRE

III.2 Le bilan hydrologique	38
III.3 Précipitation	39
III.4 Le débit.....	40
III.5 Ruissellement de surface.....	41
III.6 Percolation	42
III.7 Evapotranspiration	43
III.8 Evapotranspiration potentielle	44
DISCUSSION.....	46
CONCLUSION GENERALE.....	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	52

Liste des figures

Figure 1 : les différents états de l'eau	4
Figure 2 : Le cycle hydrologique	5
Figure 3 : Les variables d'un modèle hydrologique	10
Figure 4 : Unité de réponse hydrologique (HRU)	14
Figure 5 : Phases de cycle hydrologique modélisé par SWAT	15
Figure 6 : Le processus du cycle hydrologique du modèle SWAT	16
Figure 7 : Phase fluviale représentée par modèle SWAT	17
Figure 8 : Les données d'entrée et de sortie de modèle SWAT	17
Figure 9 : Distribution relative des articles examinés par les pays africains.....	18
Figure10 : Nombre de documents par année	19
Figure 11 : Localisation de bassin versant d'oued Chélif.....	21
Figure 12 : Le modèle numérique de terrain	27
Figure 13 : Les sols de bassin versant de Chélif.....	28
Figure 14 : Occupation des sols de bassin versant de Chélif.....	29
Figure 15 : Les différentes classes de pente du bassin versant de Chélif	30
Figure 16 : Le réseau hydrographique et des sous bassins d'oued Chélif	31

Liste des figures

Figure 17 : Démarche de modélisation utilisée dans cette étude par le modèle SWAT	32
Figure 18 : calibration annuelle des débits observés et simulés dans le bassin versant de Chélif (2003-2011)	37
Figure 19 : bilan hydrologique modélisé par le model SWAT	38
Figure 20 : Précipitations moyennes annuelles d'oued Chélif.	39
Figure 21 : Débit d'Oued Chélif.....	40
Figure 22 : Ruissellement de surface d'oued Chélif 2003-2011.....	41
Figure 23 : Percolation de bassin versant de Chélif	42
Figure 24 : Evapotranspiration d'oued Chélif.	43
Figure 25 : Evapotranspiration potentielle d'oued Chélif.	44

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 01 : Les barrages de bassin versant Chélif 21

Tableau 02 : Les paramètres calibrés 33

Liste des abréviations et la liste des logiciels utilisés

Liste des abréviations et la liste des logiciels utilisés

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques Algérienne

ETP : Evapotranspiration potentielle

ETR : Evapotranspiration réelle

FAO : Food and Agriculture Organization

GIS : Système International Géographique

HRU : Unité de réponse hydrologique

MNT : Modèle Numérique de Terrain

NSE : Nash-Sutcliffe Efficiency

SFCR: Climate Forecast System Reanalysis

SIG: Système International Géographique

SWAT: Soil and Water Assessment Tool



INTRODUCTION

GENERALE

Introduction Générale

Introduction Générale

L'eau est une ressource importante, considérée comme les ressources naturelles la plus complexe et unique sur terre, et elle est très hétérogène dans l'espace et dans le temps. Sa disponibilité est importante pour le rythme de développement social et économique, indispensable pour presque toutes les activités liées à la production alimentaire et énergétique, mais aussi une ressource nécessaire pour l'approvisionnement en eau potable (*Bougara,2022*). La demande en eau a augmenté au cours des dernières décennies en raison de la croissance de la population, de l'économie, de l'activité industrielle, de l'urbanisation, de la production agricole et animale (la demande mondiale en eau des secteurs domestique, industriel et agricole a augmenté d'environ 2,4 % par an) (*Gleick, 2003*). L'eau est une ressource qui est régulière des activités domestiques, agricoles et la plupart économique, et leur développement. C'est pour cette raison que nous pouvons remarquer que les populations sont généralement regroupées autour des points d'eau. La avec l'augmentation de la population, où la population atteint 432 millions en 2007 et est d'ici 2050 au Moyen-Orient et en Afrique du Nord (*Roudi et al, 2007*), entraînera une baisse de 40 % de la consommation d'eau par habitant d'ici 2050 (*Terink et al., 2013*).

Ces défis sont encore exacerbés dans les régions arides et semi-arides, où les risques associés de sécheresse catastrophique, d'inondation, de changement climatique extrême et de moyens limités de gestion des ressources en eau dominant, entraînant une pénurie d'eau d'ici 2025 .menacent ainsi la sécurité alimentaire, la santé humaine et les écosystèmes naturels et nécessitent des efforts dans les processus décisionnels de conservation de l'eau, car leurs informations sont importantes pour comprendre les conditions des ressources en eau (*Seckler et al., 1999*).

La gestion des ressources en eau est l'un des principaux défis auxquels l'humanité est confrontée en raison de la demande accrue et des ressources limitées en raison de la croissance rapide de la population, de l'urbanisme et des secteurs agricole et industriel. La modélisation est l'une des principales solutions utilisées par les chercheurs pour estimer et suivre la variabilité spatio-temporelle des ressources en eau dans les bassins versants (*Ait Mbarek et al., 2021*).

La représentation d'un bassin versant comme un système dépend de la construction du modèle. Par conséquent, il est important de choisir un modèle adapté au domaine

Introduction Générale

d'application (*Gnouma 2006*). Il existe différents modèles hydrologiques capables de modéliser de grands bassins versants (*Arnold et al., 2015*), mais le choix du modèle s'est porté sur le SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (*Arnold et al et al., 1998*).

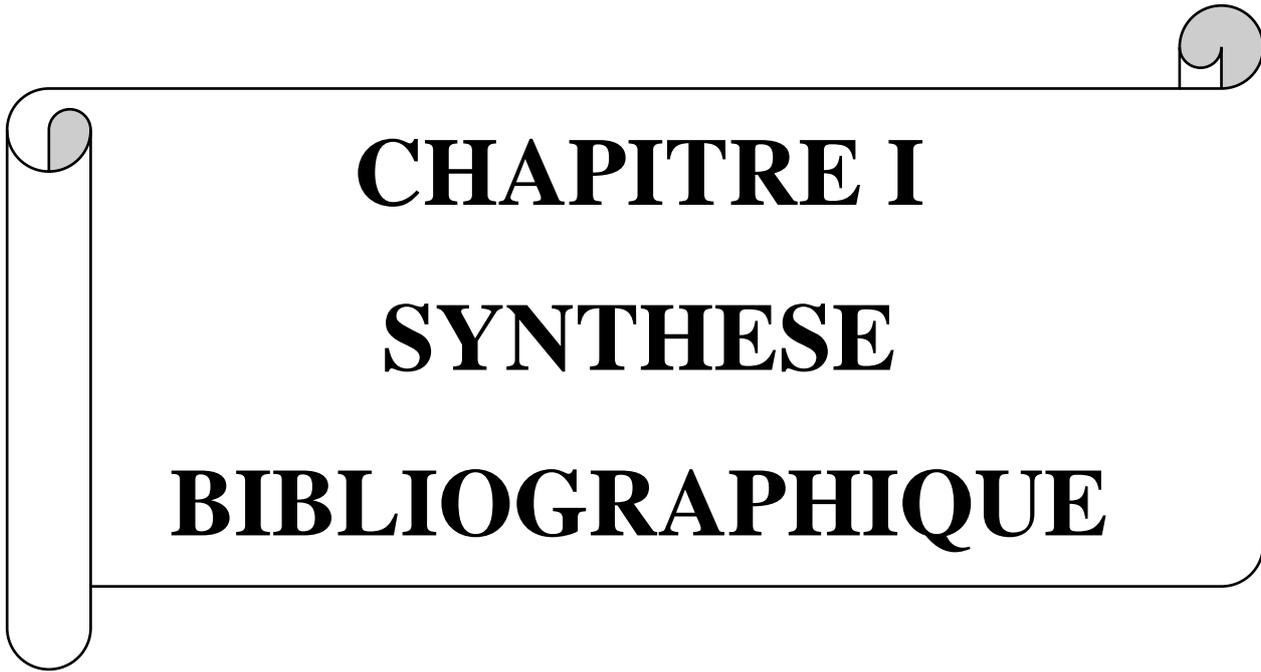
Nous avons appliqué le modèle sur le bassin versant nord-africain semi-aride de l'Oued Chélif (43 750 km²). Notre travail s'appuie sur des descriptions détaillées de la topographie, de la pédologie et de l'occupation des sols des bassins versants. Une étape de calibration du modèle permet ensuite de tester la capacité du modèle SWAT à reproduire la fonction hydrologique du bassin versant en évaluant la reproductibilité du bilan hydrique.

L'objectif de ce travail est la modélisation par SWAT les différentes composantes du cycle hydrologique du bassin versant de l'Oued Chélif qui est le plus grand fleuve de l'Algérie.

Le présent manuscrit s'articule en trois chapitres :

- Chapitre I : intitulé « Synthèse bibliographique, ce chapitre présente une étude bibliographique sur l'hydrologie, la modélisation hydrologique et le modèle SWAT avec sa méthodologie de fonctionnement ».
- Chapitre II : intitulé « Matériel et méthode, ce chapitre décrit le bassin versant d'oued Chélif, ses principales caractéristiques (géologie, pédologie, hydrologie, et une description de l'occupation du sol), et une description de la composante hydrologique modèle SWAT ».
- Chapitre III : « Résultats de la modélisation hydrologique du bassin versant d'Oued Chélif, ainsi que les interprétations des résultats obtenus concernant la performance du modèle dans la région.

Enfin une discussion générale synthétisant les résultats obtenus et terminés avec une conclusion générale.



CHAPITRE I
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau est un concept qui englobe les phénomènes de mouvement et de renouvellement de l'eau sur terre, et les mécanismes régissant, les différentes phases du cycle hydrologique se succèdent non seulement les unes après les autres (figure 1), mais aussi simultanément. Le cycle hydrologique n'a ni début ni fin (*Musy,2005*). L'étude du cycle de l'eau permet de comprendre et d'analyser les échanges hydriques (les flux d'eau) entre ses différents réservoirs océaniques, atmosphériques et continentaux (*Musy et al., 2004*). C'est un circuit fermé et cyclique de l'eau dans la nature, or l'eau est en perpétuel mouvement sous ses différentes états vapeur, liquide et gaz (*Gray, 1972*).

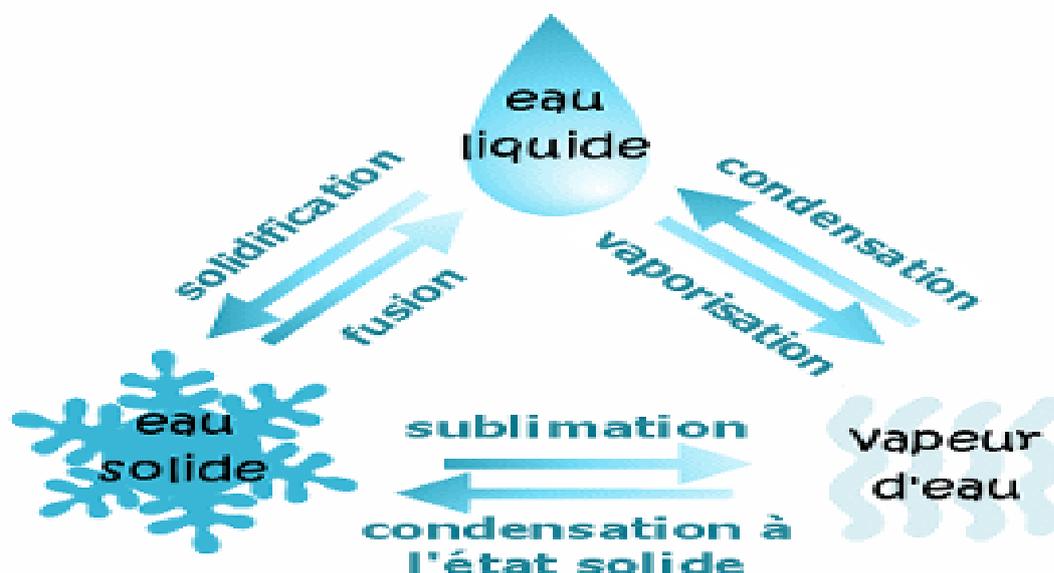


Figure 1 : Les différents états de l'eau ¹.

Les éléments fondamentaux du cycle hydrologique comprennent les précipitations, l'évapotranspiration, l'infiltration, l'écoulement de surface, l'écoulement dans les cours d'eau et l'écoulement souterrain. La répartition de l'eau entre les différentes phases du cycle hydrologique est inégale dans l'espace et dans le temps, ce qui peut causer des extrêmes tels que des inondations ou des sécheresses. L'hydrologue doit être en mesure de déterminer la magnitude et l'intensité de ces phénomènes extrêmes, car cela revêt une grande importance (*Henine,2005*).

¹ <http://clg-dumas-nerondes.tice.ac-orleans-tours.fr/dotclear/index.php?post/Le-Cycle-de-L-eau>

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Sous l'action du rayonnement solaire, une partie de l'eau présente à la surface continentale (existant sous forme d'eau libre dans le sol) et dans l'océan s'évapore, et la vapeur d'eau se condense sous forme de gouttelettes pour former des nuages. Cette eau retournera au continent et à l'océan par les précipitations. Selon les conditions de températures, de pression et d'humidité de l'air, elles peuvent être liquides (pluie) ou solides (neige ou grêle). Une partie de l'eau de pluie qui tombe peut-être interceptée par les plantes et une partie retourne dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. La pluie non interceptée atteint le sol. Selon les conditions, il peut s'évaporer directement du sol, s'écouler de la surface dans les cours d'eau (ruissellement de surface), voire s'infiltrer dans le sol. Une fois que les eaux souterraines se sont déversées dans la rivière, lacs ou mers, où la surface de la masse d'eau est exposée à l'évaporation, ce qui entraîne accumulation et concentration d'humidité. Accumulation et concentration d'humidité pénètrent dans l'atmosphère et finissent par revenir sur Terre sous forme de précipitations, cycle de redémarrage (*Musy et al., 2004*).

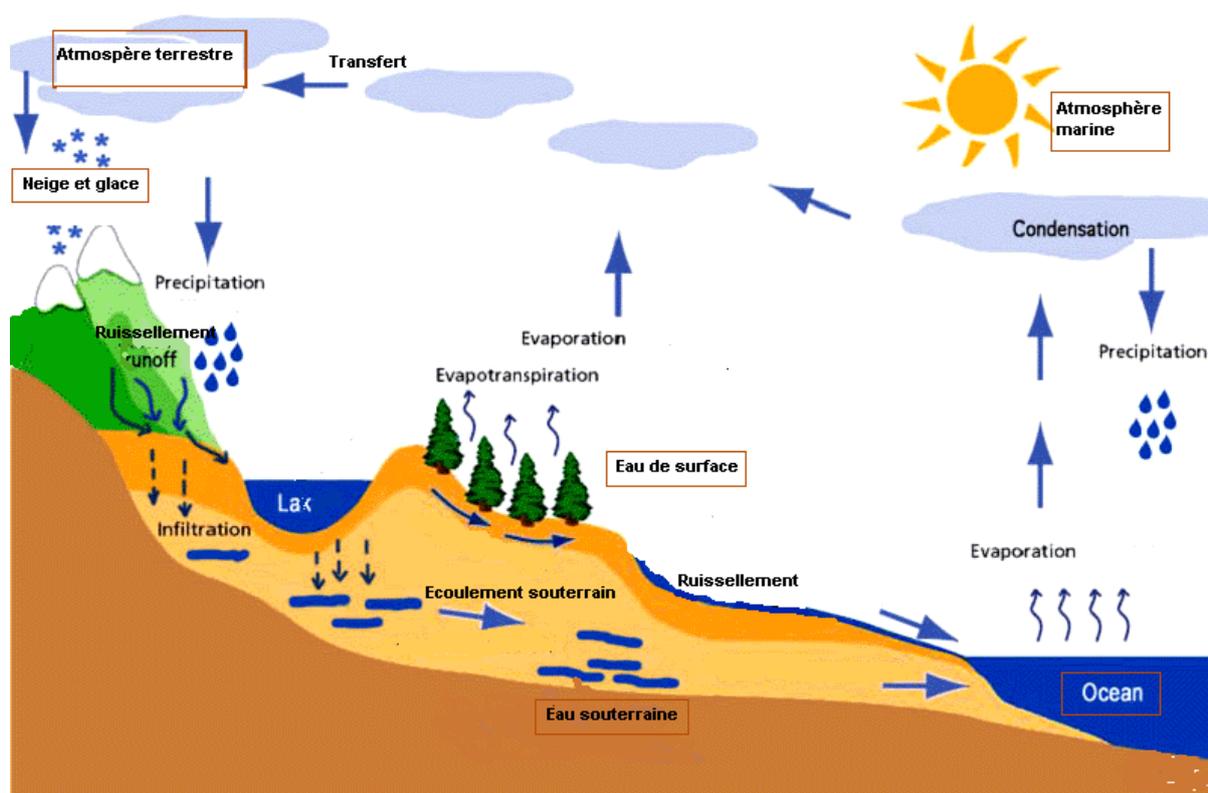


Figure 2 : Le cycle hydrologique².

² <http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/hydro/cycleau/modeliser>

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Ce cycle est d'une grande importance, car il permet de réguler l'énergie reçue par la terre et influe donc sur la température de la terre et des océans (*Biancamaria, 2009*).

I.1.1 Processus de cycle hydrologique

L'ensemble de tous les procédés de transformation de l'eau sur terre a été appelé cycle hydrologique dont les phases principales sont (*Bennis, 2009*) :

- L'évaporation
- Précipitation
- Infiltration
- Ecoulement souterrain
- Ruissellement de surface

I.1.1.1 L'évaporation :

L'évaporation est le point de départ du cycle de l'eau et se manifeste comme le résultat direct de l'apport de chaleur du rayonnement solaire à la surface de la Terre. L'évaporation est le mécanisme qui permet à l'eau de quitter la surface de la Terre et d'atteindre l'atmosphère sous forme de vapeur (*Tardy, 1986*). Le passage de la phase liquide à la phase gazeuse provoqué par le processus d'évaporation nécessite un apport d'énergie suffisant pour que certaines molécules d'eau s'échappent de la substance liquide dans l'atmosphère. Il faut aussi un mécanisme pour éloigner ces molécules de la surface de l'eau pour éviter leur retour par condensation dans le liquide (*Hingray et al., 2009*).

I.1.1.2 Précipitation :

Les précipitations sont définies comme l'ensemble des eaux météorologiques tombant à la surface de la Terre, qu'elles soient liquides (bruine, pluie, averse) et solides (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou cachées (rosée, givre, givre. . .). Elles sont causées par des changements de température ou de pression (*Musy, 2004*). Selon (*Hingray et al., 2009*), les nuages se déplacent dans l'atmosphère, poussés par le vent. Lors du changement climatique, les nuages deviennent plus lourds en raison de la gravité et retombent au sol sous forme de pluie, de grêle ou de neige. 79 % des précipitations tombent sur l'océan et les 21 % restants sur terre, où elles sont injectées dans les eaux souterraines par infiltration ou

Chapitre I : Synthèse bibliographique

ruissellement. Le mouvement vertical des masses d'air est le principal phénomène à l'origine des précipitations. Les types de précipitations sont souvent définis en fonction des causes de ce mouvement d'air (*Hingray et al., 2009*).

I.1.1.3 Infiltration :

Le processus d'infiltration se produit lorsque les précipitations atteignent la surface du sol ou lorsque cette surface est exposée à une submersion. Une fois infiltrée, l'eau peut être reprise par le couvert végétal au travers du système racinaire, retourner dans l'atmosphère par évaporation, se déplacer latéralement et participer à un écoulement de subsurface ou encore percoler plus profondément et participer à la recharge de la nappe. L'infiltration est nécessaire pour renouveler le stock d'eau du sol, alimenter les eaux souterraines et reconstituer les réserves aquifères. De plus, en absorbant une partie des eaux de précipitation, l'infiltration peut réduire les débits de ruissellement (*Musy et al, 1999*).

I.1.1.4 Ecoulement souterrain :

Lorsque la zone d'aération du sol contient une humidité suffisante pour permettre la percolation profonde de l'eau, une fraction des précipitations atteint la nappe phréatique. L'importance de cet apport dépend de la structure et de la géologie du sous-sol ainsi que du volume d'eau précipité. L'eau va transiter à travers l'aquifère à une vitesse de quelques mètres par jour à quelques millimètres par an avant de rejoindre le cours d'eau. Cet écoulement, en provenance de la nappe phréatique, est appelé écoulement de base ou écoulement souterrain. A cause des faibles vitesses de l'eau dans le sous-sol, l'écoulement de base n'intervient que pour une faible part dans l'écoulement de crue (*Musy et al, 2004*).

I.1.1.5 Ruissellement de surface :

L'excédent des précipitations qui ne s'est pas infiltré ou évaporé ou n'a pas été intercepté par la végétation, va s'écouler selon la pente du terrain. C'est le ruissellement de surface qui alimente les rivières et les fleuves se déchargeant dans les mers et océan sous formes ruissellement (*Rossi, 1998*).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.2 Hydrologie

Au sens étymologique, la définition de l'hydrologie est la science de l'eau ou plus précisément l'étude de l'eau dans la nature ou dans un milieu (*Hubert et al, 2013*). Si l'on s'en tient à la stricte définition d'un dictionnaire, l'hydrologie est la science qui traite des propriétés mécaniques, physiques et chimiques des eaux marines et continentales (*Musy et al, 2004*). Si l'objet de l'hydrologie est donc clairement défini, la difficulté due à la présence de l'eau dans une importante majorité de phénomènes ou de processus terrestres a conduit à son fractionnement en une multitude de discipline. L'hydrologie peut se subdiviser en cinq domaines scientifiques à savoir : l'hydrométéorologie ; la limnologie ; la cryologie ; la géo hydrologie ou l'hydrogéologie ; la potamologie qui est l'étude des cours d'eau (*Gray, 1972*). Cette science définit comme : « Science qui traite des eaux que l'on trouve à la surface de la Terre, de leur circulation et de leur distribution dans le temps et dans l'espace, et de leur interaction avec leur environnement. Les processus régissent les fluctuations des ressources en eau des terres émergées et traite des différentes phases du cycle hydrologique. » (*OMN, 1992*).

La classification des sous-domaines de l'hydrologie se fait I selon les trois phases élémentaires du cycle de l'eau, à savoir la phase atmosphérique (climatologie, météorologie), la phase marine (océanographie ou hydrologie marine) et la phase terrestre (hydrologie continentale) (*Lambret, 1996*). L'hydrologie est non seulement une science géophysique ayant pour objet l'étude scientifique des processus du cycle hydrologique mais aussi un outil permettant de résoudre des problèmes pratiques urgents (*OMM, 2005*).

I.3 La modélisation hydrologique :

La modélisation hydrologique est une représentation simplifiée d'une partie ou de la totalité du cycle hydrologique, réalisée à l'aide d'un ensemble d'équations mathématiques reproduisant le système. Il doit être capable de décrire les différentes étapes des transitions pluviométriques, notamment les processus associés aux crues et à la formation des étiages. Il doit également fournir des informations utiles pour la conception d'ouvrages hydrauliques, la protection contre les crues ou la gestion hydrologique et écologique du bassin versant à l'étude (*Gnouma, 2006*).

I.3.1 Définition d'un modèle : Un modèle est une représentation simplifiée de différents processus explicatifs pour un système physique donné et ses fonctions. Il est mis en œuvre afin de pouvoir simuler tout ou partie du comportement du système (*Musy et al., 2004*). Avant de plonger, il semble important de définir ce qu'est un modèle pour rendre compte du choix des outils de modélisation utilisés dans notre étude. Un modèle mathématique peut être considéré comme une simple description d'un système complexe... En effet, un modèle hydrologique décrit le cycle de l'eau, ou l'une de ses composantes, à travers un ensemble de concepts hydrologiques exprimés en langage mathématique et liés dans un ordre temporel et spatial qui correspond au modèle hydrologique observé, défini comme une représentation abrégée. Par essence, c'est un facteur important et un outil essentiel dans la planification et la gestion des ressources en eau et de l'environnement (*Ambroise, 1998*).

En règle générale, l'élaboration d'un modèle se fonde sur trois éléments (*Perrin, 2000*) :

- se concentrant sur les processus ainsi que sur les échelles spatiales et temporelles déterminants pour les phénomènes hydrologiques visés eau (*Musy et al, 2004*).

- Ces processus doivent être pris en compte si le modèle doit estimer la saisonnalité et la variabilité interannuelle d'une ressource en eau (*Musy et al, 2004*).

- trouver la formulation de la réalité la plus satisfaisante relativement aux objectifs fixés (*Perrin,2000*).

Chaque modèle peut contenir quatre types de variables (figure 03), qui peuvent être présents intégralement ou partiellement (*Boudhraa, 2007*).

- Les variables d'entrée du modèle sont les données chroniques de pluie, d'ETP (évapotranspiration potentielle) ou de température, qui sont appelées variables indépendantes.

Les sorties du modèle, appelées variables dépendantes, sont généralement les débits simulés à l'exutoire du bassin versant, mais peuvent également inclure l'ETR (l'évapotranspiration réelle), les niveaux piézométriques.

- Variables d'état : il s'agit des variables internes au système, qui évoluent en fonction du temps et rendent compte de l'état du système à un moment donné.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

-Les paramètres des modèles hydrologiques, qu'ils aient une signification physique fautive ou calée, sont utilisés pour adapter les lois régissant le fonctionnement du modèle au bassin versant qui est étudié.

- Ses performances consistent à déterminer la portée des erreurs de modélisation. Ils sont généralement calculés en mesurant l'écart entre les valeurs mesurées et simulées.

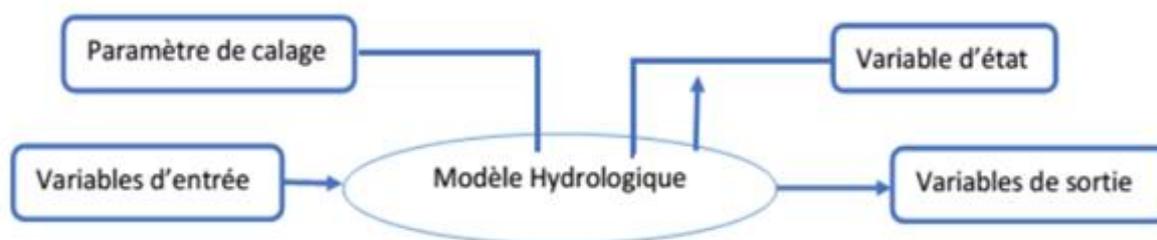


Figure 3 : Les variables d'un modèle hydrologique (d'après Gaume, 2002)

I.3.2 Classification des modèles hydrologique :

Un grand nombre de modèles différents ont émergé, et il est difficile de décrire l'application dans plusieurs disciplines de l'hydrologie. Ces les modèles peuvent être divisés en plusieurs catégories principales. La différence est que leur finalité, leur démarche, les données et leur mode de mobilisation (Roche et al., 2012), etc., selon leur représentation des processus spatiaux ou hydrologiques.

I.3.2.1 Classification selon la représentation spatiale :

a- Les modèles globaux :

Le modèle global traite le bassin versant comme une entité unique, les paramètres et les entrées ne varient pas spatialement dans le bassin versant, et les réponses du bassin ne sont évaluées qu'à la sortie (Rockwood et al, 1966).

b- Les modèles distribués :

Pour un modèle distribué, le comportement hydrologique du bassin versant est sup- posé pouvoir être expliqué par le biais du comportement d'un nombre limité d'unités hydrologiques

Chapitre I : Synthèse bibliographique

distinctes. Ces unités sont choisies pour être représentatives des principaux types de comportements hydrologiques observés au sein du bassin (*Gurtz et al., 1999*).

c- Les modèles semi-distribués :

Un modèle semi-distribué est un type de modèle hydrologique utilisé pour simuler les processus hydrologiques à l'échelle d'un bassin versant. Contrairement à un modèle entièrement distribué qui divise le bassin versant en une multitude de sous-bassins élémentaires, un modèle semi-distribué considère le bassin versant comme une seule entité, mais avec une certaine représentation des variations spatiales à l'intérieur du bassin (*Maidment, 1996*).

I.3.2.2 Classification selon la discrétisation temporelle :

a- Les modèles événementiels :

Ce type de modèle nécessite de pouvoir préciser l'état initial du bassin en fonction des antécédents climatiques (*Payraudeau 2002*).

b- Les modèles continus :

Ces modèles requièrent des variables de forçage supplémentaires par rapport aux modèles événementiels. Outre les précipitations, la température, le rayonnement solaire ainsi que le vent sont en effet des facteurs importants pour expliquer l'évolution des stocks d'eau sur le bassin pour une ou plusieurs années hydrologiques (*Payraudeau 2002*).

I.3.2.3 Classification selon la description du processus :

a- Les modèles empiriques :

Reposent sur les relations observées entre les entrées et des sorties de l'hydrosystème considéré. Ils expriment la relation entre variables d'entrée et de sortie du système à l'aide d'un ensemble d'équations développées et ajustées sur la base des données obtenues sur le système. Un modèle empirique ne cherche pas à décrire les causes du phénomène hydrologique considéré ni à expliquer le fonctionnement de l'hydrosystème. L'hydrosystème est vu comme une « boîte noire » (*Musy et al., 2004*).

b- Les modèles conceptuels :

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Ce type de modèle est fondé sur l'analogie observée entre le fonctionnement d'un bassin hydrographique et un ensemble de réservoirs interconnectés. Plus précisément lorsque la structure du système et les lois qui le régissent sont inconnues ou lorsque la rareté de l'information et la complexité des phénomènes en jeu prévalent, le comportement du régime concerné est simplifié. Ainsi, les modèles conceptuels incorporent des facteurs complexes en tentant de décrire la notion physique du comportement du système au moyen d'une représentation plus simple. Grâce à ce type de modélisation, on construit des structures empiriques censées reproduire les résultats du système étudié (débit, concentration...) les variables des intrants (pluie, évapotranspiration, fertilisation, pratiques agricoles) (*Clarke 1973*).

c- Les modèles à bases physique :

Le modèle physique repose uniquement sur les équations de la physique et, idéalement, il ne contient aucun paramètre. Il n'existe aucun modèle physique au sens strict dans le domaine hydrologique. Toutefois, en raison de l'importance de l'hétérogénéité spatiale dans la réponse hydrologique des bassins hydrographiques, il est difficile ou impossible d'utiliser de tels modèles (*Clarke, 1973*).

I.3.3 L'objectif de la modélisation hydrologique :

Depuis quelques années, les recherches pour comprendre le cycle de l'eau dans les milieux naturels (bassins versants, rivières, nappes phréatiques, etc.) combinées aux développements de l'informatique ont fait émerger un grand nombre de modèles hydrologique. À cet égard, on peut distinguer trois objectifs fondamentaux de l'utilisation des modèles en hydrologie (*Gaume, 2002*).

-La reconstitution des séries de débit par le comblement de lacunes dans les séries historiques afin de permettre les traitements statistiques utilisés notamment dans les études de faisabilité des ouvrages et de détermination des valeurs de projet.

- Prévision des fréquences avec lesquelles les débits extrêmes (crue et étiage) peuvent se produire ;

- Prédétermination de la réponse hydrologique d'un bassin versant avec un pas de temps, afin de permettre l'élaboration d'un système de prévention et d'alarme ;

Chapitre I : Synthèse bibliographique

- L'étude de l'impact des différents aménagements sur la réponse hydrologique (*Medane 2012*).

I.4. SWAT (Soil and Water Assessment Tool):

I.4.1 Le choix de modèle :

La grande variété de modèles hydrologiques peut être embarrassante pour les ingénieurs à choisir pour une application donnée. Afin d'éviter les erreurs et les désagréments causés par de mauvais choix, il est nécessaire de faire des choix en fonction des objectifs de la recherche (*Kouame, 2019*).

Le modèle SWAT (Soil and Water Assessment Tool) a été sélectionné sur la base des critères suivants :

- La capacité du modèle à simuler la réponse hydrologique en tenant compte.
- Disponibilité des données d'entrée.
- La capacité du modèle à simuler les données manquantes.
- La capacité du modèle à analyser les effets combinés du climat et des activités humaines sur la réponse hydrologique globale du bassin.
- L'interface conviviale est facile à utiliser et facilite le traitement des données et la présentation des données et des fichiers de sortie (*Kouame, 2019*).

I.4.2 Présentation de modèle SWAT :

SWAT (Soil and Water Assessment Tool), est un modèle physique continu qui utilise le pas de temps quotidien à l'échelle des bassins hydrographiques. Élaboré par Arnold et al, (1998) a l'USDA (United States Department of Agriculture) pour estimer et prédire l'influence de paramètres hydrologiques différents tels que l'utilisation des sols, les types de sols et les paramètres climatiques sur l'eau, la sédimentation, la pollution, le transfert d'éléments nutritifs, la croissance des cultures, l'environnement et les changements climatiques dans les bassins hydrographiques (*Neitsh et al. 2005*).

Selon le critère de représentation spatiale SWAT, il s'agit d'un modèle physique semi-distribué qui permet de manipuler et d'analyser un grand nombre de données hydrologiques et agronomiques afin de modéliser les flux d'eau et d'autres solutés dans un bassin versant. La modélisation est effectuée en temps réel ou en temps événementiel. Il permet de modéliser

Chapitre I : Synthèse bibliographique

une variété d'événements, tels que la réponse hydrologique, l'étude des effets du climat et du changement climatique, l'impact du changement de l'occupation des sols, l'impact et le transfert des charges polluantes, l'étude des problèmes de gestion de l'eau d'irrigation et des ressources, l'étude des effets des crues sur les structures hydrauliques projetées (*Gassman et al., 2007*). SWAT est principalement utilisé dans les études hydrologiques, mais il est également utilisé dans des situations moins fréquentes pour les questions de transfert de polluants et de sédiments (*Gassman et al., 2007*).

Les recherches antérieures montrent qu'il est possible d'utiliser efficacement le modèle SWAT dans le domaine de la simulation et de la prédiction de l'hydrologie (*Gassman et al., 2007*).

I.4.3 Organisation de modèle SWAT

Le bassin versant est discrétisé en sous-bassins versants, eux-mêmes découpés en HRU (Unité de réponse hydrologique) qui correspondent à des combinaisons uniques d'occupation du sol, de type de sol et de pente (figure 4). C'est à l'échelle de la HRU que sont calculés les processus liés au bilan hydrique. Ces HRU représentent un pourcentage de chaque sous-bassin versant, et peuvent ne pas être continues et spatialement définies (*Arnold et al. 2012*).

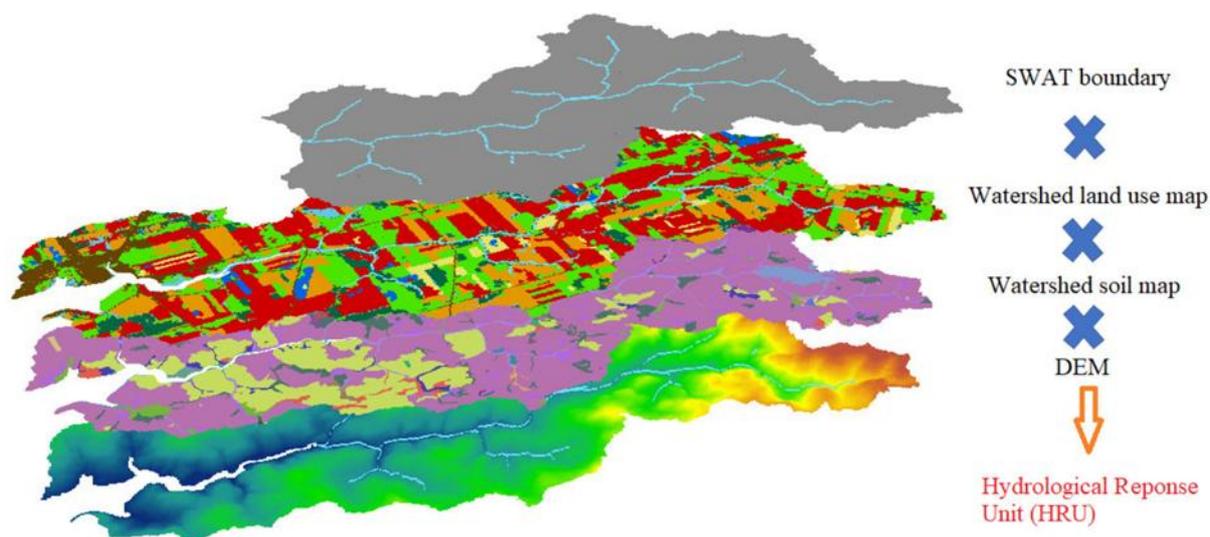


Figure 4 : Unité de réponse hydrologique (HRU) (*Janjić et al ;2023*).

I.4.3.1 Les phases de bilan hydrologique :

Selon (Neitsch et al., 2005), les deux phases sont modélisées par SWAT (*figure 5*). Le premier constitue le stade terrestre et le second le stade aquatique.

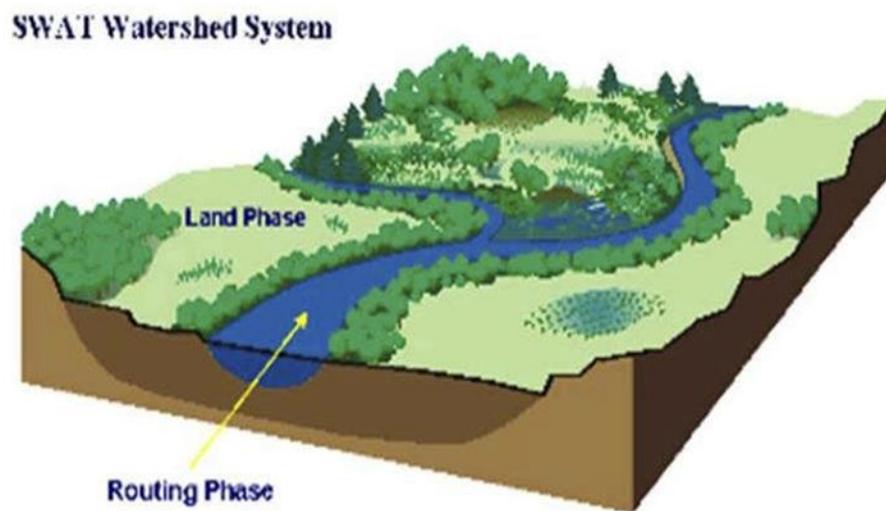


Figure 5 : Phases de cycle hydrologique modélisé par SWAT (Neitsch et al., 2005)

a- Phase terrestre de cycle hydrologique :

C'est dans cette phase que les différents termes nécessaires à l'établissement du bilan hydrologique à proprement parlé seront calculés. Ses différents composants sont illustrés à la (Figure 6). Il est exprimé comme suit :

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^i (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \text{ (eq1)}$$

Avec :

SW_t = La quantité finale d'eau dans le sol (mm) ;

SW_0 = La quantité initiale d'eau dans le sol (mm) ;

t = Le temps (jours) ;

R_{day} = La précipitation du jour i (mm) ;

Q_{surf} = La quantité d'eau ruisselée le jour i (mm) ;

E_a = La quantité d'eau évapotranspirée le jour i (mm) ;

W_{seep} = La quantité d'eau entrant dans la zone non saturée le jour i (mm) ;

Q_{gw} = La quantité d'écoulement restituée par la nappe le jour i (mm).

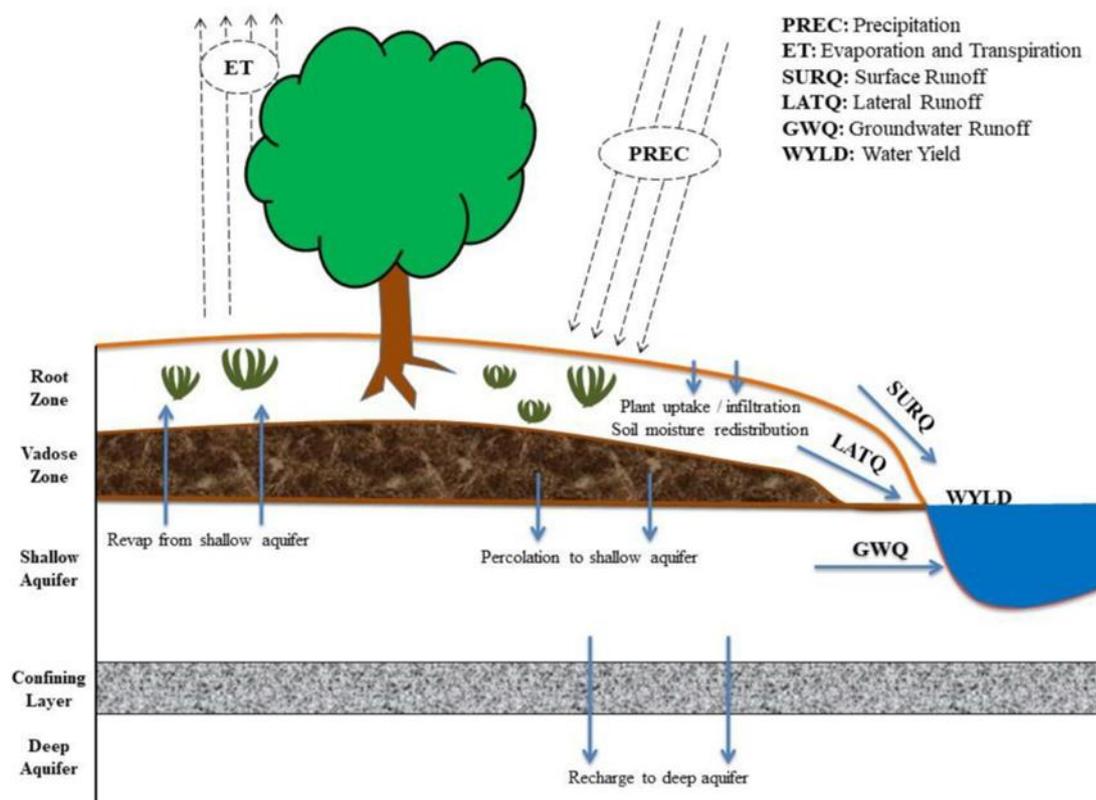


Figure 6 : Le processus du cycle hydrologique du modèle SWAT (Wang *et al* ; 2021).

b- Phase "de routage" du cycle hydrologique :

Lors de la phase de routage, le transport par le réseau hydrographique des différents éléments présents est déterminé. Ce processus est illustré à la et tient compte (Gassman *et al.*, 2007) :

- du transport des particules par advection et diffusion ;
- de la sédimentation ;
- de la dégradation et transformation selon différents cycles (carbone, azote, phosphore, ...) ;
- de la dégradation biologique (par les bactéries, ...) ;
- de leur volatilisation dans l'atmosphère, ...

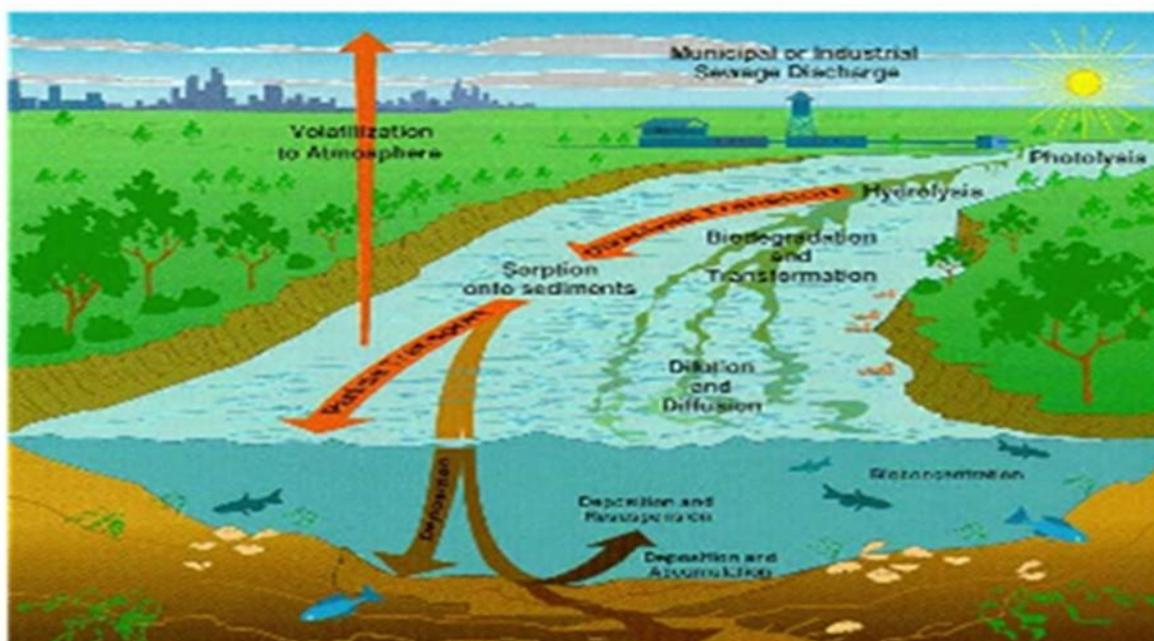


Figure 7 : Phase fluviale représentée par modèle SWAT (Neitsch et al., 2005).

(La figure 8) ci-dessous montre les variables d'entrée et de sortie du modèle SWAT, voir (Neitsh al, 2005) pour plus de détails.

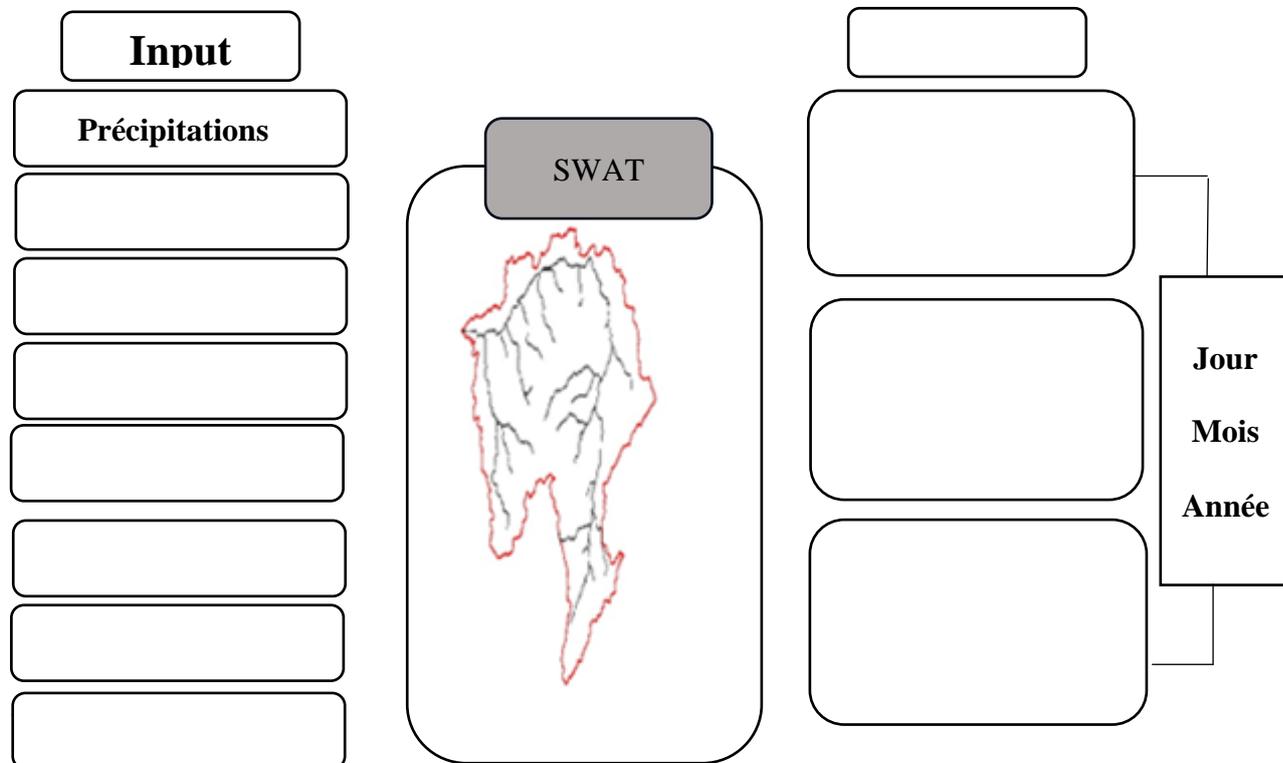


Figure 8 : Les données d'entrée et de sortie de modèle SWAT.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.4.4 L'application de modèles aux niveaux d'Afrique

Le modèle SWAT a fait l'objet de nombreuses applications en matière de ressources en eau et d'évaluations environnementales connexes en Afrique depuis les années 2000 (*Mutenvo et al, 2013*). Le modèle a été appliqué à des catégories telles que les changements d'utilisation des terres, les changements climatiques, l'érosion, l'élaboration de modèles et la qualité de l'eau (*Van et al, 2012*). Le 30 avril 2019, une recherche du terme « SWAT » a été effectuée dans la base de données documentaire du SWAT et un total de plus de 3500 articles ont été affichés. Le nombre d'articles a été réduit à 206 après la sélection des articles qui ont été menés en Afrique) (*Akoko et al 2021*).

Les documents examinés couvraient largement le continent africain. Les pays ayant reçu le plus grand nombre d'articles dans le cadre de cet examen étaient l'Éthiopie, le Kenya, la Tanzanie, la Tunisie, l'Afrique du Sud et le Nigéria, avec respectivement 69, 19, 15, 13, 13 et 7 articles (*figure 9*). De ce total, 14,6 % étaient des études régionales, c'est-à-dire menées dans deux pays ou plus) (*Akoko et al 2021*).

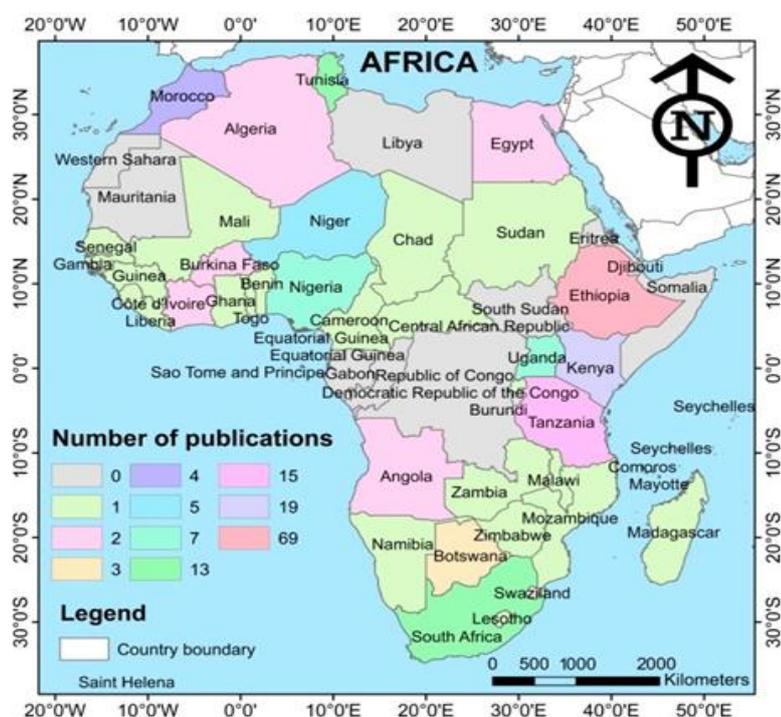


Figure 9 : Distribution relative des articles examinés par les pays africains (*Akoko et al 2021*).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Les documents examinés portaient sur les années 2005 à 2019. Les années où le nombre d'articles a été le plus élevé ont été 2017 et 2018, avec 30 articles chacun (*figure10*) (*Akoko et al 2021*).

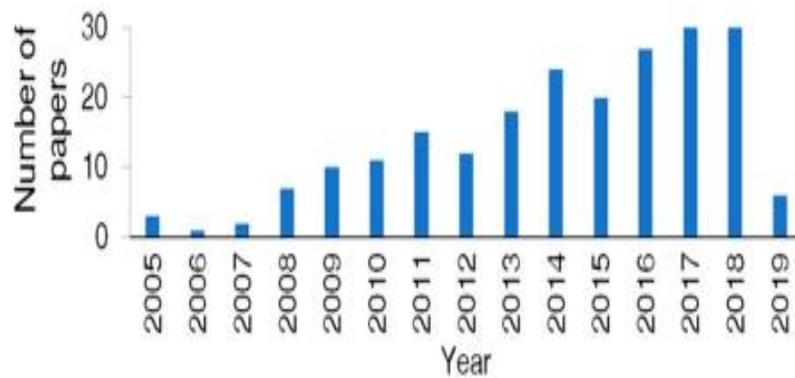


Figure 10 : Nombre de documents par année (*Akoko et al 2021*).



CHAPITRE II
MATERIELS
ET METHODE

II.1 Présentation de bassin versant d'oued Chélif

Le bassin de Chélif intra montagneux (*Perrondon, 1957*), situé au nord-ouest de l'Algérie entre les latitudes 33° 53 et 36° 26 N et les longitudes 0° 8 et 3° 30 E (*Derdous et al, 2020*) (*Figure 11*). Il est considéré comme le bassin le plus important dans le pays qui occupe une superficie de 43750 km² qui représente plus de 17% de la superficie de nord de l'Algérie (*Zaibak et al, 2022*).

Naturellement limitée par :

- la mer Méditerranée au nord,
- à l'ouest par les bassins versants côtiers oranais – La Mactaa et Chott Chergui,
- à l'est par la côte algérienne–Hodna–Soumam
- au sud par l'Atlas Saharien.

Le bassin de Chélif (43,750 km²), est un bassin en forme de gouttière étant allongé dans une direction ENE-OSO. Il s'étend sur une longueur de 260 km et une largeur de 35 km entre la Sebkhha d'Oran à l'ouest et la ville de Chélif à l'est (*Moulana et al,2021*).

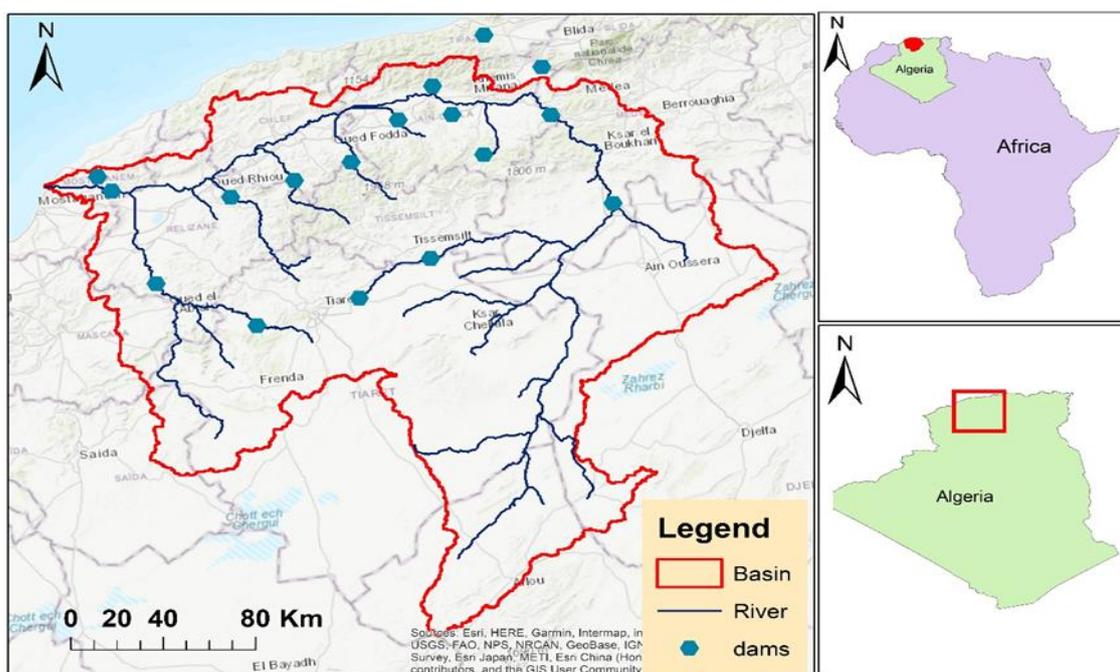


Figure 11 : Localisation de bassin versant d'oued Chélif.

II.1.1 Hydrographie

Ce bassin présente un chevelu hydrographique très dense, l'oued Chélif résulte de la jonction de deux affluents importants : Wadi Touil et Wadi Nahr Ouassel, drainant respectivement une superficie de 16 338 et 3651 km². Le bassin du Chélif présente un réseau de drainage d'une densité variant de 0,32 à 0,93 km/km² (agence du bassin hydrographique : Chélif-Zahrez (*ABH-CZ 2004*), avec une longueur totale de 5468 km de cours d'eau permanents et 18 495 km de temporaires. Il est traversé par un oued avec le même nom sur une distance de plus de 700 km et provient des montagnes de Djebel Ammour dans l'Atlas saharien près d'Aflou et coule dans méditerranée (*Zaibak et al, 2022*). Les faibles valeurs caractérisent les terrains à faibles pentes qui sont surtout localisées au niveau des hautes plaines, ce qui se traduit par de faibles précipitations et une perméabilité non négligeable des structures lithologiques (*Benkaci et al, 2018*).

II.1.2 Hydrologie

La zone d'étude est dominée par un climat méditerranéen, il se caractérise par un déficit hydraulique élevé et une distribution spatio-temporelle irrégulière des précipitations, la plupart des précipitations se produisant entre septembre et mars (*Gomer 1994*). Le bassin méditerranéen proposées par le *Houirou (1971)*, environ 75% de l'étendue du bassin est classée comme aride (100 mm < P < 400 mm), tandis que l'autre partie tombe majoritairement sous la classe semi-aride (400 mm < P < 600 mm). La température moyenne annuelle entre 13° à 20° C. L'Oued Chélif est alimenté par plusieurs affluents et eaux souterraines. Pendant la période d'étiage, il est alimenté par le rejet de barrages comme celui de Ghrib situé en amont ou par plusieurs affluents (ex. Oued Mina, Ouahrane, Fodda, etc) (*Zaibak et al, 2022*).

II.1.3 Relief et topographie

Le relief est l'un des facteurs dominants de la rapidité de concentration de l'eau à la sortie du bassin versant, et même s'approchant de l'hydroélectricité moyenne paramètres hydro climatologiques moyens compte tenu des gradients altimétriques (*Benkaci et al, 2018*).

Dans la partie nord de la chaîne de l'Atlas Tellien, entre la mer et le Chélif, le Dahra s'élève rarement au-dessus de 500 mètres et est très exceptionnellement dominé par 1 000 mètres de sommets dénudés. A l'exception du Djebel Bissa, aucun point de la wilaya de Chélif n'atteint 1 100 m (*ABH CZ, 2003*). Au sud de Wilaya, une colline forme les contreforts du majestueux massif de l'Ouarsenis. Ces bourrelets proches du sud de la wilaya

sont peu larges (5 à 10 km de large). Les massifs montagneux du Dahra et de l'Ouarsenis isolent la dépression de l'Oued Chélif au centre de la province. Cette plaine intérieure accidentée coule de l'Oued Cheliff et de ses affluents. Les collines ont une altitude moyenne de 500 à 700 mètres et les plaines ont une altitude moyenne de 200 mètres (*ABH CZ, 2003*).

Sur le plan topographique, la zone d'étude présente une topographie simple et régulière qui forme une crête des montagnes de l'Atlas au sud jusqu'aux plaines côtières au nord (*Derdous et al, 2020*).

II.1.4 Géologie

Le bassin du Chélif est un bassin de compression formé à l'extrémité de la ceinture orogénique alpine (*Perrodon,1957*). Son histoire néotectonique est marquée par plusieurs étapes (*Meghraoui,1982*). Au nord, cette dépression est séparée de la mer par la Terre septentrionale, qui est représentée par une série de reliefs parallèles formés essentiellement par les formations jurassiques silico crétacées que l'on retrouve également dans la plaine. Au sud, le bassin du Cheliff est délimité par la partie méridionale de Tyr, représentée par un groupe de montagnes avec un substrat à prédominance marno-calcaire, correspondant à l'allophyle tyrien à différentes couches (*ABH CZ, 2020*).

La phase de compression du crétacé inférieur a produit le pli NE-SW ; une phase de composition tangentielle émerge après le sénonien et le paléocène et serait en partie responsable du métamorphisme apparent une phase pharmacocinétique, de compression et profonde obsolète créer de nouveaux métamorphismes apparents (*ABH CZ, 2020*). Alors que la formation tellienne achevait sa formation, un nouveau cycle de dépôt a commencé, caractérisé par une intrusion transgressive dans le bassin et le dépôt éventuel d'épais dépôts quaternaires Moi-Plio. Dans le même temps, le bassin du Cheliff était largement contraint par des structures majeures dans tout le néogène. Cette tectonique s'est poursuivie jusqu'à nos jours, comme en témoigne la forte sismicité de la zone (*ABH CZ, 2020*).

II.1.5 Pédologie

Les sols du bassin du Chélif se composent de quatre groupes :

- les sols alluviaux peu développés du bassin du Cheliff ont des caractéristiques largement déterminées par le schéma alluvial. Les caractéristiques déterminées par la nature des alluvions sont relativement constantes et la répartition des roches-mères dans le bassin versant est relativement uniforme.

-Malgré la rigueur du climat, l'eau du sol est assez étendue. Parfois, ils sont causés par des affleurements d'eau souterraine.

- les sols salins de la plaine du Chélif sont majoritairement des sols primaires, où la dynamique saisonnière de la salinité est très fiable : ni lessivage ni concentration en surface ; uniquement en cas de solonchaks intenses, les sels s'accumulent en surface, ce qui conduit à l'intervention de l'érosion éolienne).

- Le type de sol autotrophe de la plaine du Chélif est un sol marron (*Namous, 2012*).

Il existe de grandes difficultés dans la classification des sols d'autodéfense. Parmi ceux-ci, les sols ont été décrits comme brun, oseille ou rouge méditerranéenne ainsi que brun (*Namous,2012*).

II.1.6 Occupation de sol

La région Chélif est caractérisée par une densité démographique importante, elle est passée de 5221800 habitants en 2008 à 8596527 habitants en 2012 (*ONS,2017*). Le volume d'eau potable consommée par cette population a été estimé à 510, 3 hm³ /an. Les terrains agricoles dont 65 % sont effectivement irrigués. L'arboriculture est la spéculation la plus importante du périmètre, plus particulièrement l'agrumiculture. Concentrée dans la partie centrale de la vallée, elle est irriguée à partir des lâchers du barrage de Sidi Yacoub sur l'oued Sly, affluent droit de l'oued Chélif (*ABH-CZ, 2004*).

Les forêts (bois et broussailles) occupent plus de 40% de la superficie du haut et moyen Chélif et 15% du bas Cheliff et la Mina, les prairies occupent une partie non négligeable du haut et moyen Chélif avec un pourcentage de 20% situé à l'Est du bassin, le reste se sont des terres au repos et des sols nus tandis que l'Amont de Bougezoul est essentiellement couvert par le sable (*Bouaichi,2008*).

Le bassin comprend de nombreux ouvrages hydrauliques, dont 17 grands barrages (tableau 2) d'une capacité totale de stockage d'environ 1 700 hm³ (*Derdous et al, 2020*).

Tableau 1 : Les barrages de bassin versant Chélif. (ANBT)

Les barrages	Année de mise en eau	Capacité (Hm3)	Wilaya	Utilisation
Sidi Mhamed Ben Taiba	2005	75	Ain Defla	-La régularisation des apports de l'oued Ebda, en vue de satisfaire les besoins pour l'irrigation du périmètre de El Amra – Abadia. -Le renforcement de l'alimentation en eau potable des localités de Ain Defla, Khemis Miliana et Sidi Lakhdar.
Harreza	1984	76.75	Ain Defla	-Les besoins en eau d'irrigation de la haute plaine rive gauche du Cheliff
Deurdeur	1984	115	Ain Defla	-Il est destiné pour l'alimentation en Eau Potable de Tissemsilt et pour l'irrigation du périmètre Haut Cheliff
Ghrib	1939	280	Ain Defla	-Il est destiné à l'irrigation
Oued Mellouk	2003	119.04	Ain Defla	-L'alimentation en eau potable des villes de Rouina, Bourached, Zeddine, El Mayenne et El-Attaf -L'irrigation du périmètre EL AMRA, EL ABADIA et ROUINA.
Sidi Mhamed Ben Aouda	1978	235	Relizane	-L'alimentation en Eau Potable des villes de Sidi M'Hamed Ben Aouda, Benaouda et Relizane. -L'irrigation du périmètre de la Mina.
Garagar	1988	450	Relizane.	-Satisfaire les besoins en eau d'irrigation des vergers de Relizane -L'alimentation en eau potable de la ville d'Oran.
Merdja Sidi Abed	1992	45		-Il permet de stocker une partie des eaux non régularisée de l'oued Cheliff en hiver et l'irrigation de la plaine du bas cheliff.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODE

Bakhadda	1936	56	Tiaret	-L'irrigation de la plaine de Relizane. -L'alimentation en eau potable de Rouina et Draa Sfa.
Sidi Yacoub	1985	252.85	Chlef	-L'alimentation en eau potable de la wilaya cheliff.
Oued fouda	1932	102.90	Chlef	- L'irrigation du périmètre du moyen Cheliff. -L'alimentation en Eau Potable du barrage et des localités avoisinantes. -Le transfert vers le barrage de Bouroumi
Dahmouni	1983	40	Tiaret	-L'alimentation en eau potable et industrielle de la ville de Tiarte -L'irrigation de cette région de façon à aider son développement agricole
Bougara	1988	13	Tissemsilt	-l'irrigation des plaines de Tiaret et Tissemsilt.
Koudiat Rosfa	1932		Tissemsilt	-L'alimentation en eau potable de la ville de tissemsilt. -L'irrigation via le barrage oued fouda. -La récupération du volume envasé du barrage Oued Fouda.
Karrada	2011	65	Mostaganem	-L'alimentation en eau Potable du couloir (Barrage de stockage).
Prise Chelif	2009	155	Mostaganem	-Renforcer les besoins en eau potable et industrielle des localités situés dans le couloir Mostaganem-Arzew –Oran
Boughzoul	1934	30	Médéa	-Destinée à écrêter les crues au niveau du barrage du Ghrib situé à l'aval. La retenue joue également un rôle décanteur permettant de limiter les apports dans la retenue du Ghrib.

II.2. Données utilisées en entrée pour la modélisation

Pour notre étude nous avons choisis les données d'entrée suivant :

- Le modèle numérique de terrain (MNT).
- Les données spatiales (Pédologique et occupation du sol).
- Les données climatiques

II.2.1 Le modèle numérique de terrain (MNT)

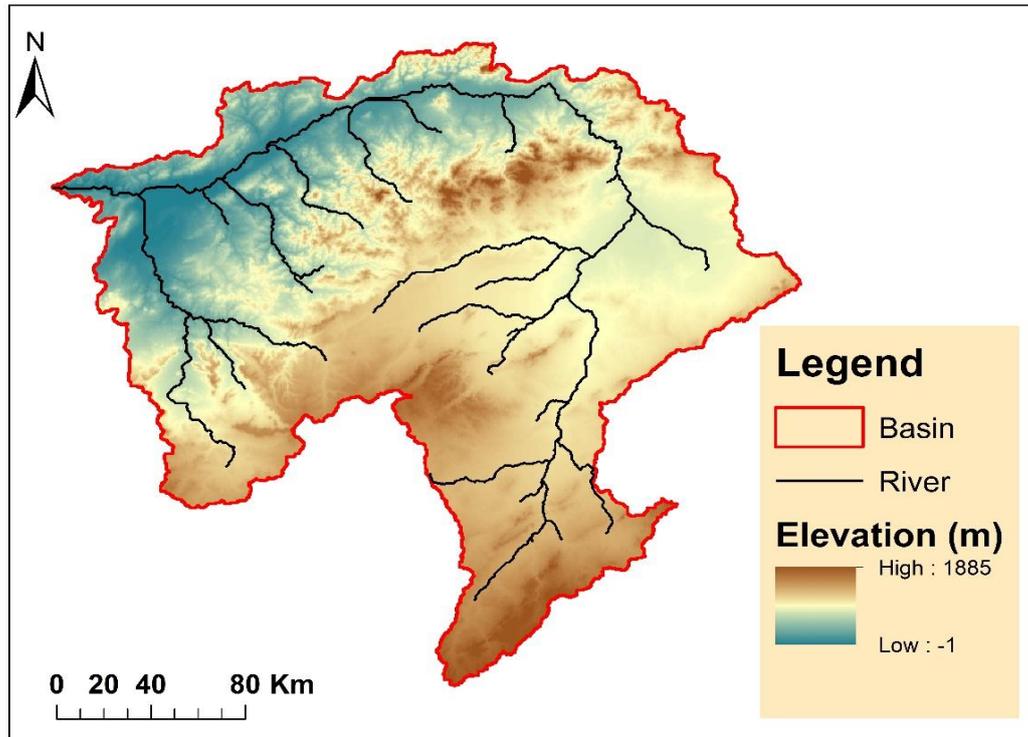


Figure 12 : Le modèle numérique de terrain (30×30m)
(http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php)

La zone d'étude est principalement caractérisée par un plateau, avec des altitudes qui varient entre 0 m et 1885m (figure 12).

II.2.2 Type de sol

Le bassin versant de Cheliff est composé de sept types différents de sols qui sont (Figure 13) :

- Leptsols
- Arenosols
- Fluvisols

- Cambisols
- Luvisols
- calsisols
- solonchaks

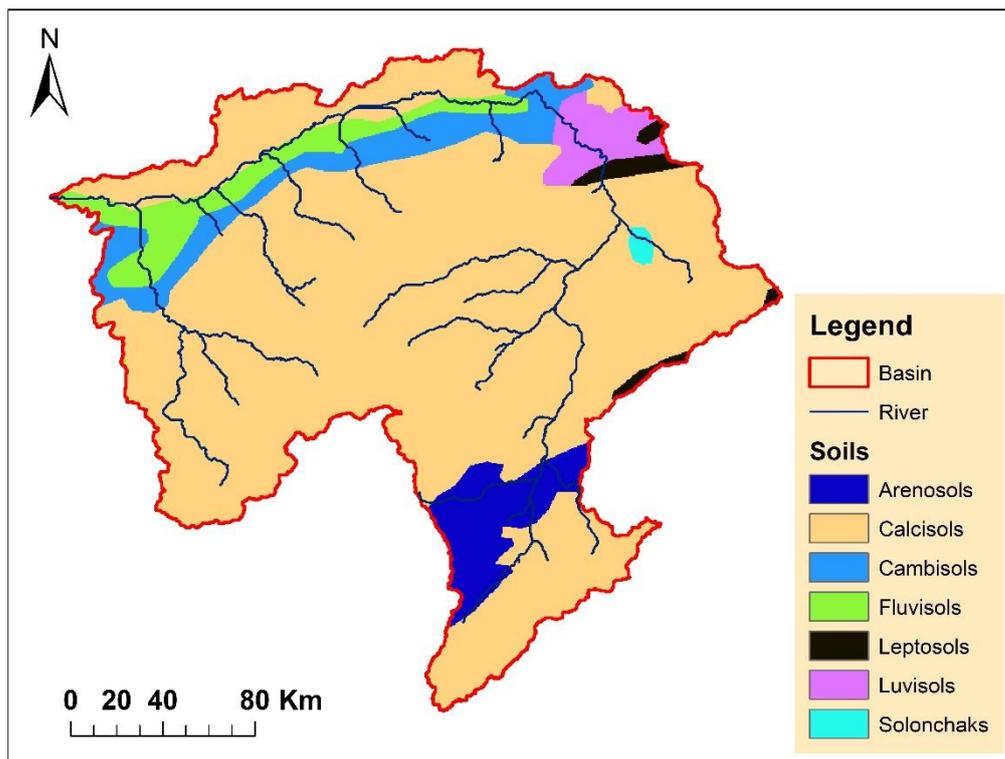


Figure 13 : Les sols de bassin versant de Chélif (FAO)

II.2.3 Occupation des sols

Le bassin versant de Chélif contient d'occupation de sol nécessaire est c'est mixte de forêt ; forêts caduques ; garrigue ; terres agricoles fermer groume ; terres arides ; l'eau et haute densité résidentielle

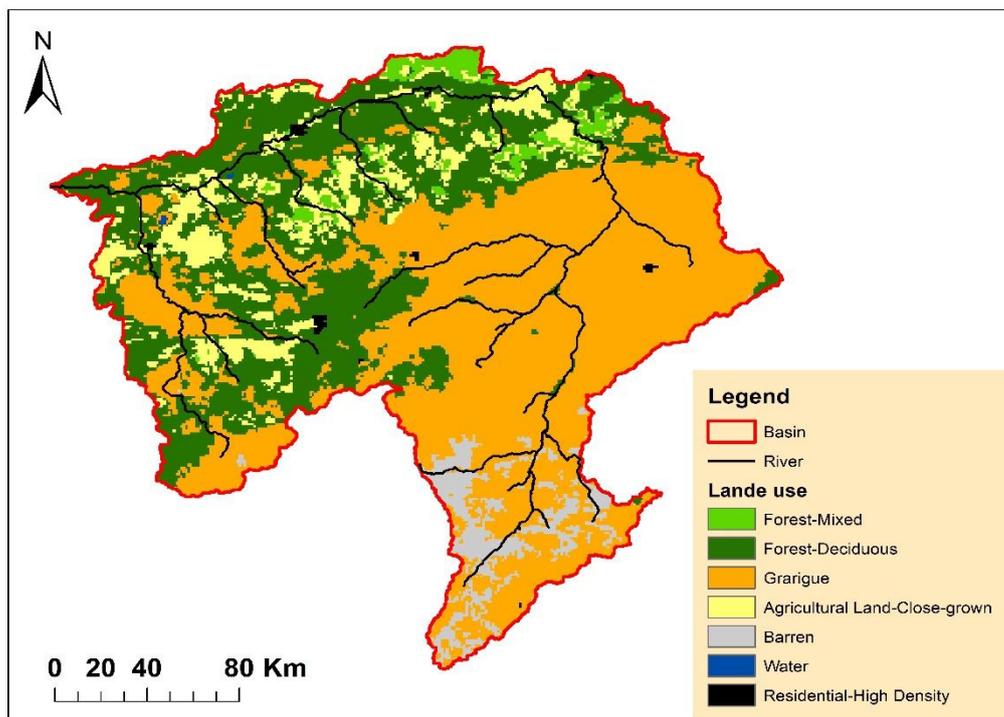


Figure 14 : Occupation des sols de bassin versant de Chélif
(http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php)

II.2.4 Les données météorologiques

Le CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) fournit les données climatiques pour la station d'Oued Cheliff (Figure 14) pour la période de 2003 à 2011. Ces données comprennent les précipitations, les températures minimales et maximales quotidiennes, l'ensoleillement, l'humidité et la vitesse du vent (Dile et al, 2014).

II.2.5 Mesure de débit

Les données mensuelles de débits liquides utilisées dans cette étude sont fournies par l'ANRH (Agence nationale des ressources hydriques). Ce sont les données enregistrées depuis 2003 jusqu'en 2011 au niveau de la station hydrométrique.

II.2.6 Penttes

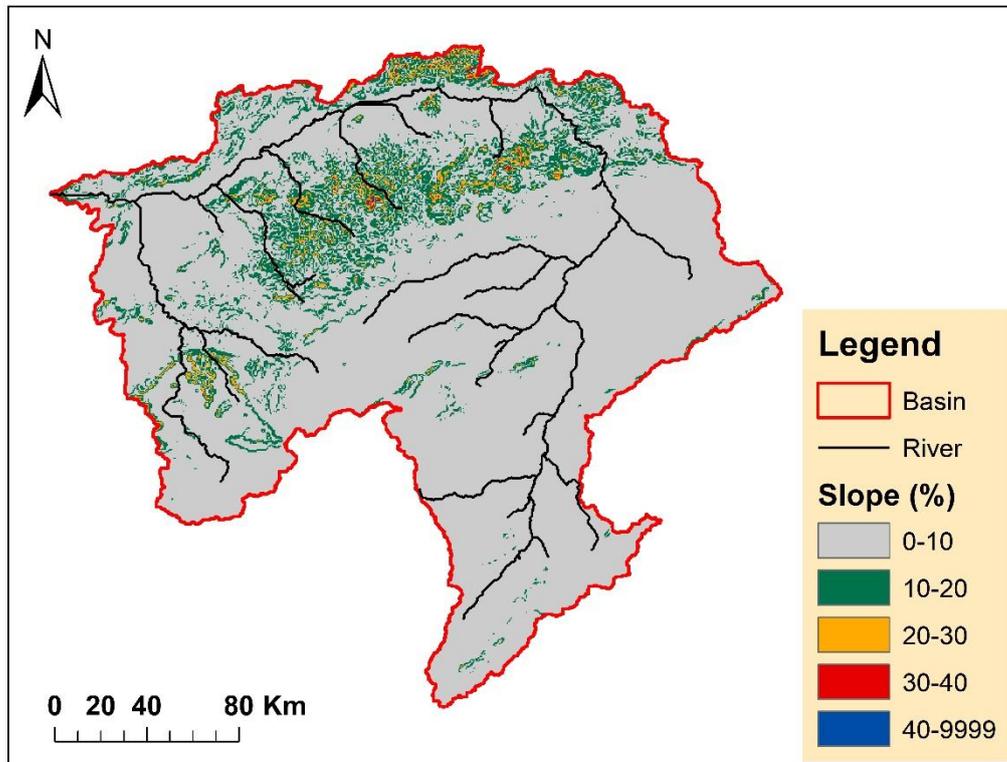


Figure 15 : Les différentes Classes de pente du bassin versant de Chélif

Les pentes du bassin ont été regroupées en quatre classes (Figure 15) suivantes :

- Pente < 10%
- 10% < pente < 20%
- 20% < pente < 30%
- 30% < pente < 40%
- Pente > 40%

Une fois que les couches de sol, d'occupation des sols et de pentes ont été intégrées dans le modèle SWAT, le bassin entier a été divisé en 69 sous-bassins discrétisés (Figure 16). Le découpage est représenté sur la carte suivante :

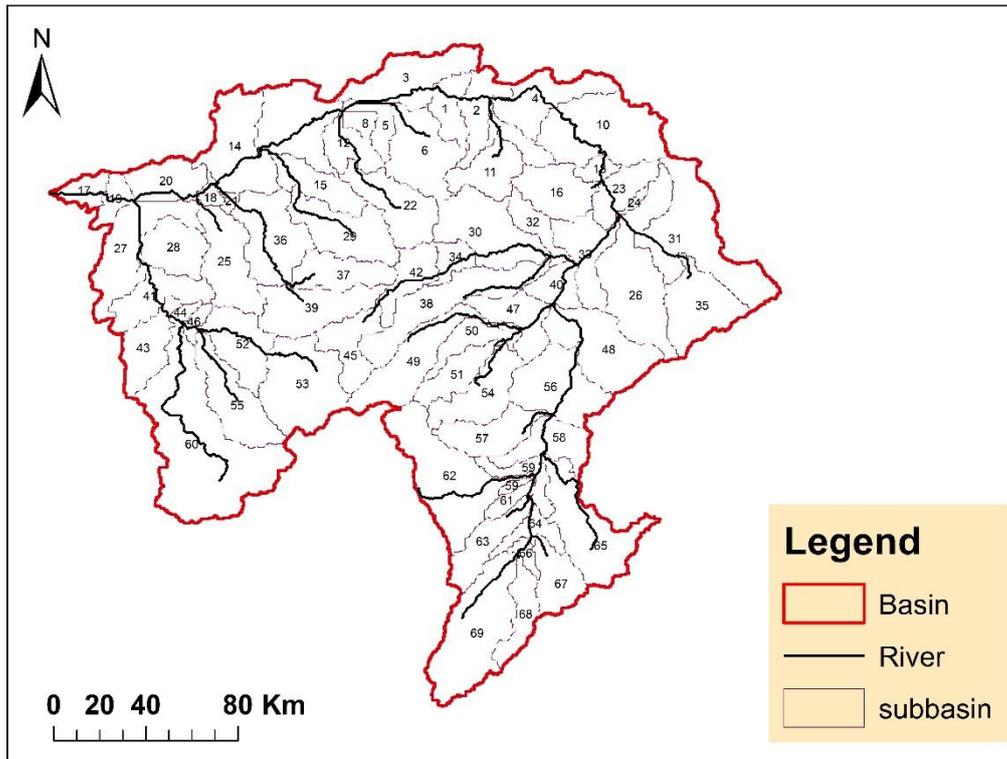


Figure 16 : Le réseau hydrographique et des sous bassins d’oued Chelif

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODE

Le travail réalisé dans cette étude a été fait selon les démarches présentées dans (la figure17) suivante.

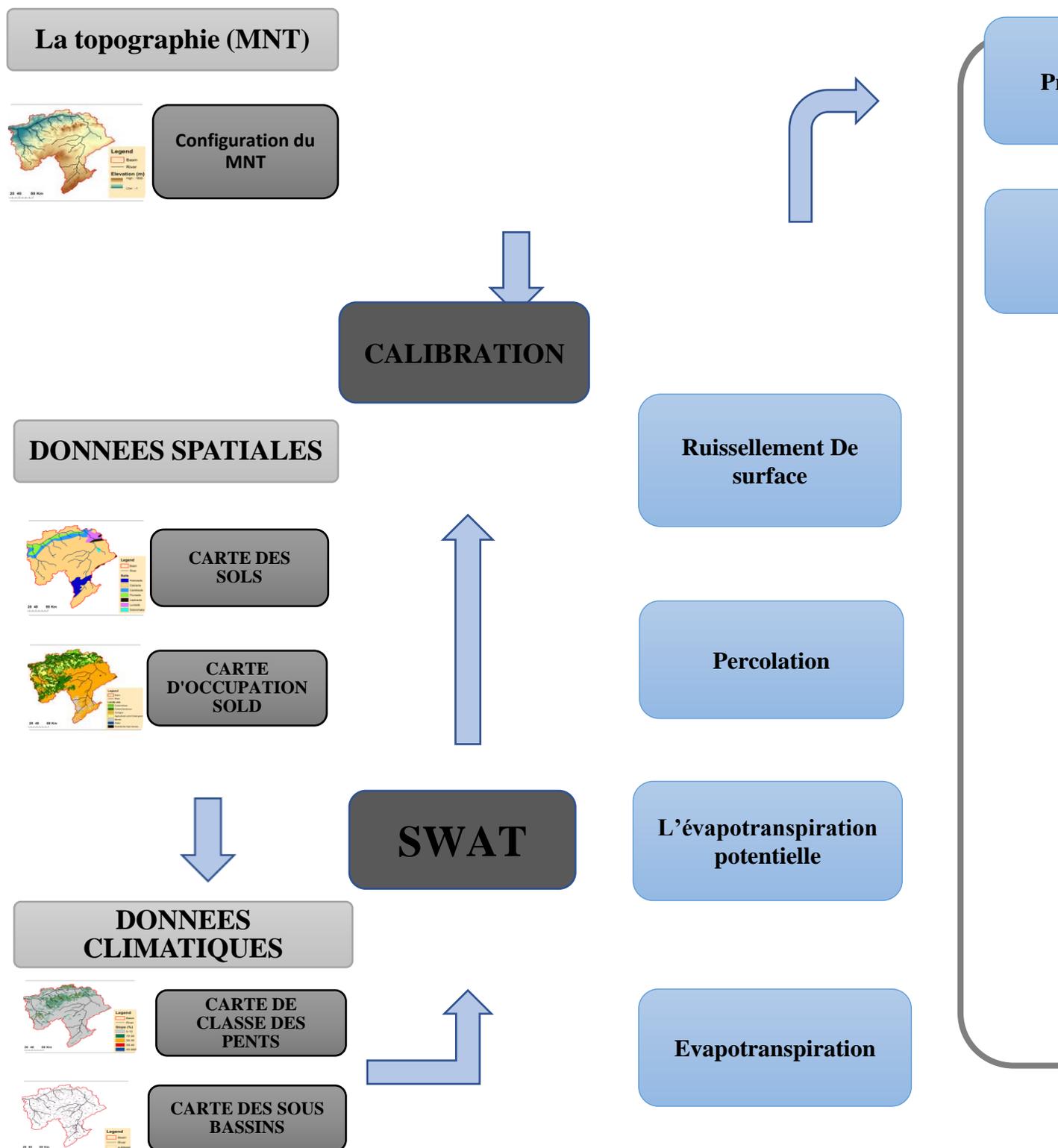


Figure 17 : Démarche de modélisation utilisée dans cette étude par le modèle SWAT

II.3. Calibration de l'hydrologie

La calibration sous SWAT est une opération d'optimisation de sa capacité prédictive à travers la confrontation des prédictions aux mesures réelles. La validation permet en outre d'évaluer la robustesse du modèle à travers l'évaluation de sa performance avec les paramètres choisis lors du calage et sur une période avec des caractéristiques différentes de celles utilisées lors de la phase de calage (*Tolson et al, 2004*).

Après saisie des données dans le modèle (modèle numérique de terrain, type de sol, type d'occupation du sol, pente, données climatiques), la modélisation commence. Dans cette étape, nous définissons le pas de temps des données de sortie. Dans cette étude, nous avons décidé d'utiliser un pas de temps mensuel pour nos données de sortie pour la période de simulation de 2003 à 2011.

La calibration manuelle commence par la sélection des paramètres à calibrer et de leurs plages initiales. Pour cette étape, nous avons pris en compte les bassins semi-arides nord-africains présentant des caractéristiques similaires à celles de notre bassin versant. Nous avons donc sélectionné les paramètres les plus couramment utilisés. La phase de calibrage est effectuée manuellement, où nous avons choisi les paramètres qui influencent le débit, comme présenté dans le chapitre des résultats.

Pour évaluer la qualité de la calibration, nous avons effectué une évaluation visuelle des hydrogrammes simulés et observés afin de déterminer la qualité de l'ajustement. Nous effectuons ensuite une évaluation quantitative en examinant les mesures de performance suivantes :

Le coefficient de Nash-Sutcliffe (NSE) représente la précision du modèle en simulant l'écoulement fluvial (*Nash et al, 1970*). Il est compris entre $-\infty$ et 1 calculé selon la formule suivante :

$$\text{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{Eq 2})$$

Avec

O_i : Les valeurs observées

S_i : Les valeurs simulées ;

\bar{O} : La moyenne des valeurs observées ;

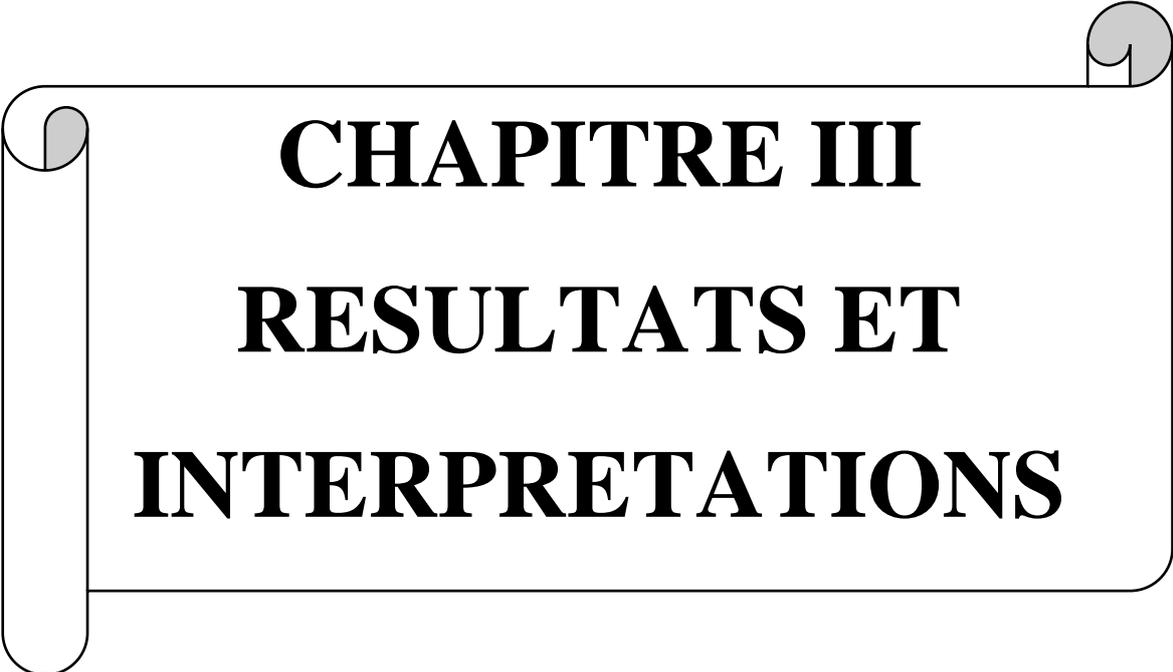
n : Le nombre des observations.

- Le coefficient de détermination, R^2 , donne une idée de l'efficacité de la corrélation entre les valeurs observées et simulées (*Arnold et al. 2012*). Il est compris entre 0 et 1. Lorsque sa valeur tend vers 1 cela indique une diminution de l'erreur de la variance. Il est calculé par la formule suivante :

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \right]^{0.5}} \right\} \text{ (Eq 3)}$$

Selon les critères de *Moriasi et al. (2007)*, la calibration est considérée comme satisfaisante dans le cas des simulations de débits liquides si les conditions suivantes sont remplies :

$$NS \geq 0.5 \quad R^2 \geq 0.5$$



CHAPITRE III
RESULTATS ET
INTERPRETATIONS

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1 Calibration de l'hydrologie

Le tableau suivant présente les paramètres calibrés dans notre projet (tableau03)

Tableau 02 : Les paramètres calibrés

Paramètre	Définition	Unité	Valeur initiale	Valeur calibrée
CN2mgt	Numéro de la courbe de ruissellement initiale du SCS pour la condition d'humidité II	Jour	35-98	65.22
GW.DELAY.gw	Délai de recharge de l'aquifère		31	800
GW.REVAP.gw	Coefficient d'évaporation à partir de la nappe souterraine		0.02	0.17
ALPHA.BF.gw	Coefficient d'évaporation à partir de la nappe souterraine	Jour	0.048	0.8
GWQMN.gw	Profondeur seuil de l'eau dans l'aquifère peu profond nécessaire pour que le débit de retour se produise (mm)	Jour	0.7-5000	1700
REVAPMN.gw	Profondeur d'eau seuil dans l'aquifère peu profond pour qu'un "revap" se produise	Mm	0-1000	1000
TRNSRCH.bs	Fraction des pertes du chenal principal qui pénètrent dans l'aquifère profond		0	0.1555
CH.K2.rte	Perméabilité des berges des canaux principaux	mm.h ⁻¹	0	150
CH.N2.rte	Coefficient de Manning des canaux principaux		0.014	0.02
ESCO.hru	Facteur sol d'évaporation du sol en fonction de la profondeur		0.95	0.8
EPCO.hru	Facteur végétal d'évaporation du sol en fonction de la profondeur		1	0.3

Nous avons calibré 11 paramètres dans notre projet ; il y a le numéro de la courbe de ruissellement initiale du Service des sols de conservation (SCS) pour la condition d'humidité II (CN2.mgt), et Cinq paramètre relatif à l'eau souterraine (GW.DELAY.gw, GW.REVAP.gw, ALPHA.BF.gw, GWQMN.gw et GWQMN.gw), Et il y a certains paramètres pour le routage qui sont (CH.K2.rte, CH.N2.rte) ,aussi il y a deux paramètres de Numéro de

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

l'unité d'intervention hydrologique(ESCO.hru, EPCO.hru) et il y a une seule paramètre de données sur les bassins versants (TRNSRCH.bsn)

Les résultats de la calibration sont illustrés dans (la figure 18), où les débits simulés et observés sont représentés dans la même intervalle. Il y a les valeurs de performance dans la partie calibration est le $NSE=0.40$ et $R^2=0.56$ ensuite la validation a donné les valeurs suivant le $NSE= 0.32$ et le $R^2 =0.47$.

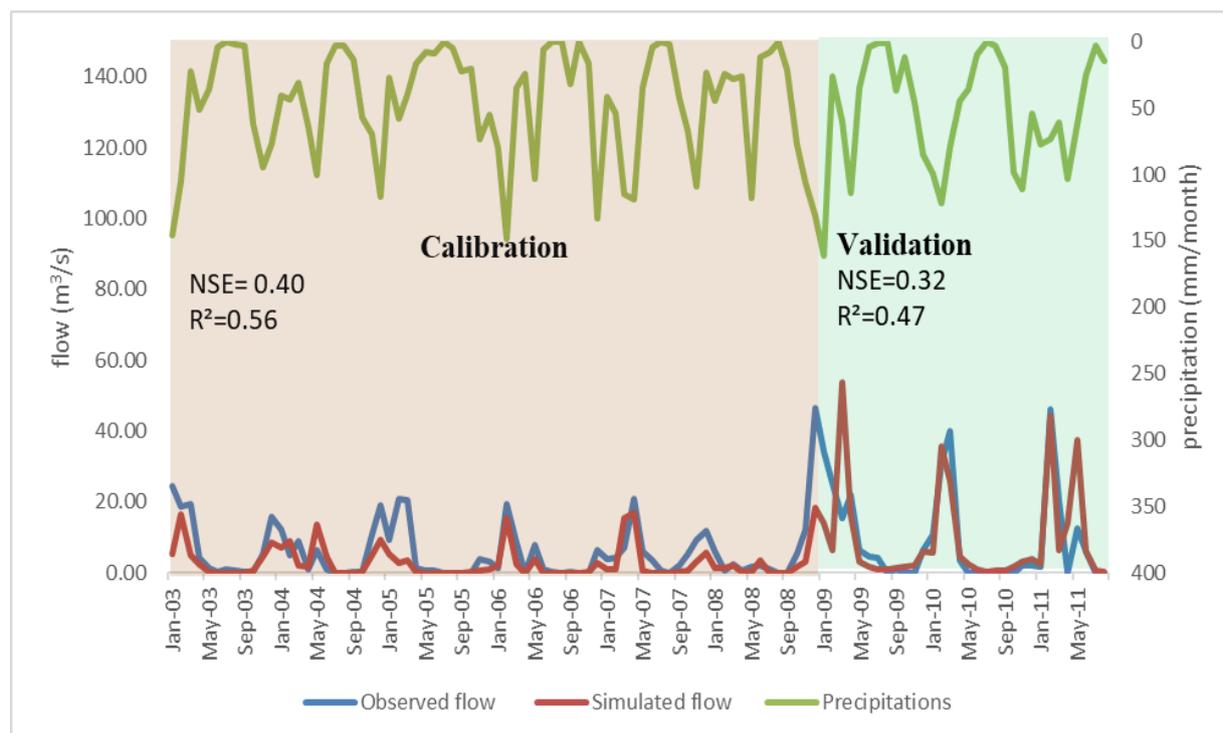


Figure 18 : calibration annuelle des débits observés et simulés dans le bassin versant de Chelif (2003-2011)

III.2 Le bilan hydrologique

Le bilan hydrologique modélisé par le modèle SWAT (figure 19) :

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

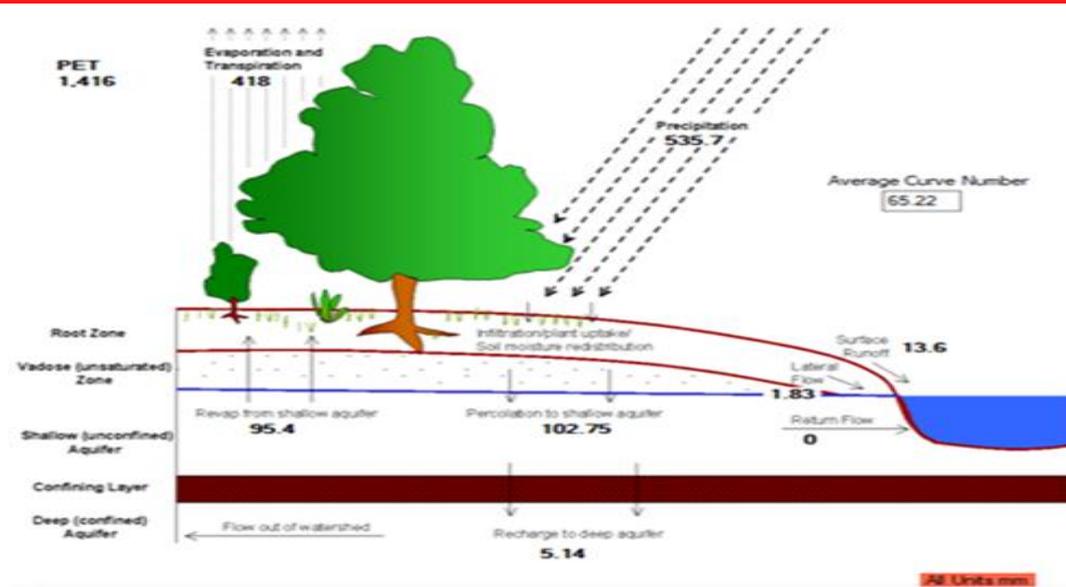


Figure 19 : bilan hydrologique modélisé par le model SWAT

Ces informations font référence aux résultats de modélisation hydrologique pour le bassin versant de Chélif (figure 19). La précipitation annuelle moyenne dans la région est de 535,7 (mm/an), tandis que l'évapotranspiration sont de 418 (mm/an), avec un potentiel d'évapotranspiration estimé à 1,416 (mm/an). Le ruissellement de surface, est de 13,6 (mm/an).

III.3 Précipitations

La figure 20 présente une carte de précipitations dans le bassin versant de Chélif. Les valeurs varient entre 35 et 219 mm par an, la partie aval de la région d'étude reçoit la plus grande quantité (146 et 219 mm/an), et la partie moyenne enregistre des valeurs entre 89 et 145 mm/an, alors que les précipitations de la partie amont sont les plus faibles (35 et 88 mm/an).

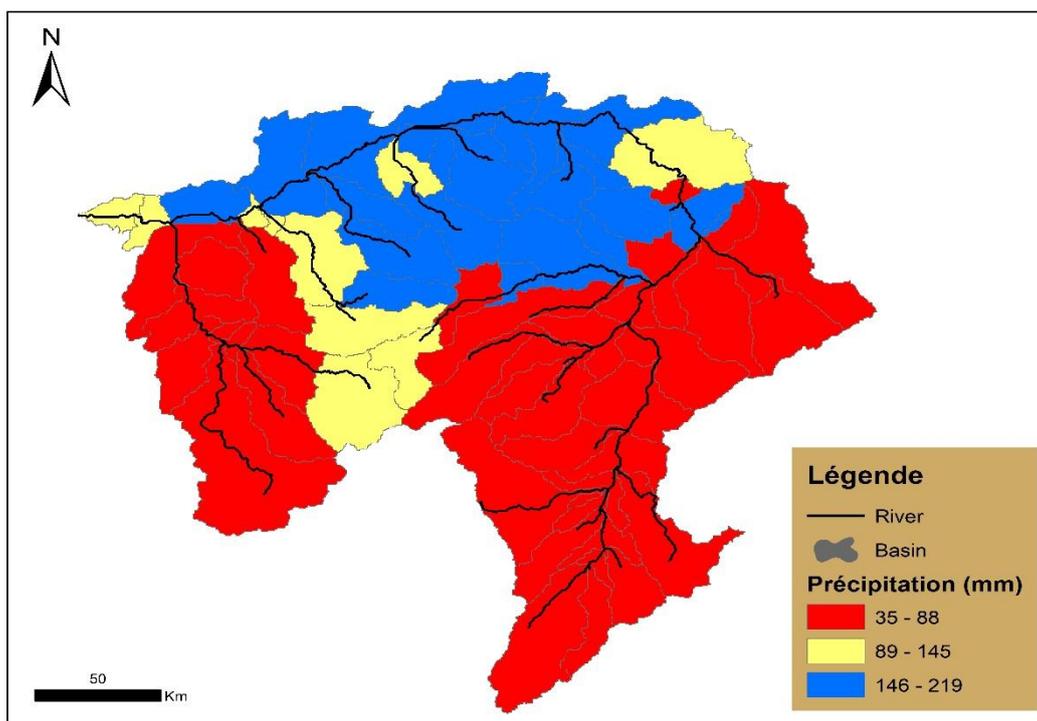


Figure 20 : précipitations moyennes annuelles d'oued Chélif.

III.4 Le débit

Le débit de notre site d'étude varie entre 0.01 et 7.56 m³ /s (figure 21). Les valeurs les plus élevés sont à l'aval du bassin (2.35 et 7.56 m³ /s) et les plus faibles sont à l'amont (0.01 et 0.99 m³/s).

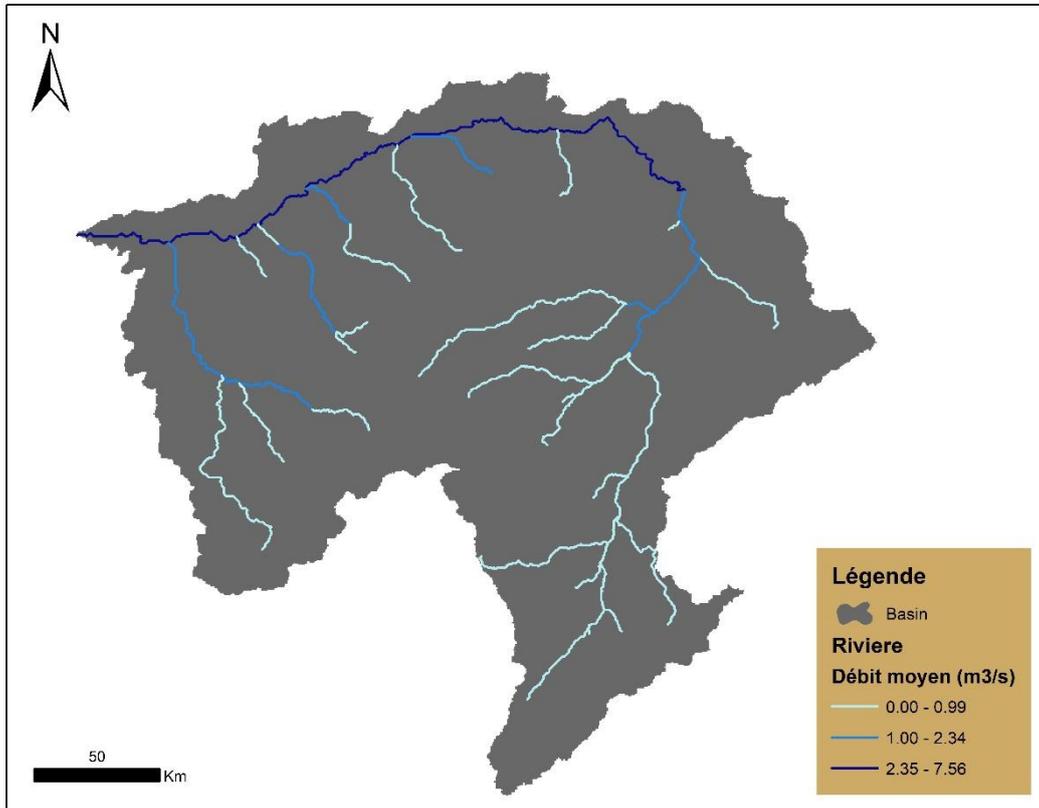


Figure 21 : Débit moyen annuelle d'Oued Chelif.

III.5 Ruissellement de surface

Le ruissellement de surface varie entre 2 et 49 mm par an (figure 22) pour la période étudiée. Les valeurs les plus élevées sont localisées dans la partie aval du bassin (20 et 49 mm/an), les valeurs moyennes dans la partie intérieure (10 et 19 mm/an) tandis que les plus faibles étaient à l'amont et un peu dans le nord du bassin (2 et 9 mm/an).

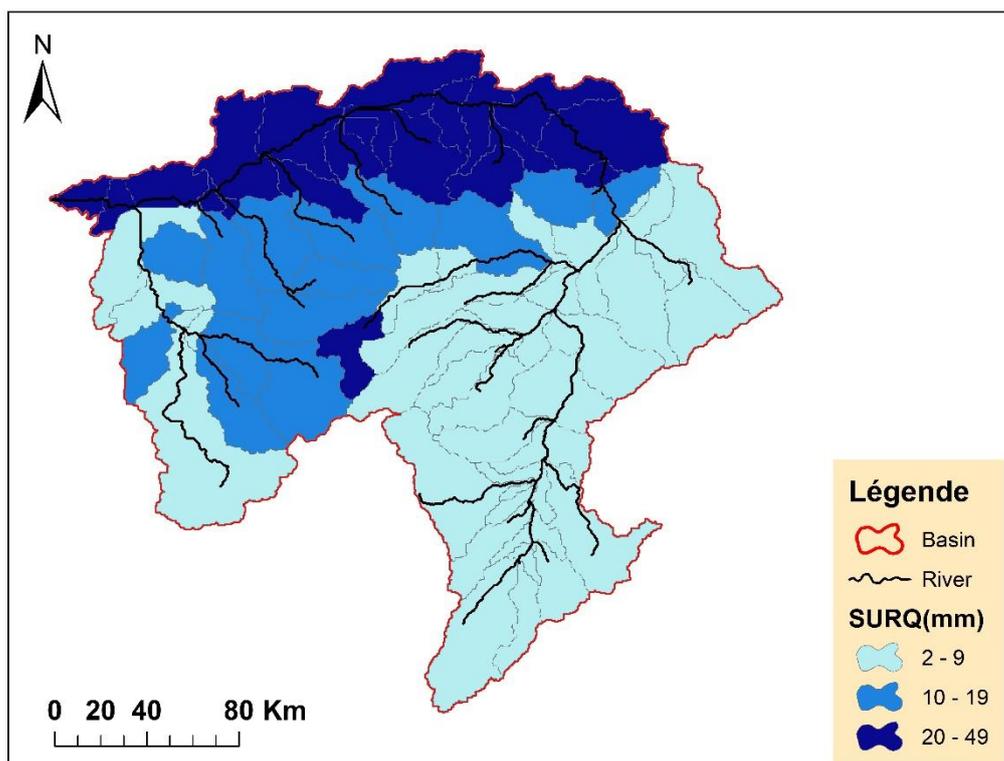


Figure 22 : Ruissellement de surface d'oued Chélif 2003-2011.

III.6 Percolations

La percolation du bassin versant de Chélif varie entre 35 et 219 mm par an (figure 23). Les valeurs élevées sont localisées dans la partie aval (89 et 219 mm), alors les plus faibles sont dans la partie amont et sud-ouest du site d'étude (35 et 88 mm).

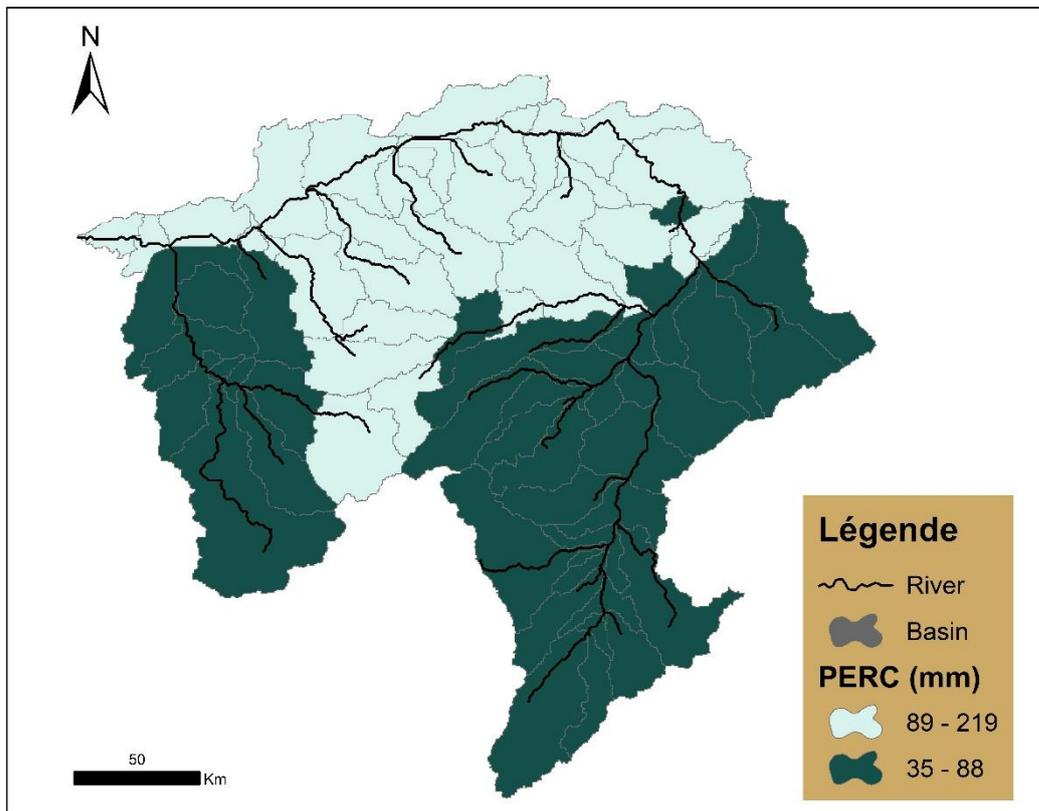


Figure 23 : Percolation de bassin versant de Chélif

III.7 Evapotranspiration

L'évapotranspiration varie entre 353 et 501 mm (figure 24) dans le bassin versant, la quantité la plus élevée localisée dans la partie aval et un peu dans la partie amont (410 et 501mm), alors que les plus faibles valeurs sont dans la partie amont et un peu dans l'aval (353 et 409 mm).

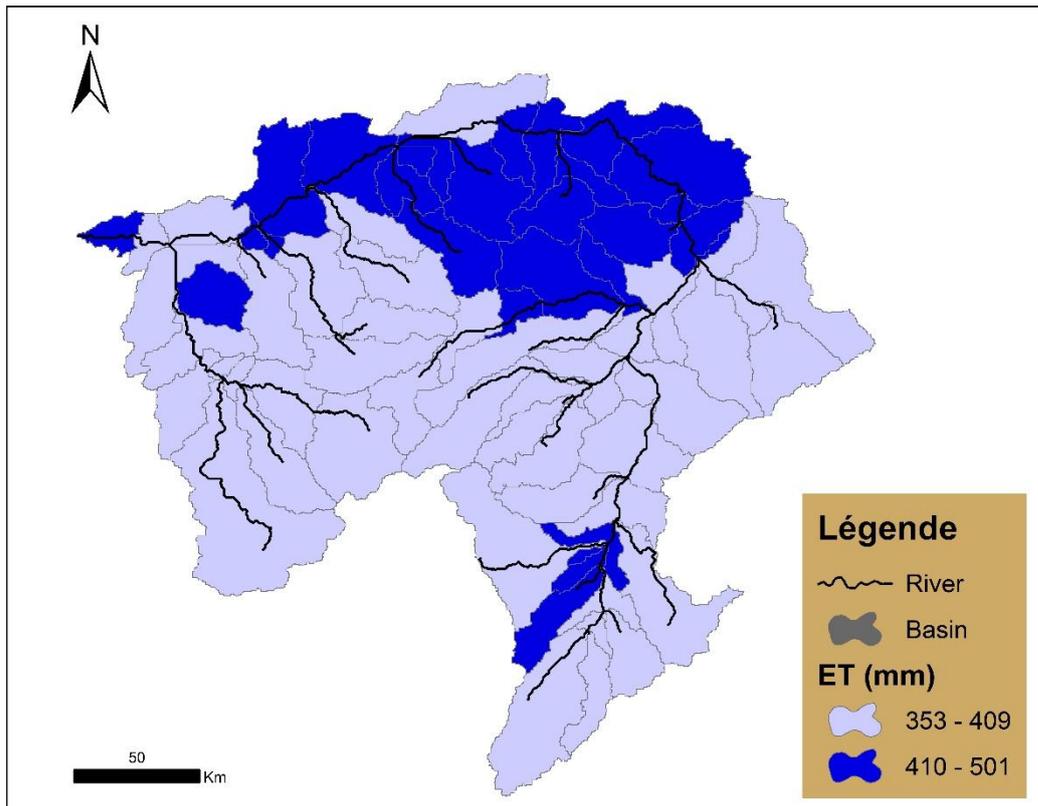


Figure 24 : Evapotranspiration d'oued Chélif.

III.8 Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle varie entre 1084 et 1471 mm par an (figure 25) dans le bassin, les plus grandes valeurs sont dans la partie avale (1084 et 1198 mm) alors que les faibles valeurs sont l'amont (1359-1360mm).

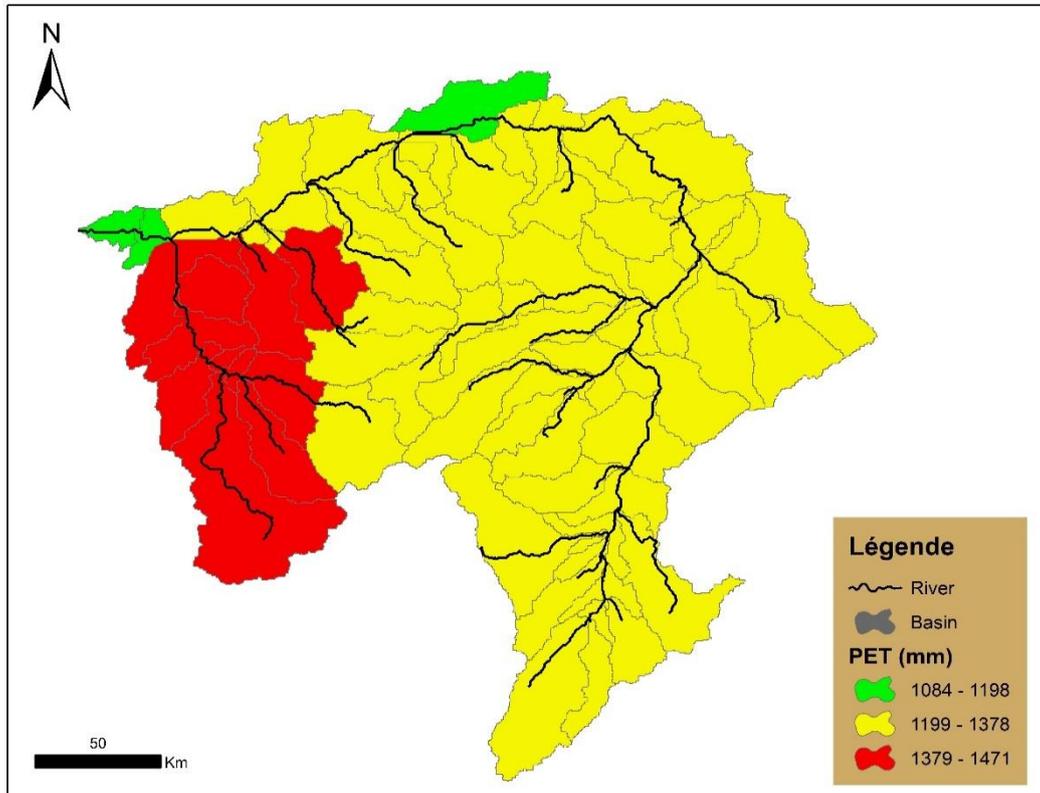
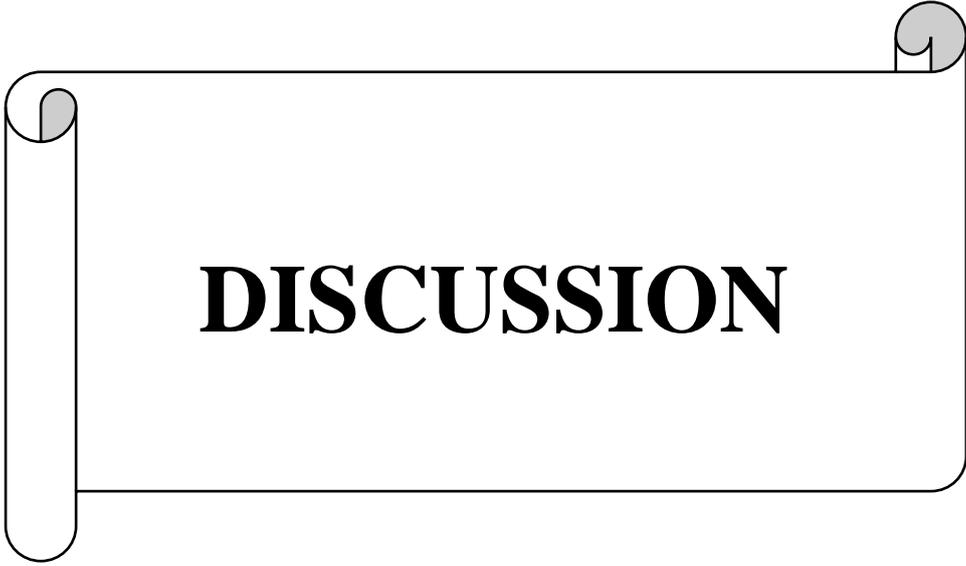


Figure 25 : Evapotranspiration potentielle d'oued Chélif



DISCUSSION

DISCUSSION

Discussion :

Ce travail a permis de modéliser les différentes composantes du cycle de l'eau dans le bassin versant Chélif à l'aide d'un modèle SWAT entre 2003 et 2011. Nous avons calibré 11 paramètres manuellement (tableau 3) : CN2.mgt (Numéro de la courbe de ruissellement initiale du SCS pour la condition d'humidité), GW.DELAY.gw (Délai de recharge de l'aquifère), GW.REVAP.gw (Coefficient d'évaporation à partir de la nappe souterraine), GWQMN.gw (Profondeur seuil de l'eau dans l'aquifère peu profond nécessaire pour que le débit de retour se produise mm), ALPHA-BF.gw (Coefficient d'évaporation à partir de la nappe souterraine), REVAPMN.gw (Profondeur d'eau seuil dans l'aquifère peu profond pour qu'un "revap" se produise), CH-K2.rte (Perméabilité des berges des canaux principaux), CH-N2.rte (Coefficient de Manning des canaux principaux), ESCO.hru (Facteur sol d'évaporation du sol en fonction de la profondeur), EPCO.hru (Facteur végétal d'évaporation du sol en fonction de la profondeur), et le dernière paramètre TRNRCH.bsn (Fraction des pertes du chenal principal qui pénètrent dans l'aquifère profond). C'est le même nombre de paramètres qu'a calibré Taleb et al., (2021) au Nord-est Maroc dans le bassin versant de Nakhla (110,8 km²), Echogdali et al., (2022) au sud-est marocain dans le bassin la Tata (1912.75 km²), Meref et al., (2022) au nord-est de l'Algérie dans le bassin versant K'soba (1539 km²) a calibré 13 paramètres, Kateb et al., (2019) au nord-est de l'Algérie dans le bassin de du barrage de Beni Harounont (6,394.64 km²) calibré 10 paramètres, alors que Zaibk et al., (2021) au nord-ouest de l'Algérie dans le bassin versant chelif a calibré 19 paramètres.

Le premier paramètre est numéro de courbe (CN2.mgt) exprimant le numéro courbes de ruissellement pour les exigences de l'USDA service de conservation des sols (1986) avec une fourchette (35-98) de 17% (paramètres de tableau 03). Selon plusieurs études impliquant différents modèles, le CN2.mgt dépend principalement de l'utilisation des terres et a été identifié comme un facteur important dans la production de ruissellement (Lin et al. 2014). Le deuxième paramètre du modèle est le GW-DELAY.gw exprime le délai entre le moment où l'eau retire le sol et pénètre dans l'aquifère peu profond (*Neitsch et al, 2011*), Le CH_K2 influence les échanges entre la rivière et les eaux souterraines et donc rend le cours d'eau moins imperméable (*Agnouy et al, 2019*), ESCO facteur de compensation d'évaporation du sol, ce paramètre permet de faire varier la quantité d'eau qui peut être extraite du sol pour répondre à l'évaporation (*Agnouy et al, 2019*). GW.REVAP.gw pour estimer la perte d'eau due à l'évaporation à partir de la nappe souterraine ; TRNSRCH.bsn est un paramètre qui représente la proportion des pertes d'eau provenant du chenal principal qui s'infiltrant dans

DISCUSSION

l'aquifère profond, est utilisé pour estimer les interactions entre le système de surface (comme les rivières ou les canaux) et les aquifères souterrains.

Selon (*Arnold et al, 2012*) il montre que les paramètres les plus utilisés sont GW-QMN – ALPHA-BF et REVAPMN. Puisque SWAT est un modèle complet qui simule les interactions de processus, de nombreux paramètres auront une incidence sur plusieurs processus. Par exemple, le CN influe directement sur le ruissellement de surface ; toutefois, comme les changements du ruissellement de surface, tous les éléments de l'équilibre hydrologique. L'érosion du sol et le transport des éléments nutritifs sont également directement touchés par le ruissellement de surface, tout comme la croissance des plantes et le cycle des éléments nutritifs. C'est la principale raison pour laquelle la plupart des méthodes d'étalonnage manuel commencent par le bilan hydrologique et l'écoulement fluvial (*Arnold et al, 2012*).

Les résultats de simulation de 2003 à 2011 ont montré que le modèle était capable de prédire adéquatement l'hydrologie du bassin versant, les débits mensuels ont montré une passable relation satisfaisante et les débits simulés et observés étaient dans le même intervalle (*Santhi et al,2001*) ; (*adapted by Bracmort et al,2006*) avec les observations pendant les périodes de calibration et de validation, ou les valeurs NSE entre 0.32 et 0.4 et R^2 entre 0,47 et 0.56 (figure19).

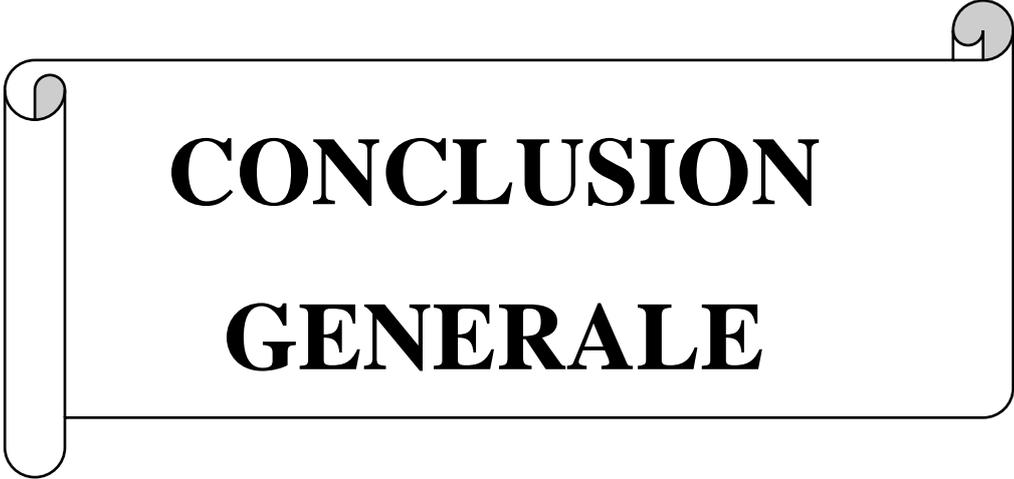
L'utilisation des données climatiques de stations réelles à la place des CFSR, l'augmentation des paramètres calibrées, la multi calibration et la calibration automatiques par SWAT-CUP auraient améliorées les valeurs des indices de performances. (*Zaibak et, al 2022*) dans la même zone d'étude a calibré 17 paramètres dans six stations (des barrages) a trouvé de meilleurs résultats par rapport à notre travail. Alors que Taleb et al., (2021) au Nord Maroc dans le bassin versant de Nakhla ont trouvé le NSE entre 0.73 et 0.81 et le R^2 comprise entre 0.70 et 0.80, Echogdali et al., (2022) au sud-est marocain dans le bassin la Tata ont trouvé le NSE entre 0.77 et 0.96 et le R^2 comprise entre 0.93 et 0.96,alors que Maref et al., (2022) au nord-est de l'Algérie dans le bassin versant K'sob ont trouvé le NSE entre 0.52 et 0.78 et le R^2 comprise entre 0.54 et 0.79, alors que Kateb et al., (2019) au nord-est de l'Algérie dans le bassin de du barrage de Beni Harounont a trouvé un intervalle de NSE entre 0.55 et 0.80 et le R^2 comprise entre 0.45 et 0.70.

Les composantes du cycle hydrologique modélisées du bassin versant étudié étaient conformes à celles publiées par l'ANRH en 2003, qui étaient basées sur une série

DISCUSSION

d'observations effectuées entre septembre 1965 et août 2002 dans le nord de l'Algérie (qui correspond à la région étudiée). Les valeurs comparées comprenaient précipitation (219 mm par an selon SWAT, et de 100 à 250 mm par an selon l'ANRH), le débit (7.56 m³ /s selon SWAT, et de 0 à 10 m³ /s selon ANRH), l'évapotranspiration potentielle (1 471 mm par an selon SWAT, et entre 1100 et 1500 mm par an selon l'ANRH) et le ruissellement de surface (49 mm par an selon SWAT, et entre 0 et 100 mm par an selon l'ANRH). Les précipitations entre 35 et 219 mm par an, la partie aval de la région d'étude reçoit la plus grande quantité (146 et 219 mm/an), et la partie intérieure est à précipitations moyennes (89 et 145 mm/an) en comparaison avec la partie amont et sud-ouest (35 et 88 mm/an),

Ces résultats confirment l'utilisation avec succès du modèle SWAT dans les environnements méditerranéens semi-arides, il sera un outil très efficace pour la gestion de l'eau dans notre pays (*Nerantzaki et al., 2015 ; Zettam et al., 2017 ; Zaibak et al., 2021 et Samimi et al., 2021*).



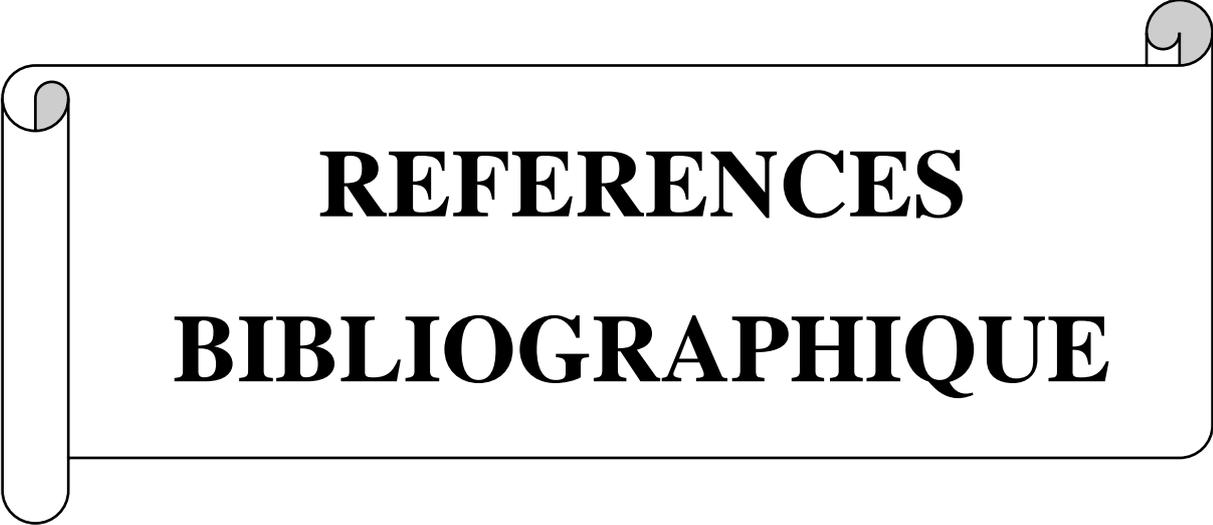
**CONCLUSION
GENERALE**

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Notre travail nous a permis d'appliquer et de tester le modèle hydrologique SWAT à l'échelle d'un bassin en Afrique du Nord. Le modèle agro hydrologique était testé pour reproduire le cycle de l'eau au bassin versant de Chélif, qui est le plus grand bassin de l'Algérie du nord soumis à un climat semi-aride méditerranéen, pour la période 2003-2011. Dans notre démarche, nous avons pris en compte un ensemble de paramètres importants, que nous avons calibrés manuellement. La modélisation a été effectuée sur une période de 9 ans, avec une phase de calibration allant de 2003 à 2009 suivis d'une phase de validation allant de 2009 à 2011. La simulation de débit pour cette période était proche de la réalité, elle a permis de mettre en évidence la capacité du modèle reproduire les différentes composantes du cycle hydrologique. Ces résultats montrent que le modèle simule adéquatement l'hydrologie de l'Oued Chélif. Nous démontrons ensuite que les composantes du bilan hydrique simulé par SWAT concordent avec les données de l'ANRH. Les résultats que nous avons obtenus ont été cartographiés, comme le débit dans différentes parties du réseau hydrographique, ainsi que d'autres paramètres comme les précipitations, le ruissellement de surface, percolation, l'évaporation et l'évapotranspiration dans le bassin d'étude, cela qui nous aide à mieux comprendre le cycle hydrologique du bassin de Chélif et à identifier les zones d'intérêt écologique et à orienter les décisions de conservation et de gestion.

En conclusion, notre étude a démontré que les données open source comme le modèle SWAT sont des outils très efficaces pour obtenir de bons résultats de simulation en Afrique du Nord. Elles proposent également des orientations de recherche pour les modélisateurs qui étudient les zones où les données sont limitées. Cette étude confirme que ces données sont des outils adaptés et convenables pour la compréhension du fonctionnement hydrologique et de la gestion des bassins versants en milieu semi-aride.



REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- ABH Cheliff Zahrez. 2003. Schéma-Directeur d'Aménagement Hydraulique de la Wilaya de Chlef Rapport de synthèse sur l'évaluation des ressources en eau et en sols : Synthèse Mission I, Chlef. P 5-13.
- ABH-CZ. 2004. Cadastre hydraulique, mission I. Agence de Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez, Algérie, 80 p.
- Agence du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez (ABH CZ) .2004. Cadastre hydraulique du bassin hydrographie du Cheliff - Aval du barrage de Boughzoul. Première partie : Haut et Moyen Cheliff. Algérie, 62 p.
- Agence du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez (ABH-CZ) .2020. <https://www.abh-cz.com.dz/publication.html>. Accessed 22 Jan 2020.
- Ait M'barek, S., Rochdi, A., Bouslihim, Y., Miftah, A. 2021. Multi-site calibration and validation of SWAT model for hydrologic modeling and soil erosion estimation: A case study in El Grou watershed. Morocco. *Ecological Engineering and Environmental Technology* ,22(6),45-52.
- Akoko, G., Le, T. H., Gomi, T., & Kato, T. 2021. A review of SWAT model application in Africa. *Water*, 13(9), 1313.p 2-3-5.
- Ambroise, B. 1998. Genèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu tempéré : 1-processus et facteurs. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 11(4), 471-496.
- ANBT (Agence Nationale des Barrages et Transferts) http://197.112.0.211/soudoud-dzair/index.php?action=esmap_vect&table=chahidgis_barrage&id=12.
- Aqnouy, M., El Messari, J. E. S., Ismail, H., Bouadila, A., Moreno Navarro, J. G., Loubna, B., & Mansour, M. R. A. 2019. Assessment of the SWAT model and the parameters affecting the flow simulation in the watershed of Oued Laou (Northern Morocco). *Journal of Ecological Engineering*, 20(4).
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., ... & Jha, M. K. 2012. SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508.
- Benkaci, S., Abir, D., Oumellal, A., & Remini, B. 2018. Modélisation de l'érosion du bassin haut et moyen Cheliff par l'application Model builder sur ArcGis. *J Mater Eng Struct*, 5, p 82.
- Benkaci, S., Abir, D., Oumellal, A., & Remini, B. 2018. Modélisation de l'érosion du bassin haut et moyen Cheliff par l'application Model builder sur ArcGis. *J Mater Eng Struct*, 5, 81-93.
- Bennis, S.2009. Hydrologie et hydraulique, 2eme edition, p 230.
- Biancamaria, S. 2009. Etude du cycle hydrologique des régions boréales et apports de l'altimétrie à large fauchée. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier-Toulouse III.
- Bouaichi, I.2008. Contribution à l'élaboration d'un abaque « érosion spécifique-surface-lame d'eau précipites » pour le bassin hydrographique de l'oued Chelif. Thèse magister ; université Saad dahlab de blida. P 67.
- Boudhraa, H. 2007. Modélisation pluie - débit à base géomorphologique en milieu semiaride rural Tunisien : Association d'approches directe et inverse. Thèse de Doctorat, Univ. 7 novembre Carthage (Tunisie), 227 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Bougara, H .2022. Hydrological modeling in Tafna Basin (North-west Algeria). Thèse de doctorat. Université de Tlemcen, p 2
- Bracmort, K. S., Arabi, M., Frankenberger, J. R., Engel, B. A., & Arnold, J. G. 2006. Modeling long-term water quality impact of structural BMPs. *Transactions of the ASABE*, 49(2), 367-374.
- Clarke, R.1973. A review of some mathematical models used in hydrology, with observations on their calibration and use. *Journal of hydrology*, 19(1), 1-20.
- Daniel, C., Le Boeuf, P, Dobbins et Abkowitz.2011. Watershed modèleing and itsapplications: A state-of-the-art review. *Open Hydrology Journal*, 5 (2): pp. 26-50.
- Derdous, O., Bouamrane, A., & Mrad, D. 2021. Spatiotemporal analysis of meteorological drought in a Mediterranean dry land: case of the Cheliff basin–Algeria. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(1), p 2.
- Dile, Y. T., R. Srinivasan. 2014. Evaluation of CFSR climate data for hydrologic prediction in data-scarce watersheds: an application in the Blue Nile River Basin. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 1-16. DOI: 10.1111/jawr.12182.
- Douglas-Mankin, K.R., Srinivasan, R., Arnold, J.G.2010. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model: Current developments and applications. *Trans. Asabe*, 53(5): 1423-1431.
- Echogdali, F. Z., Boutaleb, S., Taia, S., Ouchchen, M., Id-Belqas, M., Kpan, R. B., & Sajinkumar, K. S. 2022. Assessment of soil erosion risk in a semi-arid climate watershed using SWAT model: case of Tata basin, South-East of Morocco. *Applied Water Science*, 12(6), 137.
- Fu, B., Merritt, W. S., Croke, B. F., Weber, T. R., & Jakeman, A. J. 2019. A review of catchment-scale water quality and erosion models and a synthesis of future prospects. *Environmental modelling & software*, 114, 75-97.
- 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(4), 1211-1250.p 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), p 1.
- Gaume, E. 2002. Hydrologie de versants et de bassins versants et modélisation pluie-débit, Cours de DEA en Sciences et Techniques de l'environnement, Ecole Nationale des pontes et chaussés, France.
- Gaume, E., Bouvier, C. 2004. Analyse hydro-pluviométrique des crues du Gard et du Vidourle des 8 et 9 septembre 2002. *La Houille Blanche*, 90(6), 99-106.
- Gleick, P. 2003. Global freshwater resources: soft path solutions for the 21st century. *Journal of Science*, 302 : 1524-1528.
- Gnouma, R. 2006, Aide à la calibration d'un modèle hydrologique distribué au moyen d'uneanalyse des processus hydrologiques : application au bassin versant de l'Yzeron, thèse dedoctorat, institue nationale des sciences appliquées de Lyon- France, p 448.
- Gomer, D .1994. Ecoulement et érosion dans des petits bassins-versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. Dissertation, University of Karlsruhe.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Gray, D.M. 1972. Manuel des principes d'hydrologie pour l'avancement de l'hydrologie canadienne. Comité national canadien de la décennie hydrologique internationale, Ottawa.
- Gurtz, J., Baltensweiler, A., & Lang, H. 1999. Spatially distributed hydrotope-based modelling of evapotranspiration and runoff in mountainous basins. *Hydrological processes*, 13(17), 2751-2768.
- Henine, H. 2005. *Interfaçage entre un modèle hydrologique et un modèle hydrodynamique au sein d'un système d'information intégré sous web incluant les SIG*. Thèse de doctorat. Alger, Ecole Nationale Polytechnique ,57.
- Hingray, B., Picouet, C., & Musy, A. 2009. Hydrologie : Une science pour l'ingénieur (Vol. 21). PPUR presses polytechniques.
- Hubret P., Rémenérias G., Hydrologie. 2013. Encyclopædia Universalis .URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/hydrologie>.
- Janjić, J., & Tadić, L. 2023. Fields of Application of SWAT Hydrological Model—A Review. *Earth*, 4(2), 331-344,p 6 .
- Kateb, Z., Bouchelkia, H., Benmansour, A., & Belarbi, F. 2019. Hydrological modelling 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).
- Kouamé, E. C. G. 2019. Application du modèles SWAT pour la modélisation de l'écoulement dans un bassin versant Peu Jauge en zone soudano sahélienne (BURKINA FASO). *Mémoire de Master*, 2, p22.
- Lambert, R.1992. Géographie du cycle de l'eau, Géographie, Toulouse, Presses Universitaires du Mirail.
- Le Houerou H. N .1971. L'écologie végétale dans la région méditerranéenne. Institut agronomique méditerranéen, Bari.
- Lin B, Chen X, Chen Y and Liu M. 2014. Simulations and analysis on the eAects of landscape pattern change on Cood and low Cow based on SWAT model; *Acta Ecol. Sin.* 34 1772–1780.
- Maidment, D. R. 1996. GIS and hydrologic modeling-an assessment of progress. In *Third International Conference on GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, New Mexico*.
- Maref, N., Baahmed, D., Bemoussat, K., & Mahfoud, Z. 2022. SWAT model application for sediment yield modeling and parameters analysis in Wadi K'sob (Northeast of Algeria).
- Medane, K. (2012). Hydrologie et modélisation pluie-débit :cas du bassin versant de l'oued Boumessaoud (Tafna NW-Algerien). Thèse de doctorat. Université de Tlemcen.
- Meghraoui M. 1982. Étude néotectonique de la région nord-ouest d'El-Asnam : relation avec le séisme du 10 octobre 1980. Thèse de Doctorat de 3e cycle, université de Paris VII, France, p 210.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. et Veith, T.L. 2007. "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy inwatershedsimulations." *Trans. ASABE*, 50(3), 885-900.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Moulana, M. L., Hubert, A., Guendouz, M., El Ouahabi, M., Boutaleb, A., & Boulvain, F. 2021. Contribution to the sedimentology of the Messinian carbonates of the Chelif Basin (Boukadir, Algeria). *Geologica Belgica*, 24(1-2), P 86.
- Musy, A. 1999. Randin, N. Hydrologie-crues-inondations, chapitre 9.
- Musy, A. 2005. Cours d'hydrologie générale. Laboratoire d'hydrologie et Aménagements (HYDRAM), Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE), Ecole Polytechnique Fédérale (EPFL). [Cours Hydrologie générale - prof. André Musy \(epfl.ch\)](http://www.epfl.ch/~musy/)
- Musy, A., Christophe H., Emmanuel R. 2004. Hydrologie 1- Une science de la nature, une gestion sociétale 2^e édition revue et augmentée. Géocarrefour, 92(92/1),79-87.
- Mutenyo, I., Nejadhashemi, P., Woznicki, S., Giri, S. 2013. Evaluation of Swat Performance on a Mountainous Watershed in Tropical Africa. *Hydrol. Curr. Res.* 14, 1–7.
- Mzdane, K. 2012. Hydrologie et modélisation pluie-débit : cas du bassin versant de l'oued Boumessaoud (Tafna NW6Algerien). Thèse Doctorat dissertation.
- Namous, N., & Mokhtari, E. 2012. Variation spatio-temporelle des précipitations. Thème master. Université Larbi Ben M'hidi. P 21.
- Nash, J.E., Sutcliffe, V. 1970. River flow forecasting through conceptual modèles: Part I. A discussion of principles. *J. Hydrol.*, 10, 282–290.
- Neitsch S L, Arnold J G, Kiniry J R and Williams J R 2011 Soil and water assessment tool, theoretical documentation, version 2009; Grassland Soil Water Res. Lab.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. et Williams, J. R. 2005. "Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation, version 2005." Grassland, Soil and Water Research Laboratory - Agricultural Research Service. Blackland Research Center – Texas Agricultural Experiment Station. P. 494.
- Nerantzaki, S., Giannakis, G., Efstathiou, D.; Nikolaidis, N., Sibetheros, I., Karatzas, G., Zacharia, I. 2015. Modeling suspended sediment transport and assessing the impacts of climate change in a karstic Mediterranean watershed. *Sci. Total Environ.* 538, 534 288–297.
- Oeurng, C. 2010. "Transport des matières en suspension et du carbone organique à l'échelle d'un bassin versant agricole : analyse de la dynamique et modélisation agro-hydrologique (SWAT)." Université Toulouse III - Paul Sabatier. 203p.
- OMM .1992. Organisation météorologique Mondiale. UNESCO, Glossaire international d'hydrologie. Publié conjointement par l'OMM et l'UNESCO. Deuxième édition.
- OMM. 2005. Organisation météorologique Mondiale. Directives pour la formation professionnelle des personnels de la météorologie et de l'hydrologie opérationnelle, volume ii - hydrologie, Genève, OMM.
- ONS : Office National des Statistiques. 2017. <https://www.ons.dz/>.
- Payraudeau, S. 2002. Modélisation distribuée des flux d'azote sur des petits bassins versants méditerranéens. 2002. Thèse de doctorat. ENGREF (AgroParisTech), p37-38.
- Perrodon, A. 1957. Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale. Thèse de doctorat, Nancy Univ., Publication du Service de la Carte Géologique de l'Algérie, Bulletin No 12, 1-328 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Roche, P. A., Miquel, J., Gaume, E. 2012. Hydrologie quantitative : Processus, modèles et aide à la décision. Springer Science & Business Media.
- Rockwood, D. M., Nelson, M. L. 1966. Computer application to streamflow synthesis and reservoir regulation. In *International Commission on Irrigation and Drainage, Sixth Congress*.
- Rossi, L. 1998. Qualité des eaux de ruissellement urbaines. Thèse de doctorat. Verlag nicht ermittelbar.
- Roudi-Fahimi, F., Kent, M.M. 2007. Challenges and Opportunities— The Population of the Middle East and North Africa. *Population Bulletin*, 62(2).
- Samimi, M., Mirchi, A., Moriasi, D., Ahn, S., Alian, S., Taghvaeian, S., & Sheng, Z. 2020. Modeling arid/semi-arid irrigated agricultural watersheds with SWAT: Applications, challenges, and solution strategies. *Journal of Hydrology*, 590, 125418.
- Santhi, C., Arnold, J., Williams, J., Dugas, W., Srinivasan, R., & Hauck, L. M. (2001). Validation of the swat model on a large rwer basin with point and nonpoint sources 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(5), 1169-1188.
- Seckler, D., Molden, D., Barker, R. 1999. Water Scarcity in the Twenty-First Century. *International Journal of Water Resources Development*. 15 (1/2): 29-42.
- Setegn, S., Srinivasan, R., Melesse, A. M., & Dargahi, B. 2010. SWAT model application and prediction uncertainty analysis in the Lake Tana Basin, Ethiopia. *Hydrological Processes: An International Journal*, 24(3), 357-367.
- Taleb, R. B., Naimi, M., Chikhaoui, M., & Sabir, M. 2021. Utilisation de SWAT pour la modélisation hydrologique et l'évaluation du rendement des sédiments dans le bassin versant de Nakhla, Maroc. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 9(4), 616-628.
- Tardy Y. 1986. Le cycle de l'eau. Climats, paléoclimats et géochimie globale. *Norvis*, 138(1), p 48.
- Terink, W., Immerzeel, W.W., Droogers, P. 2013. Climate change projections of precipitation and reference evapotranspiration for the Middle East and Northern Africa until 2050. *International Journal of Climatology*. 33, 14, 3055-3072.
- Tolson, B. A., & Shoemaker, C. A. 2004. Watershed modeling of the Cannonsville basin using SWAT2000: Model development, calibration, and validation for the prediction of flow, sediment, and phosphorus transport to the Cannonsville Reservoir. *School of Civil and Environmental Engineering*.
- Van Griensven, A., Ndomba, P., Yalew, S., Kilonzo, F. 2012. Critical Review of SWAT Applications in the Upper Nile Basin Countries. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16, 3371–3381.
- Wang, Z., Cao, J., & Yang, H. 2021. Multi-time scale evaluation of forest water conservation function in the semiarid mountains area. *Forests*, 12(2), 116, p 5.
- Zaibak, I., & Meddi, M. 2022. Simulating streamCow in the Cheliff basin of west northern Algeria using the SWAT model, p 2-7.
- Zettam A., Taleb A., Sauvage S., Boithias L., Belaidi N. and 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.

الملخص:

والهدف من هذا العمل هو النمذجة الهيدرولوجية وتحقيق التوازن المائي لمستجمعات المياه في واد شليف (43 750 كم²) الموجودة في الشمال الغربي الجزائري باستخدام نموذج أداة تقييم التربة والمياه. ونفذت النمذجة على مدى فترة بين عامي 2011 و2003، وهي الفترة بين عامي 2003 و2009 للمعايرة، والفترة بين عامي 2009 و2011 للمصادقة عليها. كانت المعايرة والتحقق مرضية (NSE بين 0.32 و0.40 و R² بين 0.47 و0.56)، سمحت النتائج التي تم الحصول عليها أولاً وقبل كل شيء بتحديد وفهم التوازن المائي على مختلف نطاقاته المكانية - التدفقات الزمنية من 0,01 إلى 7,56 متر مكعب/ثانية، الجريان السطحي يتراوح من 2 إلى 49 ملم في السنة، يتراوح الترشح من 35 إلى 219 ملم في السنة، ويتراوح التبخر من 353 إلى 501 ملم في السنة، ويتراوح التبخر المحتمل من 1084 إلى 1471 ملم في السنة.

الكلمات المفتاحية : النمذجة الهيدرولوجية؛ واد الشليف شبه قاحلة. شمال غرب الجزائر SWAT

Abstract:

The objective of this work is the hydrological modelling and the realization of the water balance of the Oued Chelif watershed (43,750 km²) located in the Algerian Northwest using the model SWAT (Soil and Water Assessment Tool). The modelling was carried out over a period between 2011 and 2003, the period between 2003 and 2009 for calibration and between 2009 and 2011 for validation. The calibration and validation were satisfactory (NSE between 0.32 and 0.40 and R² between 0.47 and 0.56), the results obtained allowed first of all to establish and understand the water balance at its various spatial scales-temporal flows range from 0.01 to 7.56 m³/s, surface runoff ranges from 2 to 49 mm per year, percolation ranges from 35 to 219 mm per year, evapotranspiration ranges from 353 to 501 mm per year and potential evapotranspiration ranges from 1084 to 1471 mm per year.

Key words: Hydrological modelling; SWAT; Wadi Chelif; Semi-Arid; North west Algeria

Résumé :

L'objectif de ce travail est la modélisation hydrologique et la réalisation du bilan hydrique du bassin versant Oued Chélif (43,750 km²) situé dans le Nord-Ouest Algérien en utilisant le modèle SWAT (Soil and Water Assessment Tool). La modélisation a été réalisée sur une période entre 2011 et 2003, la période entre 2003 et 2009 pour la calibration et entre 2009 et 2011 pour la validation. La calibration et la validation ont été satisfaisante (Le NSE entre 0.32 et 0.40 et le R² entre 0.47 et 0.56), les résultats obtenus ont permis tout d'abord d'établir et de comprendre le bilan hydrique à ses différentes échelles spatio-temporelles, le débit varie entre 0.01 et 7.56 m³ /s, le ruissellement de surface varie entre 2 et 49 mm par an, la percolation varie entre 35 et 219 mm par an , l'évapotranspiration entre 353 et 501 mm par an et l'évapotranspiration potentielle entre 1084 et 1471 mm par an.

Mots clés : La modélisation hydrologique ; SWAT ; Oued Chélif ; Semi-aride ; Nord-Ouest de l'Algérie