

République Algérienne Démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة ابو بكر بلقايد-تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN
كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الارض و الكون
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

ABDI AMEL

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Ecologie et environnement

Thème :

**Modélisation du bilan hydrique du bassin versant du Chouly
avec un modèle hydroagroenvironnemental**

Soutenu le 07/07/2021, devant le jury composé de :

Président	TALEB Amina	professeur	Université de Tlemcen
Encadrant	ZETTAM Amine	M.C.B	Université de Tlemcen
Examineur	KECHIARI Réda	M.C.A	Université de Tlemcen

Année universitaire 2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, Qui ma donnée la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

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 :

- Mademoiselle **Taleb Amina** professeure 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.

Je n'oublierai pas de remercier Monsieur **Babali ibrahim** l'ors de sortie sur terrain qui nous a permit de reconnaître les espèces végétale de Oued Chouly, la famille **Benkaddour** pour leur accompagnement et assistance pour la découvert de ces lieux de chouly, et Monsieur **Ibrahim zenagi** pour son aide dans l'installation du modèle SWAT et aussi dans le coté informatique.

Dédicaces

Je tiens c'est avec plaisir que je dédie ce modeste travail :

A ma très chère grande mère que dieu sa donne une long et joyeuse vie

A ma mère pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices

A mon père qui a été mon ombre durant toutes les années des études, qui a veillé a me donner l'aide, a m'encourager, et a me protéger,

Que dieu les gardes et les protèges

A mes chères sœurs, A mon cher frère

A mon tonton Moustafa

A tout ma famille et mes amis

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.*

Amel

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	2
CHAPITRE I: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	5
I.1 Hydrologie	6
I.2 Le cycle de l'eau	6
I.2.1 Processus de cycle hydrologique	9
I.3 La modélisation hydrologique	10
I.3.1 Définition d'un modèle	10
I.3.2 L'objectif de la modélisation hydrologique	12
I.3.3 L'élaboration d'un modèle	13
I.3.4 La modélisation des processus hydrologique	14
I.3.5 Classification des modèles hydrologique	15
I.4. SWAT (Soil and Water Assessment Tool).....	18
I.4.1 Le choix de modèle	18
I.4.2 Présentation de modèle SWAT.....	18
I.4.3 Organisation de modèle SWAT	19
I.4.4 L'application de modèles aux niveaux mondiale	24
CHAPITRE II: MATERIELS ET METHODE	27
II.1 Présentation de bassin versant d'oued Chouly	28
II.1.1 Hydrographie.....	29
II.1.2 Hydrologie.....	29
II.1.3 Géologie	30
II.1.4 Relief et topographie.....	30
II.1.5 Pédologie.....	31
II.1.6 Occupation de sol	31
II.2. Données utilisées en entrée pour la modélisation.....	32
II.2.1 Les données topographiques	32

II.2.2 Type de sol	33
II.2.3 Occupation des sols	34
II.2.4 Les données météorologiques	35
II.2.5 Mesure de débit	35
II.2.6 Pentes	35
II.3. Calibration de l'hydrologie.....	39
CHAPITRE III:RESULTATS ET INTERPRETATIONS	41
III.1 Calibration de l'hydrologie	42
III.2 L'hydrologie d'Oued Chouly	43
III.3 Le débit.....	44
III.4 spacialisation des précipitation.....	45
III.5 Ruissellement de surface.....	46
III.6 L'humidité de sol.....	47
III.7 L'évapotranspiration	48
DISCUSSION	50
CONCLUSION GENERALE	53
REFERENCES.....	55
BIBLIOGRAPHIQUE	55

Liste des figures

Figure 1 processus de cycle hydrologique.....	7
Figure 2 Le cycle hydrologique.....	8
Figure 3 Les variables d'un modèle hydrologique.....	11
Figure 4 Schéma d'un modèle hydrologique.....	12
Figure 5 Schématisation des principaux flux verticaux et latéraux pris en compte dans les modèles hydrologique de bassin versant.....	14
Figure 6 La structure de modèle SWAT et la définition des Hus.....	20
Figure 7 Phases de cycle hydrologique modélisé par SWAT.....	20
Figure 8 Schéma de cycle hydrologique modélisé par SWAT.....	22
Figure 9 Phase fluviale représenté par modèle SWAT.....	23
Figure 10 Les données d'entrée et de sorti de modèle SWAT	24
Figure 11 Nombre de documents trouvé dans la base de données de terrain environnemental Scopus de 2003 à 2008, montrant les documents par modèles publiés dans le domaine.....	25
Figure 12 Application de modèle SWAT dans les régions agricoles irriguées aride/semi-aride 11 dans 24 pays, montrant la distribution mondiale et les foyers thématiques des études sélectionnées.....	26
Figure 13 Carte de localisation de bassin versant d'oued Chouly.....	29
Figure 14 Carte de modèle numérique de terrain (30×30m).....	33
Figure 15 Carte des sols de bassin versant de Chouly.....	34
Figure 16 Carte d'occupation des sols de bassin versant de Chouly	35
Figure 17 Carte de différentes classes de pente du bassin versant de Chouly	36
Figure 18 Carte de réseau hydrographique et des sous bassin d'oued Chouly.....	37
Figure 19 Démarche de modélisation utilisée dans cette étude par le modèle SWAT.....	38
Figure 20 Calibration mensuel des débits observé et simulé a la station de jaugeage (2003-2008).....	43
Figure 21 Hydro-gramme d'oued Chouly modélisé par SWAT (PERC=les précipitations; SURQ=ruissellement de surface ; LATQ=l'écoulement latérale/et GWQ=l'eau souterrain).....	43
Figure 22 Carte de débit d'oued Chouly pour la période 2003-2008.....	44

Figure 23 Carte des précipitation moyennes annuelles d'oued Chouly pour la période (2003-2008).....	45
Figure 24 Carte de ruissellement de surface d'oued Chouly pour la période (2003-2008)....	46
Figure 25 Carte d'humidité de sol moyenne annuelle pour la période de (2003-2008).....	47
Figure 26 Carte d'évapotranspiration d'oued Chouly pour la période (2003-2008).....	48
Figure 27 Carte d'évapotranspiration potentielle d'oued Chouly (2003-2008).....	49

Liste des tableaux

Tableau 01 Modèles des bassins.....	17
versants- Principales caractéristiques.....	18
Tableau 02 les paramètres calibrés.....	42
Tableau 03 Les résultats de l'hydrologie modélisé par SWAT et par l'ANRH.....	52

Liste des abréviations

ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques -Algérie- ;

FAO: Food and agriculture organization;

MNT : Modèle numérique de terrain ;

NSE: Nash- Sutcliffe efficiency;

SWAT: Soil and Water Assessment Tool.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

L'importance de l'eau en tant que support de vie et de facteur régulateur du développement d'un pays est universellement reconnue. Il est nécessaire de la quantifier et de la gérer aussi rigoureusement que possible (Gherissi et al., 2013).

La demande en eau est en augmentation permanente en parallèle avec l'évolution de la population et son besoin en cette ressource vitale. Elle a augmenté d'environ 1 % par an en fonction de la croissance démographique, le développement économique et l'évolution des modes de consommation, entre autres facteurs, et elle continuera à croître considérablement au cours des deux prochaines décennies (ONU, 2018). La demande industrielle et domestique en eau augmentera plus rapidement que la demande agricole, bien que l'agriculture reste le plus grand consommateur global. La grande majorité de la demande croissante en eau se produira dans les pays en développement ou émergents (ONU, 2018). Cependant, la raréfaction des ressources en eau a engendré des conflits entre usages et usagers (domestiques, agricoles et industriels). Elle complique de plus en plus les perspectives de développement des pays. D'ailleurs en 2005, 2,8 milliards de personnes habitaient dans des régions en situation de stress hydrique sévère. Ce nombre devrait augmenter de 1 milliard d'ici 2030 pour atteindre 3,9 milliards, soit 47 % de la population mondiale (Kherbache, 2014).

L'Afrique du Nord située au Sud du bassin méditerranéen; région semi-aride voire aride est parmi les régions pauvres en eau, en raison des précipitations inférieures à 600mm en moyenne et inégalement réparties (Kettab, 2003). L'Algérie est parmi les pays nord de bassin méditerranéen qui souffre de cette pénurie d'eau marquée par des écoulements caractérisés par une irrégularité saisonnière et interannuelle importante et par une violence et une rapidité des crues (kettab et al., 2008).

La gestion intégrée des ressources en eau est donc un processus systématique pour le développement durable, l'attribution et le suivi de l'utilisation des ressources en eau dans le contexte des objectifs sociaux, économiques et environnementaux (Khammoudj et al., 2016).

De nombreux usages et activités sont dépendants de la ressource en eau, en terme quantitatif et qualitatif. Il est donc nécessaire pour un territoire, et ses acteurs, de connaître l'évolution de cette ressource au cours du temps au sein du bassin versant et de mettre en place des mesures de gestion pour sa préservation ou des actions correctives pour sa

reconquête (Andro, 2019). Pour faire face à ce défi et pour réaliser cette évolution, un ensemble d'outils d'aide à la gestion et à la décision est développé permettant de mieux cerner le fonctionnement des hydro-systèmes naturels et le devenir de l'eau dans son environnement, et aussi pour une meilleure connaissance de la répartition spatiale et temporelle des flux d'eau et des matières et composés qu'elle véhicule à l'échelle du bassin.

Dans ce contexte, la modélisation hydrologique est l'outil le plus adéquat pour comprendre le cycle de l'eau et les processus qui se déroulent, et aussi de construire une représentation simplifiée de la réalité. L'outil de modélisation mis en œuvre dans cette étude est le modèle SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (Arnold et al., 1998), le modèle est basé sur une conception physique au lieu d'une conception basée sur la statistique (Arnold et al., 2012). L'application d'une modélisation spatiale à base physique permet la connaissance des caractéristiques physiques du bassin étudié (Kharchaf, 2013). SWAT est Plus adapté au contexte agricole et à la simulation sur de longue période de temps à l'échelle de bassin versant.

SWAT a été largement utilisé dans les régions Nord africaines à petite et a grande échelle pour modéliser l'hydrologie et d'autre soluté comme Bouraoui et al (2005) au bassin de Medjerda au Tunisie, Taia (2015) au bassin versant d'Oued Beht aux Nord-Ouest de Maroc, , Zettam et al (2020) dans le bassin de Tafna aux Nord-Ouest de l'Algérie, Ben Salah et al (2016) au bassin de Wadi Hatab aux Tunisie.

Nous avons appliqué le modèle au bassin versant semi-aride Nord-Africain d'oued Chouly (322 km²). Plusieurs travaux ont été faits sur notre zone d'étude, comme Taleb et al (2008) ; Haddou et al (2018) ; Bendaoud et al (2020) et Benabdelkader et al (2018). Notre travail s'appuie sur une description détaillée de la topographie, de la pédologie et de l'occupation du sol du bassin .Des étapes de para-métrisation et de calibration du modèle permettent ensuite de tester la capacité du modèle SWAT à reproduire le fonctionnement hydrologique du bassin versant à travers l'évaluation de la performance de reproduction du bilan hydrique.

L'objectif de ce travail est de :

Modéliser avec SWAT les différentes composantes du bilan hydrique du bassin versant d'oued Chouly.

Le présent mémoire s'articule autour de trois chapitres :

- **Chapitre I** : Synthèse bibliographique

Ce chapitre présente une revue bibliographique des éléments traité dans le cadre de ce travail à savoir : l'hydrologie et les processus de cycle hydrologique, la modélisation et ses différentes approchent, ainsi une description des concepts des structures et des fonctions du modèle appliqué dans ce travail « le modèle SWAT ».

- **Chapitre II**: Matériel et méthode

Ce chapitre présente d'une part le bassin versant d'oued Chouly, ses principales caractéristiques (représentation, géologie, pédologie, hydrologie, et une description de l'occupation du sol), et une description de la composante hydrologique modèle SWAT.

- **Chapitre III**: Résultats et interprétations

Ce chapitre décrit les sorties de la modélisation hydrologique d'oued Chouly avec des interprétations des résultats obtenus de la performance de modèle sur la région.

Enfin le manuscrit se termine par une discussion générale synthétisant les résultats obtenus et une conclusion générale qui présente une synthèse des résultats obtenus dans cette étude.

CHAPITRE I :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Hydrologie

La définition de l'hydrologie reste difficile, elle change d'une époque ou d'un hydrologue à l'autre car ce n'est pas une science unifiée. Etymologiquement elle est définie comme étant "science qui traite des eaux" (Perrin, 2000). Elle est parfois définie dans les dictionnaires comme la science qui étudie les eaux, leurs caractéristiques, leurs propriétés, s'appuyant sur des considérations chimiques, physiques, géologique ou météorologique (Perrin, 2000). Penman(1961) dans Yonaba, 2009 la définit comme la science qui cherche à répondre à la question « **Qu'arrive-t-il aux précipitations ?** ». C'est une Question simple en apparence mais sur laquelle les nombreux chercheurs qui s'y sont penchés n'ont pas trouvé une réponse entièrement satisfaisante. Cela s'explique par le fait que les éléments qui font l'objet d'études en hydrologie sont eux-mêmes sujets à de nombreuses incertitudes tant dans la connaissance théorique des chercheurs que dans leurs mesures en nature. Cette complexité adonné lieu à plusieurs branches de l'hydrologie: hydrologie maritime, côtière, des bassins versants.

La science de l'hydrologie étudié le cycle hydrologique globale (cycle de l'eau) et les processus contrôlant la branche terrestre de ce cycle. Elle décrit et prédit les variations spatiales et temporelles de l'eau dans ses compartiments terrestres, océaniques, et atmosphériques (Dingman, 2002).

L'hydrologie continentale, qui s'intéresse plus particulièrement à la partie de cycle de l'eau sur ou proche des terres émergées, peut être aussi définie comme la science de l'eau qui traite de la circulation, de la distribution, de la dynamique et des propriétés de l'eau sur terre au travers de cycle hydrologique (Eagleson, 1991 in Perrin, 2000).

Cette science s'intéresse principalement sur le lien étroit qui existe entre l'homme et son environnement, et en particulier dans la dépendance qu'il vis-à-vis de la ressource en eau, pour ses besoins d'alimentation ou dans ses activités (Michel, 1989 in Perrin, 2000).

I.2 Le cycle de l'eau

L'eau est en permanent mouvement cyclique entre la terre et l'atmosphère (Anctil et al, 2005 in Taia, 2015).

Trois opérations essentielles sont à la base de ce mouvement (Musy, 2005 in Taia, 2015) :

- Le changement d'état de l'eau

- Le transport de l'eau sous forme de vapeur (atmosphère) ou liquide (écoulement) ;
- Le stockage (lacs ; océans ; biomasse).

L'ensemble des processus de transformation de l'eau forme le cycle hydrologique ou le cycle de l'eau (Gray, 1972) illustré à la figure 1.

Le cycle de l'eau, appelé aussi cycle hydrologique, est l'ensemble des cheminements que peut suivre une particule d'eau. Ces mouvements, accompagnés des changements d'état, peuvent s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface de sol et dans le sous-sol. Chaque particule n'effectue qu'une partie de ce cycle et avec des durées très variables : une goutte de pluie peut retourner à l'océan en quelques jours alors que sous forme de neige, en montagne, elle pourra mettre des dizaines d'années (Laborde, 2009).

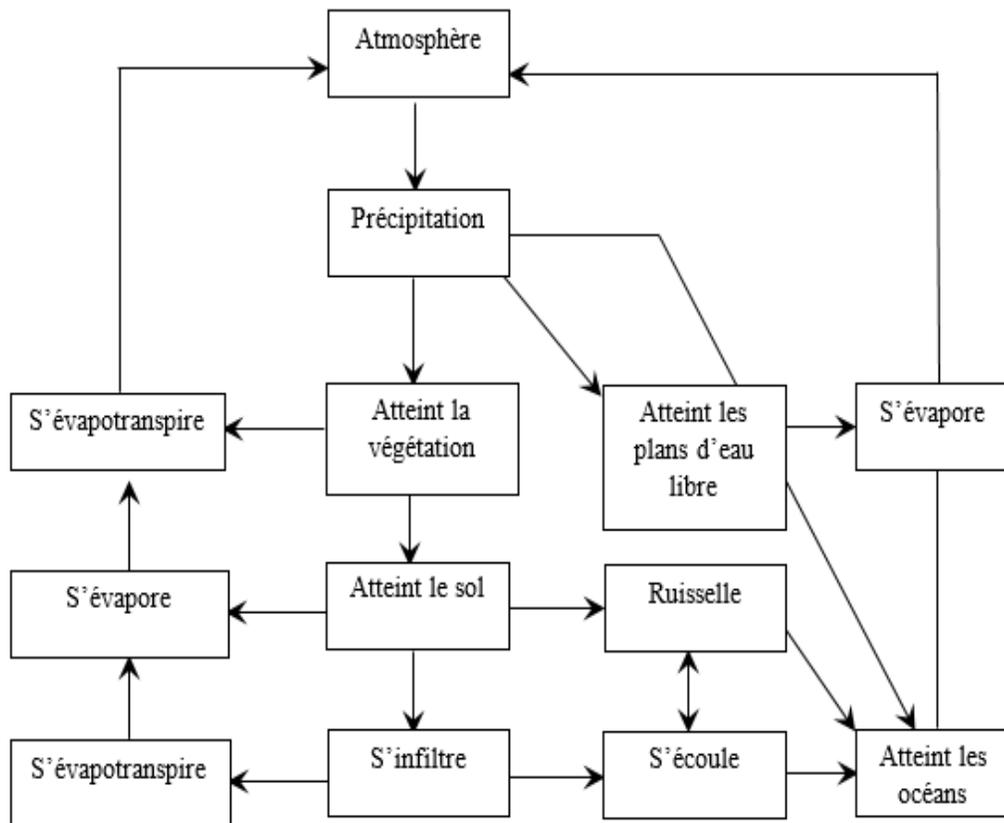


Figure 1. Processus de cycle hydrologique (Laborde, 2009)

Sous l'effet du rayonnement solaire, une partie de l'eau présente sur les surfaces continentales (dans les sols ou sous forme d'eau libre) et dans les océans s'évapore. La condensation de la vapeur d'eau sous forme de gouttelettes est à l'origine de la formation des

nuages. Cette eau sera ensuite restituée aux continents et aux océans par le biais de précipitations, pouvant être liquides (pluie) ou solides (neige ou grêle) suivant les conditions de température, de pression et d'humidité de l'air (Szczypt, 2012).

Les précipitations qui tombent sous forme de neige peuvent être retenues temporairement à la surface de la végétation ou du sol nu ou s'accumuler dans les manteaux neigeux saisonniers ou permanents (glaciers). La fonte et l'évaporation de la neige (sublimation) se feront grâce au rayonnement solaire. La partie des précipitations qui tombe sous forme liquide peut être interceptée par les végétaux au niveau de la canopée avant d'être restituée partiellement à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau (Szczypt, 2012).

Les précipitations liquides non interceptées atteignent le sol. Une partie est évaporée à partir des zones de sol nu ou absorbée par les racines des plantes puis évaporée par transpiration foliaire. Une autre partie ruisselle en surface par gravitation ou peut être acheminé par percolation (aussi appelée drainage) vers les zones plus profondes pour contribuer au renouvellement des nappes souterraines ou vers le réseau hydrologique de surface (Szczypt, 2012).

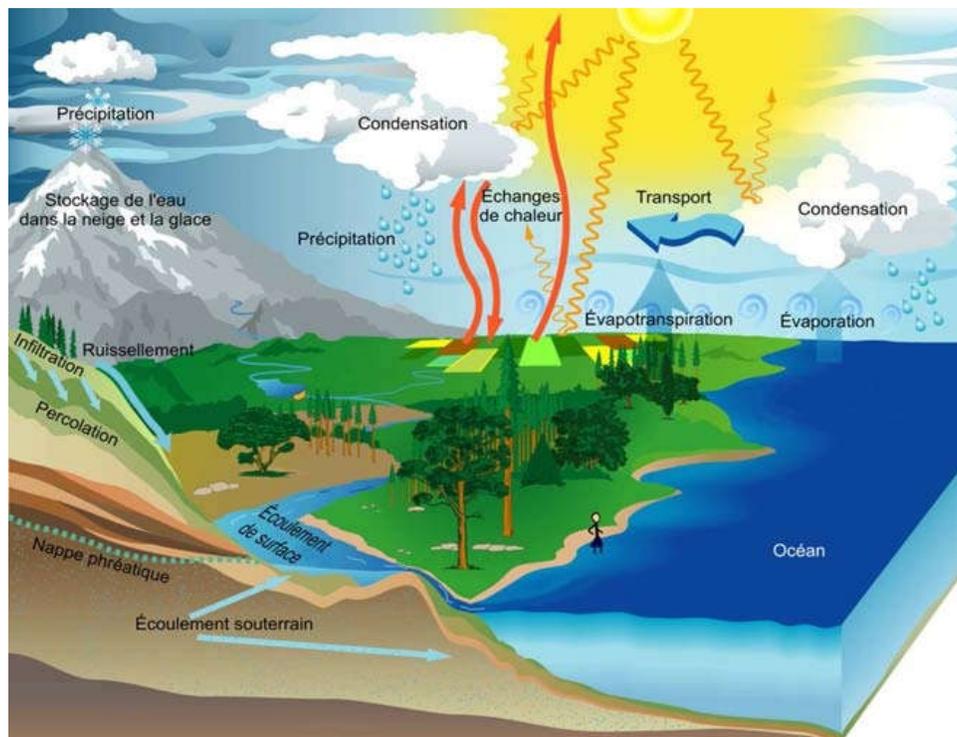


Figure 2. Le cycle hydrologique (Source : NASA, 2007)

Le cycle hydrologique est associé à un espace physique (Ambroise, 1999). Cet espace est un bassin versant défini par sa structure physique (surface, relief, la pente, la géologie, couverture végétale, l'occupation de sol) et par sa capacité de conduire et stocker l'eau, et aussi par les quantités qui s'y écoulent (Musy, 2005). Ce dernier représente l'élément de base d'étude en hydrologie.

I.2.1 Processus de cycle hydrologique

L'ensemble de tous les processus de transformation d'eau sur la terre s'appelle cycle hydrologique dont les phases principales sont (Bennis, 2009) :

I.2.1.1 L'évaporation

L'évaporation se fait principalement au niveau des océans qui couvrent 70 % de la surface terrestre et contiennent 97 % des eaux disponibles. L'évaporation annuelle moyenne à partir des océans est estimée à 1400 mm. Cependant, approximativement 90 % de ce volume retombe directement sous forme de précipitations sur les océans. Mais l'évaporation se fait aussi directement à partir de l'atmosphère en temps de pluie, au niveau des plans d'eau, du sol humide et à travers la végétation (480 mm/an) (Bennis, 2009). Dans ce dernier cas on l'appelle transpiration. On définit ce le nom d'évapotranspiration l'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration. L'évaporation directe à partir d'un manteau nival, sans passer par l'état liquide, est appelée sublimation (Bennis, 2009).

I.2.1.2 Transport par les vents et les courants

Les nuages formés par évaporation peuvent être transportés par les vents et les courants. Ces mouvements d'air sont générés par le gradient de pression qui existe entre les centres de haute et basse pressions. L'existence de ces centres est directement reliée au gradient de température entre des endroits exposés différemment au soleil (Bennis, 2009).

I.2.1.3 Précipitation

On entend par précipitations les eaux tombant à la surface de la terre, sous la forme liquide (pluie), et sous la forme solide (neige, grêle) (Ginocchio, 1978). Sous certaines conditions atmosphériques, les nuages formés par l'évaporation se condensent et tombent sous l'effet de la gravité donnant lieu aux précipitations. Celle-ci peuvent être solides ou liquide selon que la température ambiante est respectivement en-dessous ou au-dessus de zéro degré. Les précipitations sur les terres (800mm/an) proviennent de 40 % de l'évaporation à partir des océans et de 60 % à partir de l'évaporation au niveau des plans de l'atmosphère et du sol (Bennis, 2009).

I.2.1.4 Infiltration

Une partie des précipitations remplit les dépressions et s'infiltré dans le sol. Ces infiltrations rechargent le sol en humidité et alimentent les nappes souterraines (Bennis, 2009).

I.2.1.5 Ecoulement souterrain

Les nappes souterraines alimentent horizontalement les cours d'eau et les lacs durant les jours et les mois qui suivent les infiltrations verticales dans le sol. Cependant selon la position relative du niveau de la nappe souterraine et du cours d'eau avoisinant, il peut y avoir écoulement dans un sens ou dans l'autre (Bennis, 2009).

I.2.1.6 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 océans. On estime qu'annuellement seulement 320mm des 800 mm tombant sur les terres retournent aux océans sous forme de ruissellement de surface. La balance (480mm/an) constitue le déficit d'écoulement (Bennis, 2009).

I.3 La modélisation hydrologique

La modélisation hydrologique est une représentation, qui est soit partielle ou bien totale de cycle hydrologique (Marchandise, 2007). C'est une traduction à la langue mathématique de cycle de l'eau (Chaponnière, 2005), qui se fait grâce à un ensemble d'équations mathématiques qui sont appelées à reproduire le système.

I.3.1 Définition d'un modèle

Le mot modèle est « *une représentation simplifié, relativement abstraite, d'un processus, d'un système, en vue de le décrire, de l'expliqué, ou de la prévoir* » (Marchandise, 2007). Selon Roche (1986) le modèle est défini comme une "représentation concrète ou abstraite d'une réalité physique, économique, sociale ou autre, élaborée dans le but de simuler son fonctionnement, ou tout au moins son comportement, afin d'entier toute conséquence concernant l'estimation de ses paramètres, son évolution, les prévisions de son exploitation etc.... .En ce sens, par exemple, « une loi de distribution statistique est un modèle". Le modèle est donc nécessairement réductionniste de la complexité naturelle. Il est une image de la réalité, modélisée par oubli de nombreuses propriétés jugées non pertinentes pour les questions posées (Roche, 1988).

Un modèle hydrologique est donc une schématisation en général exprimés en langage mathématique de tout ou une partie du système hydrologique (Roche et al, 2012).

Le développement d'un modèle repose généralement sur trois éléments (Perrin, 2000) :

- ✓ Le système observé et sa discrétisation spatiale et temporelle, qui en définissent l'objet et ses limites (spatiales ou temporelles).
- ✓ Le modèle est construit pour être un outil de représentation, un instrument de connaissance et pour répondre à l'objectif de modélisation.
- ✓ Le choix de la formulation de la réalité la plus satisfaisante relativement aux objectifs fixés.

On distingue quatre types de variables (figure 03) qui peuvent exister en totalité ou en partie dans chaque modèle (Boudhraa, 2007) :

- **Variables d'entrée** : le modèle fait appel à ces variables qui dépendent du temps et/ou de l'espace (Pluie, ETP, ...),
- **Variables de sortie** : le modèle répond par un ensemble de variables (débit, flux ou concentration en polluants),
- **Variables d'état** : elle permet de caractériser l'état du système modélisé et peuvent évoluer en fonction du temps (niveau de remplissage des réservoirs d'eau d'un bassin versant, taux de saturation des sols, ...).
- **Paramètres de calage** : en plus des variables, la modélisation fait intervenir des variables dont la valeur doit être déterminée par calage (conductivité hydraulique à saturation...)(Gaume, 2002 in Boudhraa, 2007).

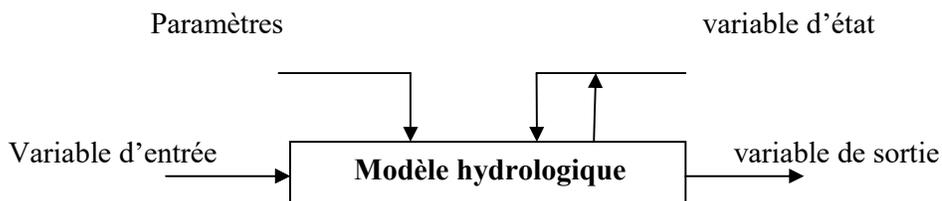


Figure 3. Les variables d'un modèle hydrologique (Gaume, 2002)

Les variables citées ci-dessus interviennent dans la modélisation hydrologique par l'intermédiaire de deux fonctions (figure 04): la fonction de production et la fonction de transfert (Boudhraa, 2007) :

- **La fonction de production** : elle exprime la transformation de la pluie brute en pluie nette ; définit comme la fraction de la pluie brute qui contribue effectivement au ruissellement. En d'autres termes elle permet de calculer la quantité d'eau qui va s'écouler à l'exutoire d'un bassin ou sous bassin versant (Boudhraa, 2007).
- **La fonction de transfert** : c'est la fonction qui permet de transférer, la quantité d'eau déterminée par la fonction de production, vers le cours d'eau. Elle permet la transformation de la pluie nette en un hydrogramme à l'exutoire du bassin versant, donc, de donner une forme à la crue dont le volume a été déterminé par la fonction de production, en simulant l'hydrogramme de crue à l'exutoire (Boudhraa, 2007).

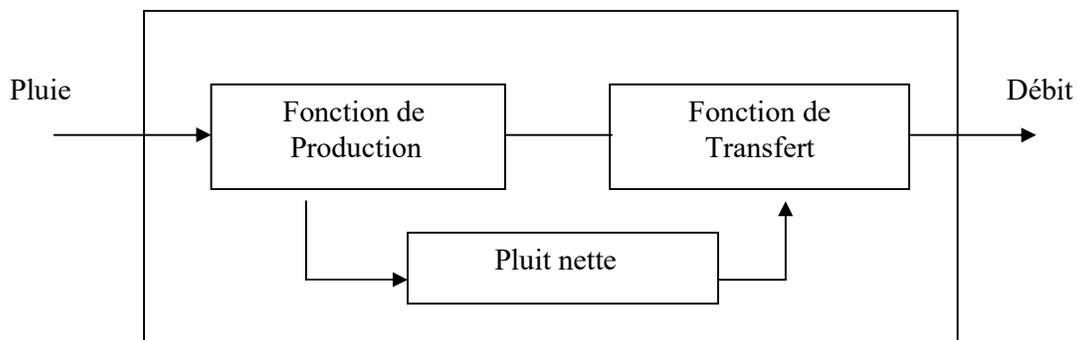


Figure4.Schéma d'un modèle hydrologique (Boudhraa, 2007)

I.3.2 L'objectif de la modélisation hydrologique

La modélisation hydrologique peut répondre aux problématiques liées aux comportements hydrologiques des bassins versant à travers (Perrin, 2000) :

- La simulation des débits ; afin de comblement de lacunes dans des séries de données, la reconstitution de débits historiques (les données de pluie étant souvent disponibles sur des périodes beaucoup plus longues que les débits) ou pour permettre des traitements statistiques (Perrin, 2000) ;
- La prédétermination des débits de crue ou d'étiage: nous voulons savoir avec quelle fréquence des débits de crue (supérieurs à un seuil de risque par exemple) ou des faibles débits (en deçà d'un débit réservé par exemple) risquent de se produire, et sur quelle durée. On se place ici dans une démarche d'analyse fréquentielle. Cette

connaissance peut permettre le dimensionnement d'ouvrages et de réservoirs ou d'aménagements dans le lit (mineur à majeur) du cours d'eau (Perrin, 2000) ;

- La Prévision des crues et des étiages: il s'agit d'évaluer par avance (avec le délai de quelques heures à quelques jours), connaissant l'état du bassin, les débits de crues susceptibles de présenter des risques (inondation) ou les débits d'étiages pouvant demander de mettre en place une gestion particulière de la ressource (par des barrages-réservoirs par exemple) pour assurer l'approvisionnement en eau ou la préservation de la vie halieutique. On s'inscrit ici dans une démarche d'analyse en continu du bassin (Perrin, 2000) ;
- L'influence d'aménagements sur l'hydrologie : on désire pouvoir prédire les changements de la réponse du bassin suite à des modifications de leur caractéristique d'origine humaine ou par des changements environnementaux (Perrin, 2000).

I.3.3 L'élaboration d'un modèle

Pour élaborer un modèle, certaines étapes de base doivent être suivies (Boudhraa, 2007) :

-Définir le modèle et ses objectifs en termes de précision (Ambroise, 1998). Cette définition permettra de déterminer les choix à faire par la suite et donc de préciser les chemins à suivre dans l'élaboration des étapes suivantes.

-Identifier le modèle, pour pouvoir définir et caractériser le système, ses frontières et sa structure, définir l'événement, les variables et les paramètres et émettre les hypothèses et le choix des échelles de temps et d'espace caractéristiques des processus de base (Boudhraa, 2007).

-Elaborer l'algorithme à incorporer dans un outil informatique capable de procéder aux instructions. Cet algorithme doit être suivi de la vérification du logiciel lui-même (De Marsily et Ambroise, 1998).

-Caler le modèle, par estimation des paramètres du modèle, non mesurables, selon des critères déductifs ou des observations des entrées et des sorties (Boudhraa, 2007). Le calage peut être manuel ou automatique.

-Evaluer le modèle, en comparant la réponse simulée par le modèle à une sollicitation expérimentale et la réponse réelle, à partir de données différentes de celles utilisées pour le calage (Boudhraa, 2007).

-**Définir** le domaine de validité du modèle élaboré (Ambroise, 1998). La formulation mathématique du modèle est basée sur des équations simplifiées, selon certaines hypothèses concernant les conditions initiales et aux limites.

I.3.4 La modélisation des processus hydrologique

La modélisation hydrologique des bassins versant s'intéresse au cycle de l'eau sur un bassin, elle inclut donc des fonctions de production (liées aux transferts verticaux) et des fonctions de transfert (liées aux redistributions latérales) (Chaponnière, 2005). Une très grande variété de modèles hydrologiques existe car les processus pris en compte et l'approche adoptée pour les conceptualiser diffèrent selon les auteurs. Les modèles les plus complets prennent en compte les processus verticaux et latéraux (Chaponnière, 2005).

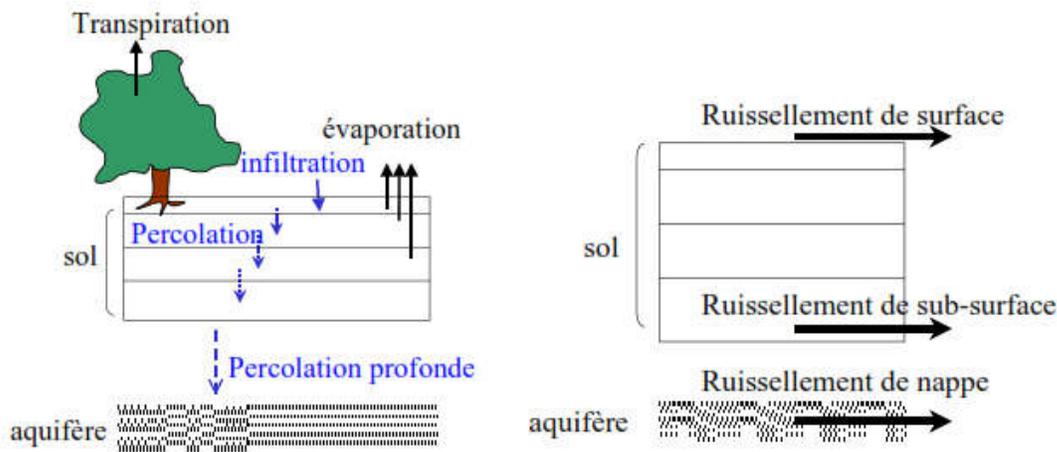


Figure 5. Schématisation des principaux flux verticaux et latéraux pris en compte dans les modèles hydrologiques de bassin versant (Chaponnière, 2005)

Les processus verticaux

Cinq principaux transferts à prendre en compte dans cette dimension verticale : l'évapotranspiration, l'infiltration, l'interception et la percolation (figure 5) au sein du profil de sol et la percolation profonde vers les aquifères (Chaponnière, 2005).

Les processus latéraux

Dans la dimension latérale il s'agit surtout de conceptualiser les transferts du lieu de production vers le cours d'eau en représentant : le ruissellement de surface, le ruissellement de sub-surface et le ruissellement de la nappe (figure 5) (Chaponnière, 2005).

I.3.5 Classification des modèles hydrologique

Il existe à l'heure actuelle un très grand nombre de modèles différentes sont apparus et appliqués dans plusieurs disciplines en hydrologie, et il est difficile de les décrire tous. Ces modèles peuvent être classés en plusieurs grandes classes. Ils se différencient par leurs finalités, leurs pratiques, les données et les moyens qu'ils mobilisent (Roche et al, 2012), et ainsi selon leur façon de représenter l'espace ou les processus hydrologique.

On peut classer les modèles hydrologiques selon plusieurs assises :

I.3.5.1 Classification selon la représentation spatiale

a- Les modèles globaux

Ces modèles dispensent une discrétisation spatiale. Le bassin versant est considéré comme un tout et ses caractéristiques (occupation du sol, type de sol, précipitations...) sont uniformes sur l'ensemble de l'entité (Furusho, 2011).

b- Les modèles distribués

Ils permettent une discrétisation en sous-bassins, en mailles ou éléments finis. Les modèles distribués sont en général plus performants, mais les données nécessaires ne sont pas toujours disponibles et la mise-en-œuvre peut être plus fastidieuse (Furusho, 2011).

c- Les modèles semi-distribués

Se situent entre ces deux représentations. Il consiste à spatialiser les processus, mais uniquement entre des entités spatiales considérées comme homogènes. Cette solution a l'avantage de permettre de représenter l'espace (plus ou moins précisément suivant la taille des entités considérées) en fonction de la réalité topographique, mais en limitant la complexité et les demandes en ressource de calculs nécessaire à une représentation distribuée (Grusson, 2016).

I.3.5.2 Classification selon la discrétisation temporelle

a- Les modèles événementiels

Ces modèles visent à reproduire la réponse du bassin en termes de débit lors des épisodes pluvieux. Ce genre de modèles, qui n'est activé qu'au moment des pluies, nécessite de préciser l'état initial du bassin en fonction des conditions climatiques antécédentes (Gnouma, 2006).

b- Les modèles continus

Sont capables de calculer les sorties (débit, teneur en eau...) tant qu'ils sont alimentés par des données (précipitation, températures...). A cette échelle temporelle, les

écoulements lents et l'évapotranspiration jouent un rôle important. Du fait d'afficher des longues périodes de débits, les modèles continus peuvent révéler une variété d'effets des changements environnementaux (climat, occupation du sol, etc.) (Furusho, 2011).

I.3.5.3 Classification selon la description du processus

a- Les modèles empiriques

Ces modèles sont généralement de type « boîte noire ». Repose sur une relation mathématique directe entre les entrées et les sorties du système hydrologique sans réellement prendre en considération les processus internes à l'hydrosphère. Si la représentation peut considérer plusieurs composants du cycle hydrologique, le fonctionnement de la représentation est en général très éloigné du fonctionnement réel de l'hydro système (Grusson, 2016).

b- Les modèles conceptuels

Les modèles conceptuels sont adaptés à la simulation sur de grandes échelles (spatiales et/ou temporelles), avec une demande de puissance de calcul qui reste limitée. Ces modèles hydrologiques sont en général constitués de réservoirs connectés entre eux par des flux et qui permettent de représenter les différentes composantes de l'hydro système (eau des surfaces, eau souterraine, réseau hydrographique...). Cette représentation peut être très simple avec un nombre réduit de composantes et ne dépendre que d'un nombre limité de paramètres nécessaires aux relations, le modèle se rapprochant alors d'un modèle empirique. Mais elle peut aussi devenir beaucoup plus complexe, avec des relations basées sur des lois physiques, nécessitant un nombre relativement important de paramètres, se rapprochant alors d'un modèle physique (Grusson, 2016).

c- Les modèles à bases physique

Les modèles fondés sur la physique tentent d'utiliser des explications physiques à ce comportement. Ils utilisent le cadre théorique des équations de la physique (équations aux dérivées partielles). Ils tiennent compte de la variabilité spatiale du bassin par une discrétisation fine à base de mailles sur lesquelles sont appliquées les lois concernées, ce qui permet de donner une représentation des flux et stocks au sein du bassin. Chacune est caractérisée par un ensemble de paramètres, ayant en principe une signification physique et donc mesurables sur le terrain (Perrin, 2000).

Plusieurs modèles ont été utilisées par les chercheurs pour comprendre les processus

Le tableau suivant présente des modèles utilisés et leurs différentes caractéristiques et application dans des bassins versants selon (Daniel et al., 2011) :

Tableau 1. Modèles de bassins versants - Principales caractéristiques (Daniel et al., 2011 in Zettam 2018).

Modèle	Principaux composants	Echelle spatiale	Echelle temporelle
AGNPS	-ruissellement, de surface -percolation - érosion	distribué	évènementiel
ANSWERS	-ruissellement, de surface -percolation - érosion	distribué	évènementiel
AnnAGNPS	-ruissellement, de surface -percolation -érosion -Nutriments, pesticides, -Topographie	distribué	continu
GSSHA/CAS C2D	-ruissellement, de surface - Humidité du sol, - érosion	distribué	continu
HSPF	-qualité de l'eau de surface -simulation des zones perméables/ imperméables	Semi distribué	continu
HEC1/HECHMS	Précipitation, -ruissellement, de surface -percolation	Semi distribué	évènementiel
KINEROS2	Pluviométrie -ruissellement, de surface -percolation - érosion	Semi distribué	continu

SWAT	Hydrologie, -climat -Sol, -nutriments, -gestion des terres agricoles -gestion des barrages	Semi distribué	Continu
------	---	----------------	---------

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

I.4.1 Le choix de modèle

La grande diversité des modèles hydrologiques donne l’embarras de choix aux ingénieurs et utilisateurs. Le choix d’un modèle dépend des objectifs de l’étude et aussi en se basant sur le type de résultats recherchés, pour atteindre notre objectif de l’étude le modèle SWAT (Soil and Water Assessment Tool) a été choisi. En effet ce modèle répond aux exigences suivant (Neitsch et al., 2005) :

1. Il assure une simulation continue, à long terme des processus terrestres et fluviaux.
2. Il Garanti la modélisation des grands bassins versants dépassant une superficie de plusieurs milliers de Km², comme on peut l’appliquer sur des petits bassins.

I.4.2 Présentation de modèle SWAT

SWAT (Soil and Water Assessment Tool), est un modèle agro-hydrologique développé au début des années 90 aux États-Unis par le département Américain de l'Agriculture, Agricultural Research Service (USDA-ARS)(Arnold et al., 1998),C’est un modèle amplement utilisé à travers le monde dans les études de bassin versant à dominante agricole (Abbaspour et al., 2015).

Le modèle couple la modélisation des pratiques agricoles à la modélisation des flux hydrologiques. Du fait de la complexité de représentation de ces processus, SWAT nécessite l’implémentation de nombreux paramètres, certains à bases physiques, d’autres empiriques. Ces paramètres sont des grandeurs physiques, mesurées ou estimées, représentant des processus physiques ou leurs concepts. Le modèle, ainsi que les théories sur lesquelles il s’appuie, sont une approximation de la réalité (Beven, 1993).

SWAT permet de simuler des principaux processus des bassins versants tel que l'hydrologie, la sédimentation, le transfert d'éléments nutritifs, la croissance des cultures,

l'environnement et le changement climatique à l'échelle des bassin versant, pour un pas du temps journalier (Arnold et al., 1998).

Il est déterministe, intermédiaire entre une base physique et conceptuelle, distribué et continu, son pas de temps est journalier et il permet la prise en compte d'un grand nombre de processus (dont les infiltrations dans le lit du cours d'eau, les écoulements profonds, la croissance dynamique de la végétation, la fonte des neiges...). La plupart des modules adopte un formalisme de modélisation simple (modèle réservoir pour le sol, modèles de type degré jour pour la croissance de la végétation et le module neige) et certains modules proposent différents formalismes (évapotranspiration selon Penman-Monteith (1948), Priestley-Taylor (1972) ou Hargreaves (1975) ; ruissellement selon la méthode du curve number (S.C.S., 1972) ou selon (Green et Ampt, 1911). Enfin, la discrétisation altitudinale du bassin peut être précisée ce qui permet d'appliquer des gradients altitudinaux de précipitations et de température aux données de forçage (Chaponnière, 2005).

I.4.3 Organisation de modèle SWAT

Le bassin étudié par le modèle SWAT modélisé est subdivisé en sous-bassins versants, eux même subdivisés en unités de réponse hydrologique (HRU :Hydrological Response Units) (figure 06),c'est unité considérée comme des zone homogène d'occupation du sol, de pente et de type de sol. Les HRUs sont des pourcentages de sous-bassins versants et ne sont pas spatialisées durant la simulation, mais sont caractérisées par la distance qui les séparent de la rivière. Les sorties des HRUs sont les entrées du réseau de drainage. Un sous bassin est drainé par un tronçon de rivière (Boithias, 2011).

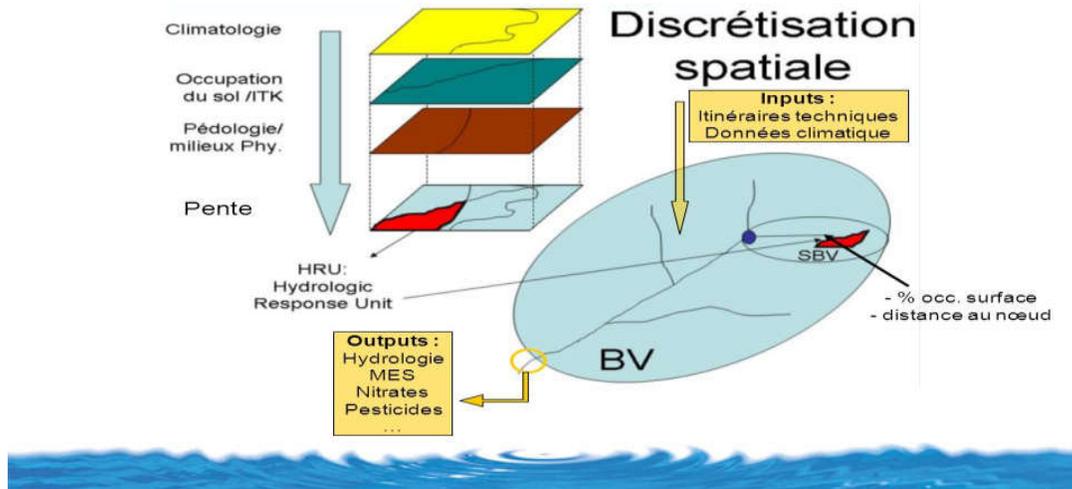


Figure 6. La structure de modèle SWAT et la définition des HRUs (Unité de réponse hydrologique) (Boithias, 2011)

I.4.3.1 Les phases de bilan hydrologique

Selon (Neitsch et al., 2005) deux phases sont modélisées par SWAT (figure 07). La première constitue la phase terrestre et la deuxième la phase aquatique

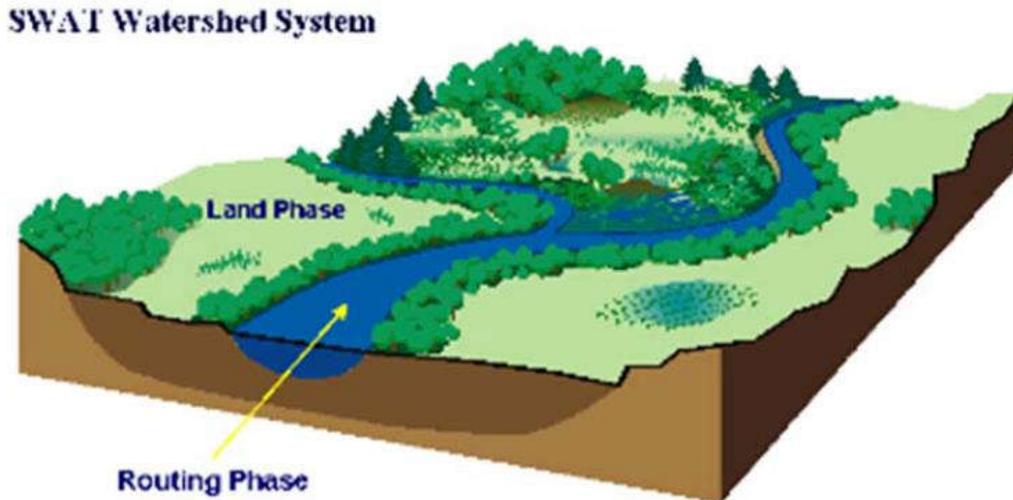


Figure7. Phases de cycle hydrologique modélisé par SWAT (Neitsch et al., 2005)

a- Phase terrestre

La modélisation de la phase terrestre de cycle hydrologique consiste à simuler la quantité d'eau, déversée au canal principal dans chaque sous bassin (Neitsch et al., 2005).

La simulation de la phase terrestre est basée sur le bilan en eau suivant selon un pas de temps journalier :

$$sw_t = sw_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} + E_a + w_{seep} + Q_{gw}) \text{ (eq1)}$$

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).

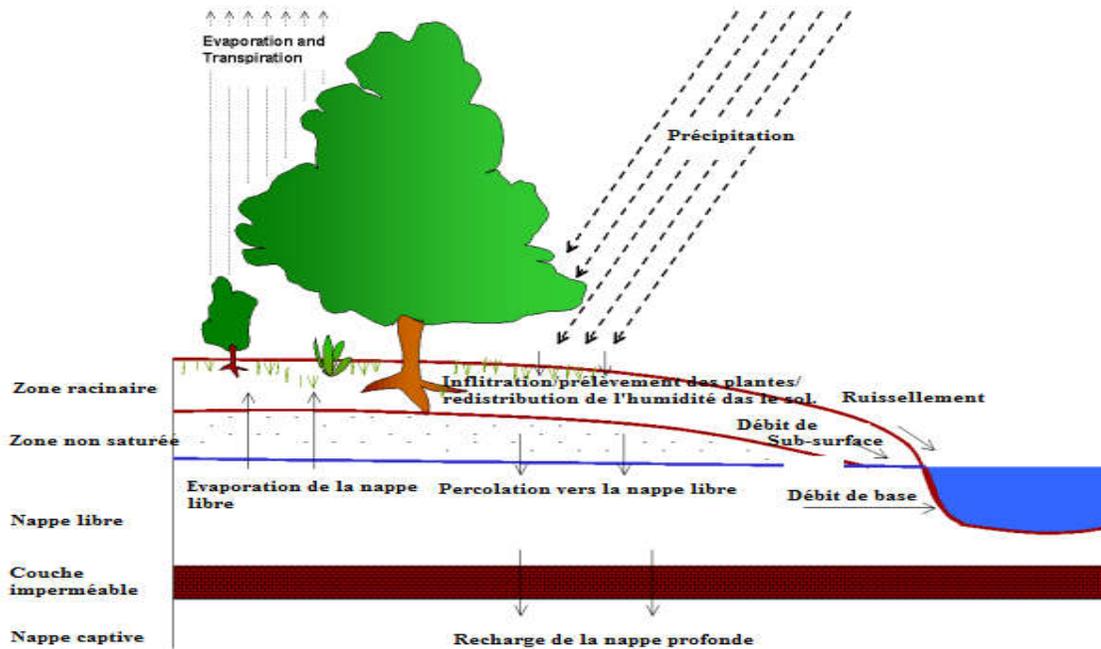


Figure 8. Schéma de cycle hydrologique modélisé par SWAT (Neitsch et al., 2005)

Les principales composantes du bilan hydrologique modélisée (figure 08) sont l'interception et le stockage dans la canopée, l'évapotranspiration, le ruissellement de surface, l'écoulement de sub-surface, l'infiltration et la redistribution dans le profil du sol, l'emmagasinement et la restitution de la nappe de surface vers le cours d'eau ainsi que l'emmagasinement dans la nappe profonde et les prélèvements et restitutions en nappe de surface et nappes profondes (Pezet, 2014).

➤ Le ruissellement de surface

Dans SWAT, la hauteur de ruissellement est calculée selon l'équation du 'Curve Number' (CN), L'équation de base est la suivante:

$$Q = \frac{pe^2}{pe+s} \text{ (eq2)}$$

Ou Q (mm) : est le ruissellement de surface

p_e (mm) : est la pluie nette

S (mm) : est une capacité de stockage des sols du bassin versant avant ruissellement. S varie en fonction de la nature des sols et des modes d'utilisation des sols et est estimé par :

$$S = 245 \left(\frac{1000}{CN-1} \right) \text{(eq3)}$$

Pour $0 \leq CN \leq 100$

Où CN est le 'CurveNumber' (Pezet, 2014) qui varie de 35 à 98 selon la canopée et les sols.

➤ Évapotranspiration potentielle

Trois méthodes d'estimation de l'évapotranspiration potentielle sont intégrées dans le modèle SWAT (Neitsch et al., 2005) :

-La méthode Penman-Monteith (Monteith, 1965 ; Allen, 1986 ; Allen, 1989) ;

-La méthode de Priestley-Taylor (Priestley-Taylor, 1972) ;

-La méthode d'Hargreaves (Hargreaves, et al. 1985).

b- Phase aquatique

La modélisation de la phase aquatique concerne le transport aquatique (figure 09), autrement dit, les mouvements de l'eau, des sédiments, des nutriments et autres à travers le réseau fluvial du bassin jusqu'à l'exutoire (Neitsch et al., 2005).

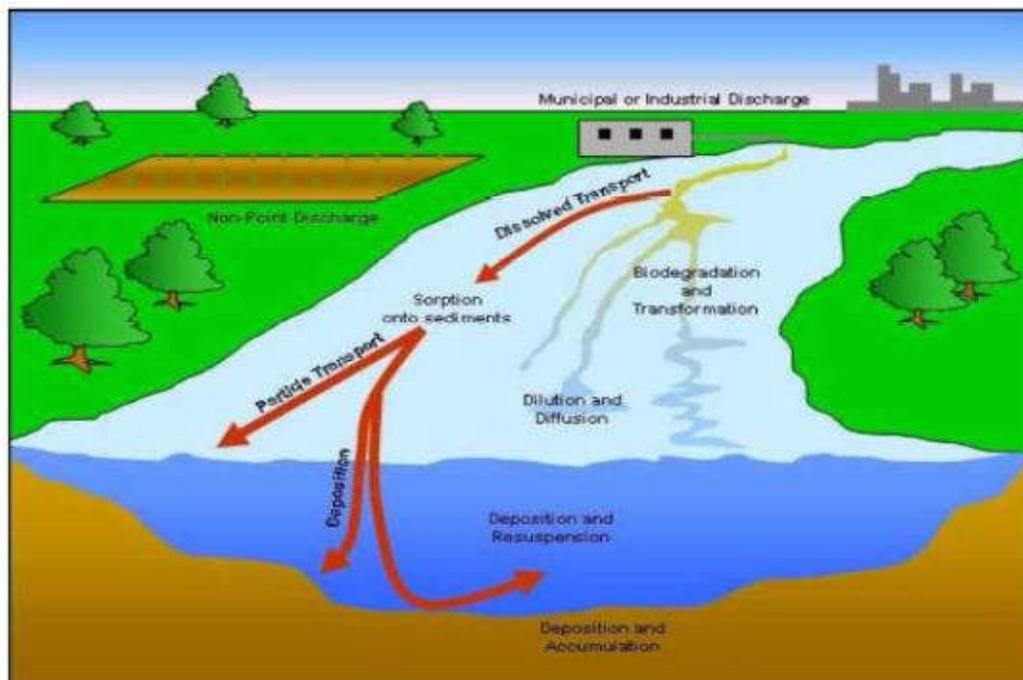


Figure09. Phase fluviale représentée par modèle SWAT (Neitsch et al., 2005)

La figure suivant représente les variables d'entrées et de sorties dans le modèle SWAT et pour plus d'information consulté (Neitsh al, 2005) :

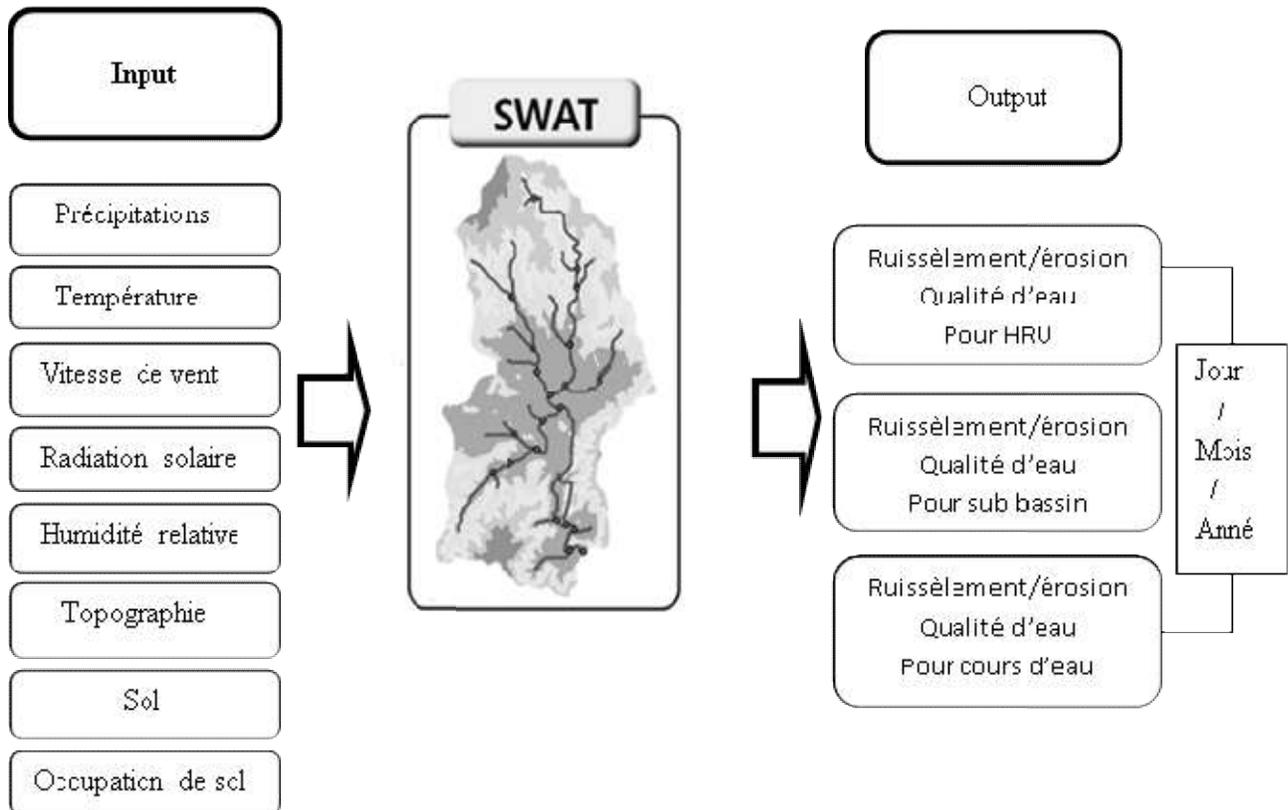


Figure10. Les données d'entrée et de sortie de modèle SWAT

I.4.4 L'application de modèles aux niveaux mondiale

Le modèle fut évolué pour tester l'effet des changements d'usage des sols notamment agricoles sur les régimes hydrologiques, l'érosion et les transferts de nutriments, à l'échelle du bassin versant. Il a été largement appliqué et éprouvé sur l'ensemble des continents dans des conditions pédoclimatiques différents (Grusson, 2016).

En 2007, 250 publications scientifiques concernant ce modèle étaient répertoriées par Gassman et al. (2007), nombre qui a encore augmenté avec les années (Douglas-Mankin et al., 2010). Une base de données des travaux relatifs au modèle SWAT et publiés dans des journaux à comité de lecture a été créée dans laquelle sont référencées à ce jour plus de 2000 publications (Grusson, 2016).

Une recherche qui a été fait par Fu et al., (2018), sur les modèle de la qualité de l'eau à l'échelle du bassin hydrographique dans Scopus, l'une des plus grande base de donnée en ligne au monde qui couvre plus de 22000 revus a comité de lecture, ils ont trouvé un nombre totale de 3282 articles sur les modèles hydrologiques entre 2003 et 2018 ou SWAT a dominé les autres modèles avec un pourcentage de 44% (figure 11).

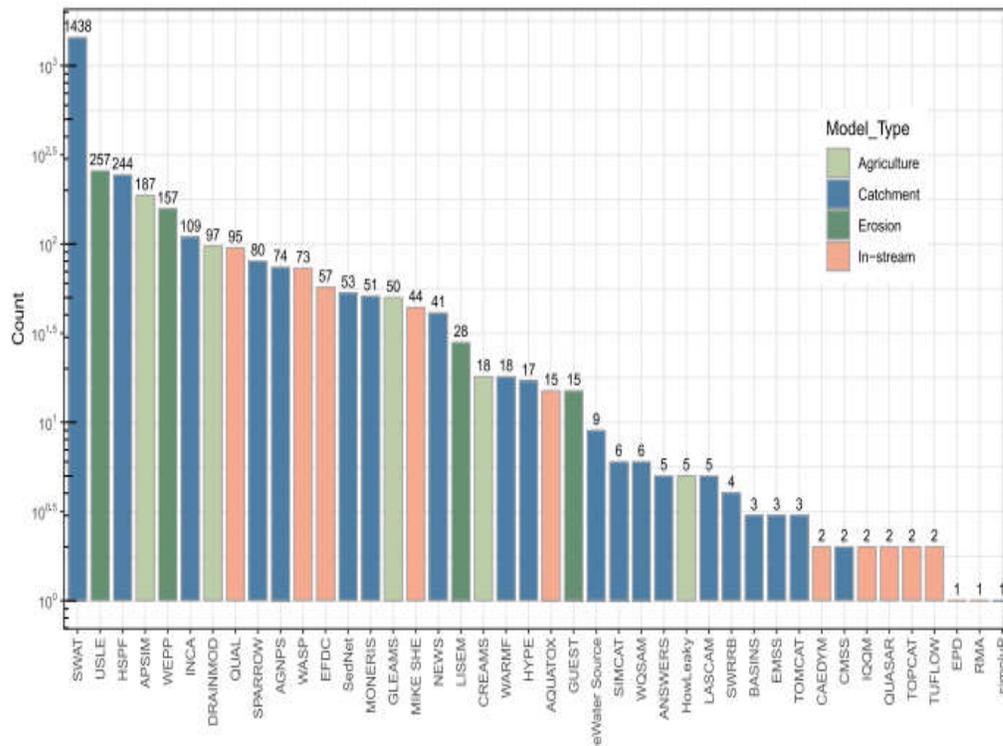


Figure11. Nombre de documents trouvé dans la base de données Scopus entre 2003 à 2018, montrant les articles publiés sur modèles hydrologiques (Fu et al., 2018)

Entre 2000-2020, 3000 articles de SWAT ont été publiés dans les régions semi arides à travers le monde. La figure 12 montre la distribution globale et les applications des études sélectionnées utilisant le modèle SWAT dans les bassins versant agricoles irrigués aride et semi-aride (Samimi et al., 2020).

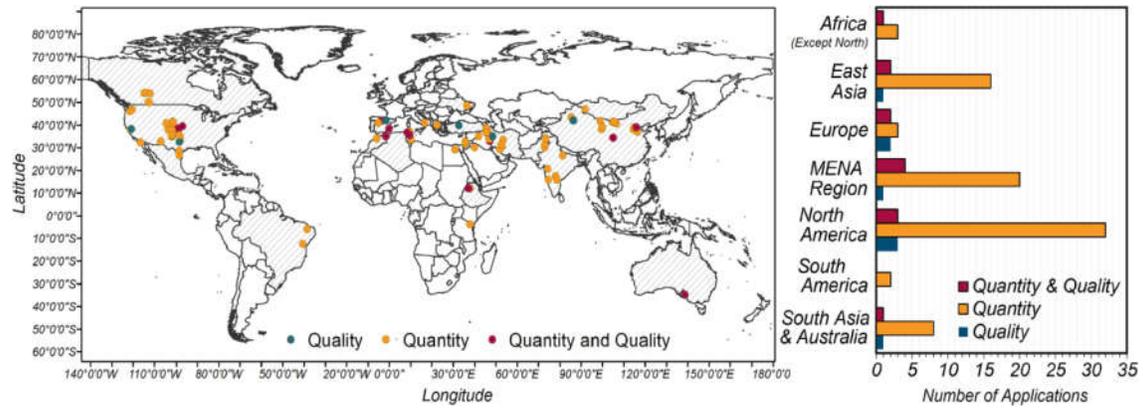


Figure 12. Applications de modèle SWAT dans les régions agricoles irriguées arides/semi-arides 11 dans 24 pays, montrant la distribution mondiale et les foyers thématiques des études sélectionnées (Samimi et al., 2020)

CHAPITRE II :
MATERIELS ET METHODE

II.1 Présentation de bassin versant d'oued Chouly

Le bassin versant d'oued Chouly (322 km²) se localise au Nord-ouest de territoire algérien (figure 13). Il prend sa source dans les monts de Tlemcen à environ 900 m d'altitude. C'est un affluent de la rive gauche de l'oued Isser (Bouanani, 2003) ;

Sa longueur est de 21.7 km avec une indice de pente de 0.19 et occupe une largeur de 13.31.31km en totalité (Bouayad Alam, 2011 ; Hachemi, 2017).

Le bassin d'oued lakhdar (Chouly) est limité :

- au sud par le sous bassin de Mafrouche
- à l'est par oued Isser
- à l'Ouest par le sous bassin de Sikkak

Le bassin d'étude se trouve dans la commune d'oued lakhdar qui couvre une superficie de 13646 ha, soit environ 2 % du territoire de la wilaya de Tlemcen. Elle est située dans l'Est de la wilaya et limitée au Nord par la commune d'Ouled Mimoun, à l'Est par la commune de Béni Smiel, au Sud les trois communes Terny, Béni Hediél et Sebdu et à l'Ouest par la commune d'Ain Fezza.

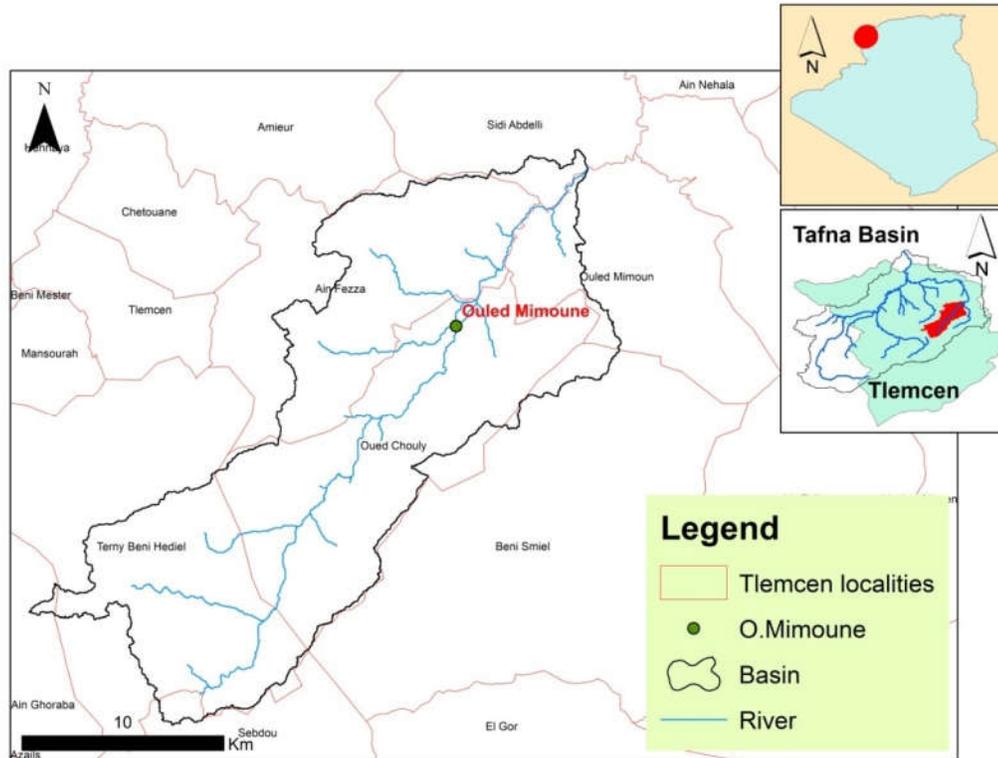


Figure 13. Carte de localisation de bassin versant d'oued Chouly

II.1.1 Hydrographie

Le sous bassin versant d'oued Chouly possède un réseau hydrographique important, Il prend naissance dans les altitudes élevées des montagnes de Terny, créant son lit dans une dépression fortement encaissée de direction Sud-ouest à Nord Est. Il est enrichi par de nombreuses sources qui l'alimentent régulièrement par les nappes phréatiques mais également par les précipitations dont les crues sont violentes et très irrégulières, il est alimenté par des sources voisines tels que : Ain tât Hammam, Ain Ouissert (Bouayad, 2011). Sa densité de drainage est de 0.61 (Bouanani, 2003).

L'eau de la rivière de Chouly forme un écosystème aquatique à mouvement continu par écoulement gravitaire. Les fluctuations agissent sur la largeur, la profondeur et apportent des modifications dans la charge en sédiment (Yadi, 1991).

II.1.2 Hydrologie

Selon l'étude de (Ghrissi, 2012), le bassin versant d'oued Chouly jouit d'un climat méditerranéen à un étage bioclimatique semi-aride caractérisé par une saison pluvieuse et un

été chaud et sec. La pluviométrie moyenne annuelle enregistrée sur la période allant de 1956 à 2010 est de 426.78 mm/an, Les débits mensuels atteignent leurs maximums en Mars alors que le minimum s'observe en Août, et une moyenne annuelle de ruissellement de 18.38 mm. Le cours d'eau est caractérisé par un régime d'écoulement irrégulier avec une lame d'eau annuelle moyenne de 55.24mm/an.

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 2000 jusqu'en 2008 au niveau de la station hydrométrique.

II.1.3 Géologie

Les formations géologiques dominantes dans la commune d'oued Lakhdar sont les dolomies calcaires. Il y a deux formations de marno calcaire qui sont représentées symétriquement par rapport à l'oued dans la partie Nord de la commune : de Djebel El Chaïb et djebel Sidi Hamza, et Djebel dar El Matmar. Il faut noter également la présence d'alluvions dans l'extrême Nord de la commune (Rahmi, 2014).

Le calcaire : Le calcaire est une roche sédimentaire formée de carbonate de calcium.

La dolomie : La dolomie est un calcaire comprenant du carbonate double de magnésium et de calcium.

Les marno-calcaires : Les marnes proprement dites et les calcaires marneux avec des taux respectivement de 35 à 65 % et de 65 à 95 %.

Les alluvions : Les alluvions, qui appartiennent également à la catégorie des terrains de recouvrement, se situent dans les fonds de vallées actuelles. De structure lenticulaire ou en poches, leur composition est complexe formée de limons, de sables fins, d'argile, de vase et même de tourbe et de limons tourbeux. Elles constituent des terrains compressibles, très mauvais à médiocre pour les fondations.

II.1.4 Relief et topographie

Oued Chouly est caractérisée par son relief montagneux, faisant partie du Massif Tellien, constituant un écran protecteur contre les vents et procurant de nombreuses émergences, d'où l'originalité est la fertilité de sa vallée verdoyante et de part et d'autre de la vallée s'interposent deux chaînes montagneuses parallèles surplombant la vallée : la première est formée de la série des djebels (Taksent, Tichtiouine, Mezoughène et Sidi Chaïb), dont le

point culminant est de 1311 m. La deuxième est la série de monticules représentés par djebel Tazkninet, djebel Sidi Hamza, djebel Dar El Matmar et djebel Dar Sidi Cheikh, dont le point culminant est de 1420 mètres. Les altitudes, au niveau de la vallée, oscillent de 1 063 m dans la partie amont et 725 m dans la partie aval. Il apparaît donc que la dénivelée moyenne de la vallée (partie utile du territoire) est de 338 m sur une distance de 15km, soit une pente moyenne de 2,25 %. (Larbaoui, 2016).

Ainsi, 75% de la surface d'étude (partie Sud) est caractérisée par une topographie accidentée. Cette morphologie reflète celle de l'ensemble physique abrupt des 'Monts de Tlemcen'. Au niveau d'Oued Chouly, la topographie générale est en forme dégradée (cascade), depuis le point culminant à djebel Dar Sidi Cheikh (1420 m) jusqu'au point le plus bas matérialisé au niveau de l'ACL- Yebdar Hella (725 m) (Larbaoui, 2016).

II.1.5 Pédologie

Duchauffour (1977) souligne que la majorité des sols de la région méditerranéenne tous au moins d'un climat de type méditerranéenne sont caractérisé par des sols dit ferralitiques. Oued Chouly présente une texture globale limono-argileuse, la charge en calcaire est généralement moyenne, les sols non salés avec un couleur brun ; la station présentent un pH alcalin dû probablement à la présence de calcium. En effet les valeurs du pH dépendent en grande partie du taux du calcaire total. Oued Chouly, le couvert végétal est plus important à cause de fort taux de matière organique. La roche mère est de nature argilo-marneuse affleure par endroit et les sols bruns ferralitique sont les principaux caractéristiques de cette station (Bensaada, 2016).

II.1.6 Occupation de sol

La quasi-totalité de la surface de bassin est dominé par l'agriculture a environ 1961ha, qui est composé L'arboriculture occupe environ 140 ha avec comme espèces dominantes : cerisier, olivier, figuier, amandier, abricotier, pommier, pêcher, poirier et des rosacées rustiques adaptées aux conditions du milieu (Meghraoui 2009). Le cerisier est l'arbre qui caractérise la vallée d'Oued Lakhdar, c'est une spéculation ancienne à laquelle s'adonne la population et lui accorde un intérêt particulier (Larbaoui, 2016).

On peut diviser cet espace agricole de la commune en 2 sous zone :

- la vallée de l'oued Lakhdar qui s'étende sur une superficie de 600ha ;

- Le piémont et plateaux qui occupent une superficie de 1361 ha (piémont de Miez, yebdar, Hella, Sidi Chaïb) les sols sont de moyenne valeur agro-pédologique ou est pratiquée une culture en sec (Larbaoui, 2016).

Les terres forestières de la commune sont développées sur une superficie de 4779 ha, soit un taux de boisement de 35%, la couverture forestière est constituée de formation végétales arborées et arbustives sur les versants Nord des chaînes montagneuses entourant la haute vallée de l'oued Chouly et des formations dégradées réduites à des maquis, des matorrals bas et des broussailles en altitude. Le patrimoine sylvicole est composé d'une association de plusieurs essences forestières au stade arbre, arbuste et buisson avec une prédominance de:

* Chêne vert (*Quercus ilex*) à Djebel Dar Chikh 1616 m, Djebel Tazkninet 1510 m, Djebel Mekmene Zouil 1388 m (Larbaoui, 2016).

Les parcours est de 1818 ha, formés essentiellement de formation basse ou domine le palmier nain et le Diss. Ces terres se transforment en espace de parcours durant toute l'année, se traduisant par un surpâturage excessif avec toutes ses conséquences sur le sol et l'érosion. C'est ce qui justifie la présence d'un élevage extensif (Larbaoui, 2016).

II.2. Données utilisées en entrée pour la modélisation

Ces données correspondent aux données qui décrivent physiquement le bassin versant ainsi que les données climatiques, qui sont la base des processus hydrologiques :

II.2.1 Les données topographiques

Un modèle numérique de terrain (MNT) est de type Nord Sahara 1959 UTM zone 30 de résolution de 30 m × 30 m (figure 14). Il a été obtenu sur le site de l'US Geological Survey (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

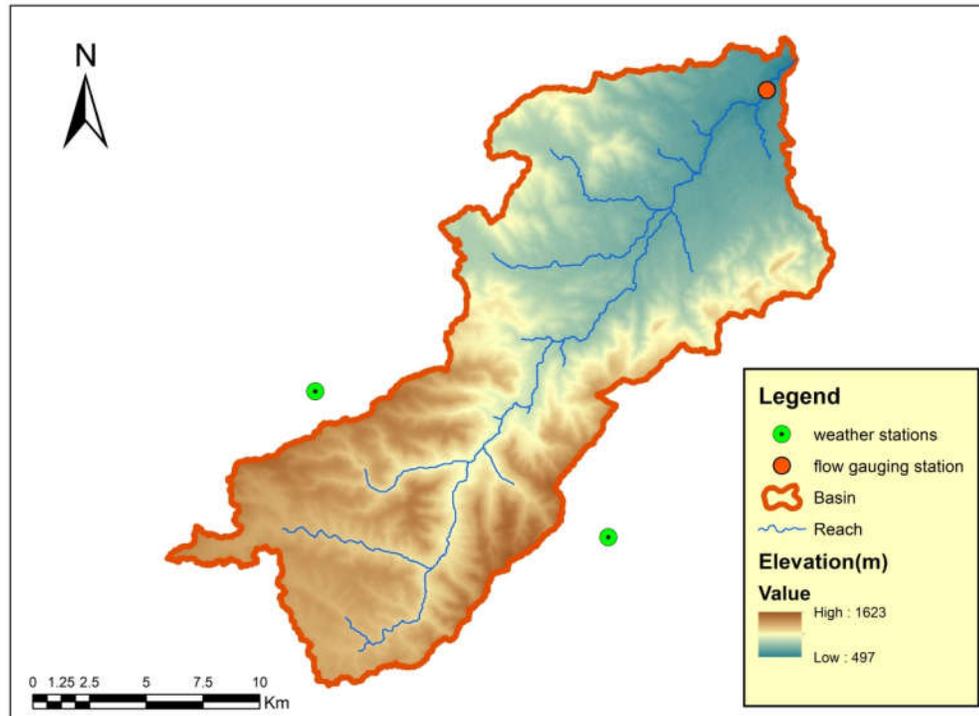


Figure 14. Carte de modèle numérique de terrain (30×30m) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)

La zone d'étude est caractérisée majoritairement par un plateau avec des altitudes qui varient entre 497m et 1623m d'altitude.

II.2.2 Type de sol

Les données concernant le type de sols proviennent de la base de données des sols FAO (Figure 15).

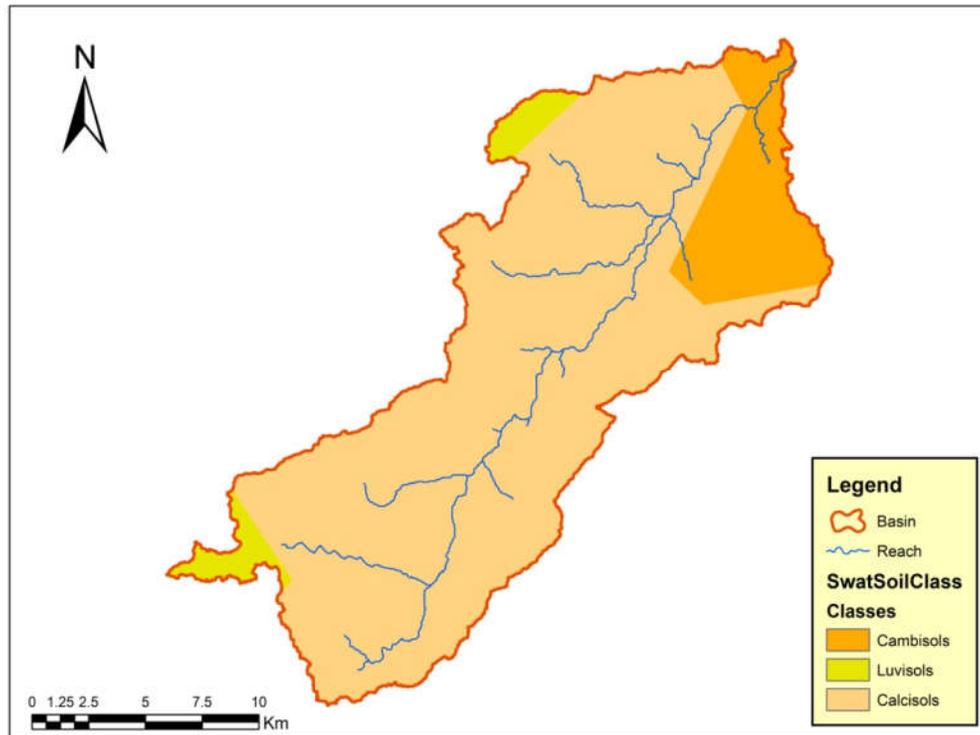


Figure 15. Carte des sols de bassin versant de Chouly (FAO, 2011)

Le bassin versant de Chouly (figure 15) est composé de trois variantes de sols que sont :

- Les Calcisoles
- Les Luvisols
- Les Cambisols

II.2.3 Occupation des sols

Les données de l'occupation des sols proviennent de direction générale des forêts algérienne (figure 16)

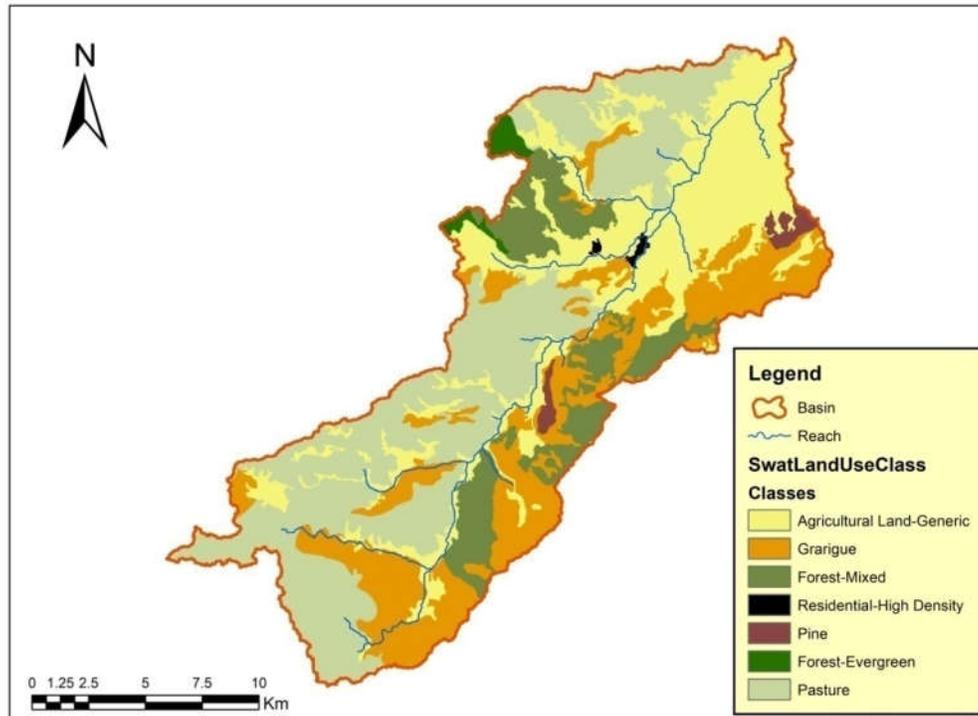


Figure 16. Carte d'occupation des sols de bassin versant de Chouly (direction général des forêts)

II.2.4 Les données météorologiques

Les données climatiques fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydrique algérienne (ANRH) pour la station d'oued Chouly (figure 14) pour la période de 2000 au 2008 qui sont : les précipitations et températures quotidiens minimales et maximales, l'ensoleillement, l'humidité et la vitesse du vent du CFSR (Climate Forecast System Reanalysis).

II.2.5 Mesure de débit

Les mesures quotidiennes de débit de la station exutoire de Chouly (figure 14) de 2000 au 2008 provenant de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH).

II.2.6 Pentas

Les pentes du bassin ont été regroupées en quatre classes (Figure 17) suivantes :

- Pente < 10%

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

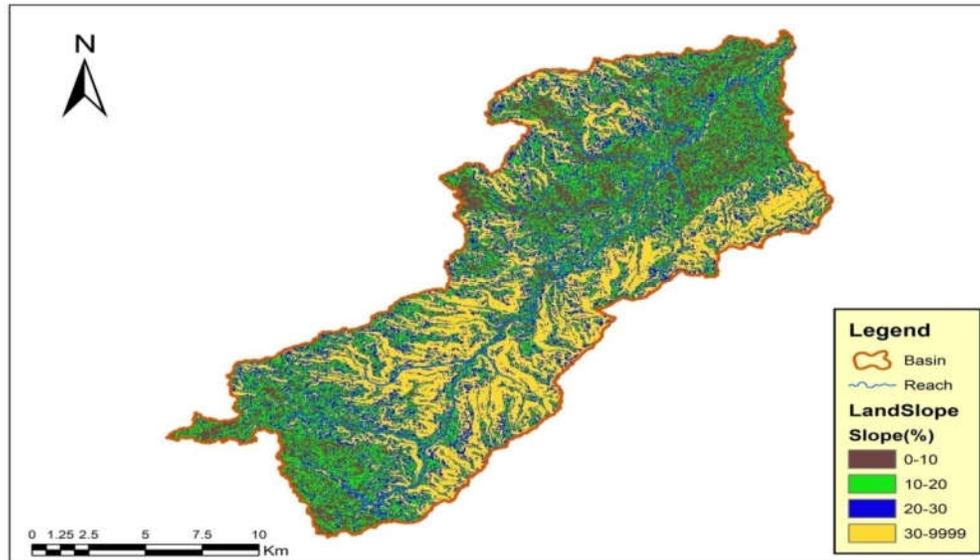


Figure 17. Carte des différentes Classes de pente du bassin versant de Chouly

Une fois que les couches de sol, d'occupation des sols et les pentes ont été intégrées au SWAT, l'ensemble du bassin a été discrétisé en 29 sous bassin (Figure 18), le découpage et comme la carte suivant :

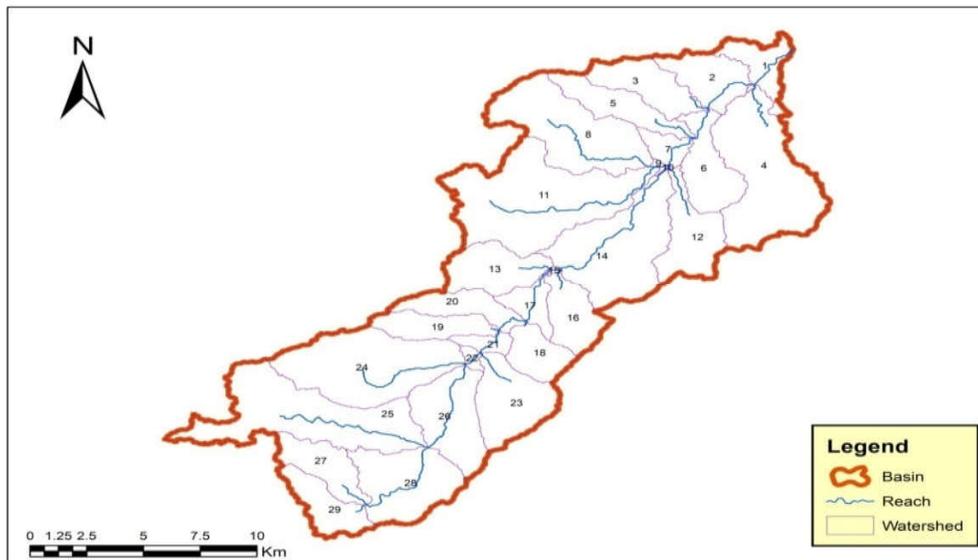


Figure 18. Carte de réseau hydrographique et des sous bassin d'oued Chouly

Le travail réalisé dans ce Mémoire a été fait selon les démarches présentées dans la figure suivante.

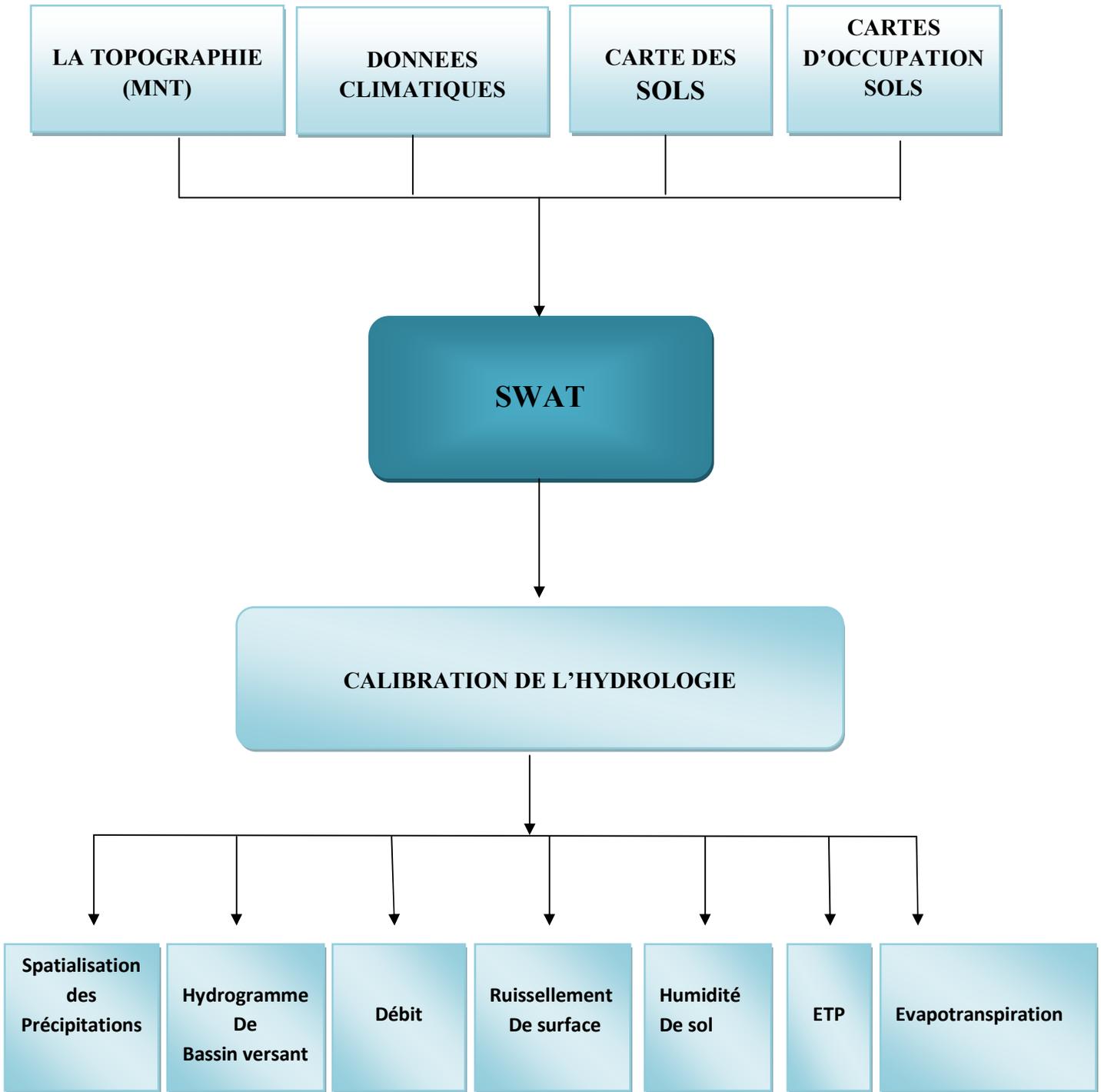


Figure19.Démarche de modélisation utilisée dans cette étude par le modèle SWAT

II.3. Calibration de l'hydrologie

Une fois que les données sont intégrées dans le modèle (le modèle numérique de terrain, type de sol, type d'occupation de sol, la pente, les données climatique), on passe à la simulation. À cette étape, nous déterminons le pas de temps des données de sortie. Nous avons opté dans le cas de cette étude pour un pas de temps mensuel pour nos données de sortie sur la période de simulation allant de 2003 à 2008.

La calibration commence par la sélection de paramètres de calage et de leurs intervalles initiaux. Pour cette étape, nous nous sommes basés sur le choix des bassins semi arides nord-africains présentant des caractéristiques pareilles à notre bassin versant. Ainsi nous avons sélectionné les paramètres les plus souvent utilisés. La phase de calage se fait manuellement on a sélectionnée les paramètres qui influent le débit qui sont présenté dans le chapitre résultats.

Pour l'évaluation de la performance du calage, nous effectuons une observation visuelle des débits simulés et observés afin de voir la qualité des ajustements ; puis nous procédons à une observation quantitative en vérifiant les indices de performance. Les indices de performance que nous vérifions sont :

➤ Le critère de Nash-Sutcliffe (Nash and Sutcliffe ,1970), noté en générale NS ou NSE. Le coefficient de Nash-Sutcliffe mesure le degré d'ajustement entre les valeurs observées et simulées. Il est compris entre $-\infty$ et 1 calculé selon la formule suivante

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \text{ (eq. 4)}$$

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 R^2 qui décrit la dispersion combinée des séries observées et simulée en comparaison des dispersions de chacune des séries. 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 :

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \right]^{0.5}} \right\} \text{ (eq. 5)}$$

Selon les conditions de Moriasi et al.,(2007), le calage est supposé satisfaisant dans le cas des simulations des débits liquides si nous avons :

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

CHAPITRE III :
RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1 Calibration de l'hydrologie

Le tableau suivant présente les paramètres calibrés dans notre projet

Tableau02.Les paramètres calibrés

Paramètres	Définitions	unité	Valeur par défaut	Valeur calibré
CN2mgt	Initial SCS runoff curve number for moisture condition II	jour	35-98	-20%
GW.DELAY.gw	Délai de recharge de l'aquifère		31	120
GW.REVAP.gw	Coefficient d'évaporation à partir de la nappe souterraine		0.02	0.15
ALPHA.BF.gw	Coefficient d'évaporation à partir de la nappe souterraine	jour	0.048	0.65
RCHRG-DP.gw	Coefficient de percolation vers la nappe profonde		0.05	0.55
TRNSRCH.bsn	Fraction des pertes du chenal principal qui pénètrent dans l'aquifère profond		0	0.191
CH.K2.rte	Perméabilité des berges des canaux principaux	mm.h ⁻¹	0	200
CH.N2.rte	Coefficient de Maning des canaux principaux		0.014	0.09
EPCO.hru	Facteur végétal d'évaporation du sol en fonction de la profondeur		1	0.6
ESCO.hru	Facteur sol d'évaporation du sol en fonction de la profondeur		0.95	0.8
OV-N.hru	Coefficient de Manning d'ensemble du réseau hydrographique		0.14	0.45

Le résultat de la calibration est montré dans la figure 20, où les débits simulés et observés sont dans le même intervalle. Le NSE=0.5 et le $R^2= 0.59 > 0.5$.

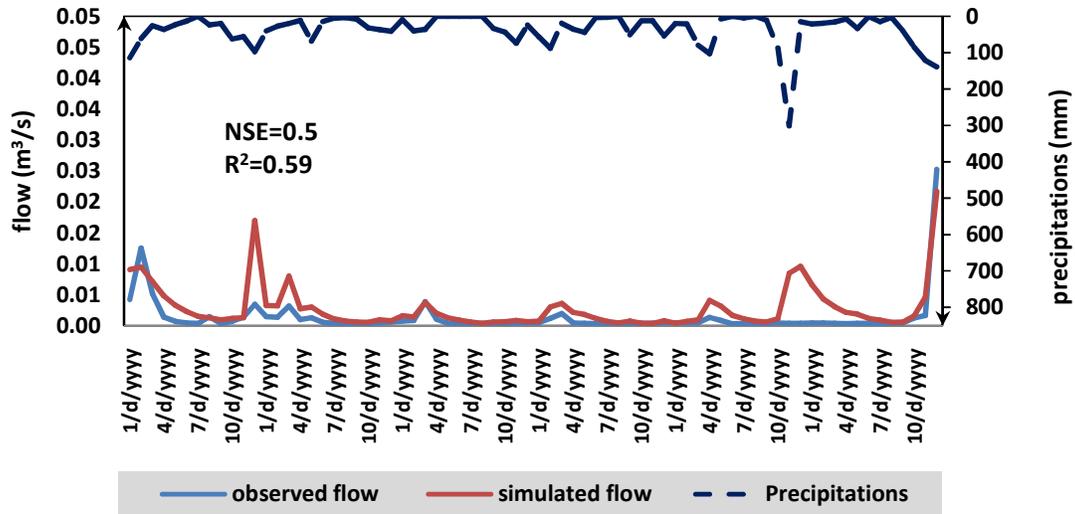


Figure20.Calibration mensuel des débits observés et simulé à la station de jaugeage (2003-2008)

III.2 L’hydrologie d’Oued Chouly

L’hydro-gramme de la rivière d’oued Chouly modélisé par SWAT (figure21) a montré qu’une grande proportion de l’eau de surface provenait du ruissellement de surface (54%), et écoulement latérale (46%) tandis que la contribution l’eau souterraine est nul (0).

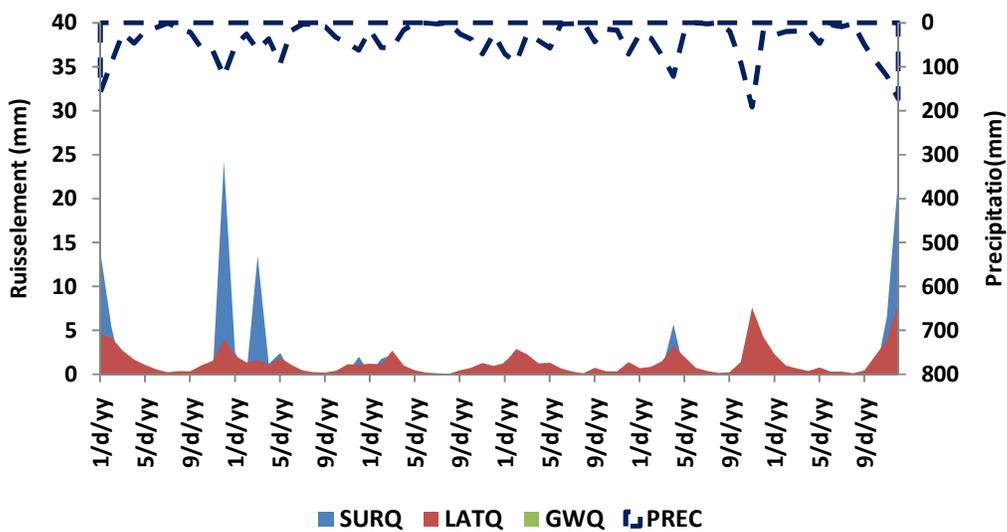


Figure 21. Hydro-gramme d’oued Chouly (PERC=les précipitations ; SURQ=ruissellement de surface ; LATQ=l’écoulement latérale/et GWQ=l’eau souterrain) (2003-2008)

III.3 Le débit

Le débit de notre site d'étude varie entre 0.01 et 0.29m³/s (figure 22). les valeurs les plus faible (0.01-0.04m³/s) à l'amont alors que les valeurs les plus élevés (0.21-0.29m³/s) sont à l'avale

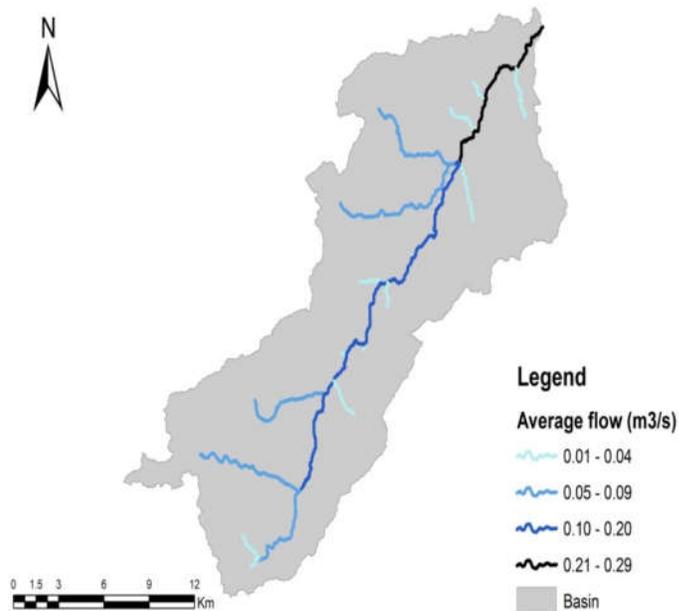


Figure 22. Carte de débit d'Oued Chouly pour la période 2003-2008

III.4 Spatialisation des précipitations

Les précipitations varient entre 442 et 600 mm par an (figure 23), la partie amont de la région d'étude reçoit la plus grande quantité (500 et 600 mm) en comparaison avec la partie avale (442 et 500 mm).

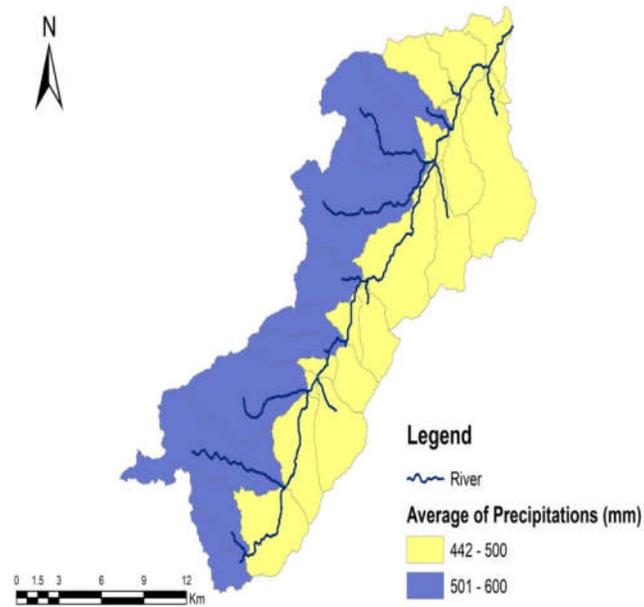


Figure 23. Carte des précipitations moyennes annuelles d’oued Chouly entre (2003 - 2008).

III.5 Ruissellement de surface

Le ruissellement de surface varie entre 4 et 40mm par an (figure 24) pour la période étudiée. Les valeurs les plus élevées sont localisées dans la partie amont du bassin (21 et 40mm), tandis que les plus faibles étaient en aval entre (4 et 20mm).

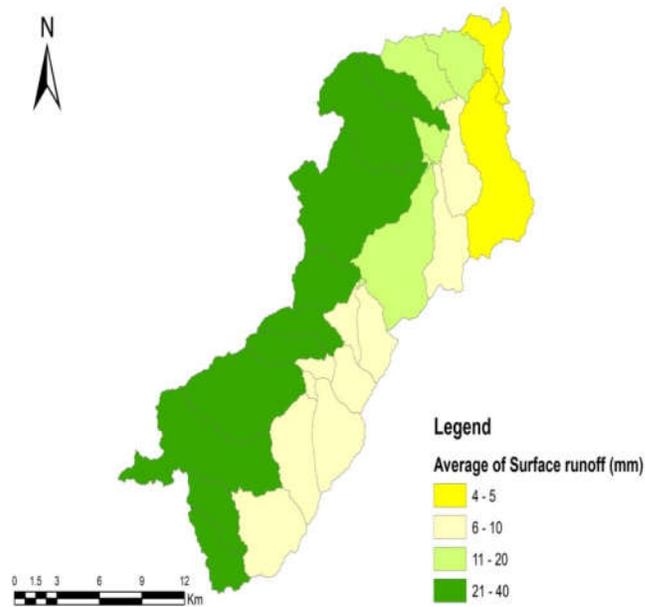


Figure 24. Carte de ruissellement de surface d’oued Chouly entre 2003-2008.

III.6L’humidité de sol

L’humidité de sol de bassin versant de Chouly varie entre 59 et 98 mm par an (figure 25). Les valeurs élevées sont localisées dans la partie avale (68 et 98 mm), alors les plus faibles dans la partie sud-est du site d’étude (59 et 67 mm).

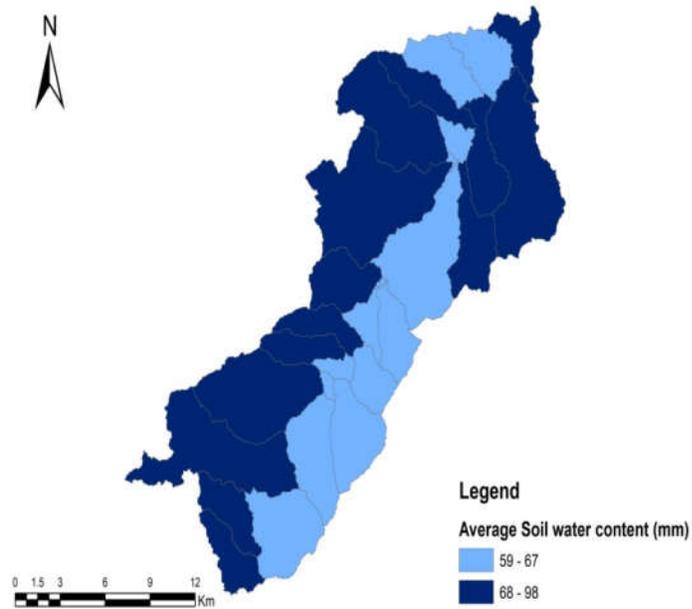


Figure 25. Carte d'humidité de sol moyenne annuelle pour la période de (2003-2008)

III.7 Evapotranspiration

L'évapotranspiration varie entre 332 et 400mm (figure 26) dans le bassin versant, la quantité la plus élevée localisée dans la partie amont (351-400mm), alors que les plus faibles valeurs sont dans la partie avale (332-350mm).

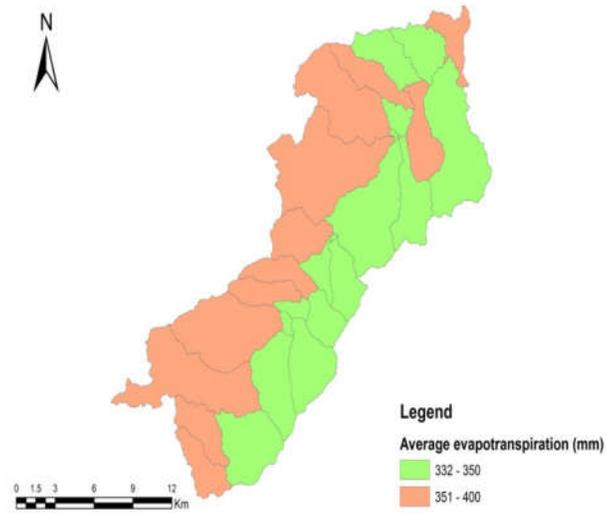


Figure 26. Carte d'évapotranspiration d'oued Chouly pour la période (2003- 2008)

III.8 L'évapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle était entre 1359 et 1362mm par an (figure 27) dans le bassin, la plus grande quantité était dans la partie amont (1361-1362mm) alors que la petite valeur était dans l'aval (1359-1360mm).

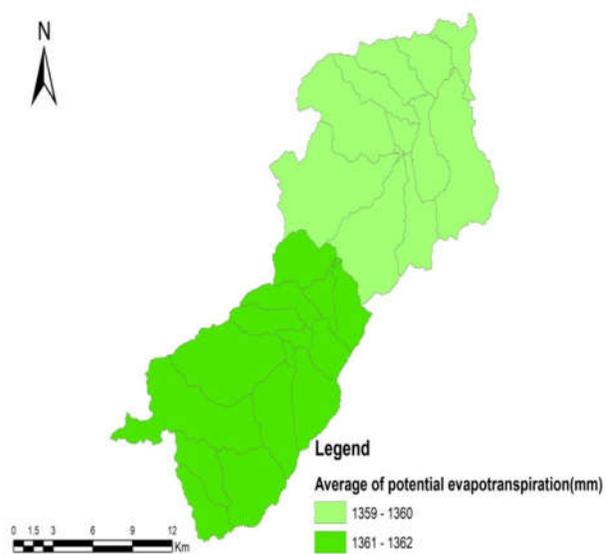


Figure 27. Carte d'évapotranspiration potentielle d'oued Chouly (2003 -2008)

DISCUSSION

Le travail réalisé dans ce manuscrit a permis de réaliser la modélisation des différents composants du cycle de l'eau au sein de bassin versant semi-aride Nord-africain à l'aide du modèle SWAT.

Dans cette étude on a calibré 11 paramètres manuellement (tableau 2). GW.DELAY (délai de recharge de l'aquifère) GW.REVAP (Coefficient d'évaporation à partir de la nappes souterraine), ALPHA.BF (Coefficient de tarissement de la nappe souterraine), RCHRG.DP (Coefficient de percolation vers la nappe profonde), sont des paramètres liés aux eaux souterrains. CN2 (Initial SCS runoff curve number for moisture condition II), OV-N (Coefficient de Manning d'ensemble du réseau hydrographique), des paramètres liés au ruissellement de surface, ESCO (Facteur sol d'évaporation du sol en fonction de la profondeur), EPCO (Facteur végétal d'évaporation du sol en fonction de la profondeur) paramètres liés à l'évapotranspiration réelle et potentielle, CH.K2 (Perméabilité des berges des canaux principaux), CH.N2 (Coefficient de Manning des canaux principaux), deux paramètres parmi les paramètres qui sont liées à l'acheminement de l'eau par canal et la dernière paramètre le TRNSRCH, alors que Markhi et al., (2019) au Sud Maroc dans le bassin versant de N'fis ont calibré 12 paramètres, Briak et al., (2016) au Nord Maroc dans la bassin de Kalaya ont calibré 16 paramètres, Zettam et al., (2020) en Algérie dans la bassin semi-aride de la Tafna ont calibré 16 paramètres et Ben Salah et al., (2016) au Tunisie dans le bassin de Wadi Hatab ont calibré 9 paramètres.

Le calibrage du débit entre 2003 et 2008 à un pas de temps mensuel nous a permis d'obtenir une bonne performance de model (NSE et $R^2 \geq 0.5$) (Nash et Sutcliffe, 1970), les valeurs d l'indice NSE= 0.5 et $R^2= 0.59$ (figure 20). Alors que Zettam et al., (2020) au Algérie dans le bassin semi-aride da Tafna ont trouvé le NSE entre 0.42 et 0.75 et le R^2 comprise entre 0.25 et 0.84, Markhi et al., (2019) au Maroc dans le bassin versant N'fis ont trouvé une gamme de NSE entre 0.5 et 0.61 et une gamme de R^2 entre 0.51 et 0.62, alors que Briak et al., (2016) ont trouvé le NSE entre 0.67 et 0.76 et le R^2 entre 0.68 et 0.77, Ben Salah et al., (2016) ont trouvé le NSE entre 0.23 et 0.67 et le coefficient de R^2 comprise entre 0.41 et 0.83, alors que Bouraoui et al., (2005) au Tunisie ont trouvé que le Nash varié entre 0.31 et 0.65 et le R^2 entre 0.62 et 0.8.

Le model SWAT dans cette étude a été appliqué au bassin versant semi-aride d'oued Chouly. L'application de ce modèle a montré qu'une grande proportion d'eau de surface de la rivière provient du ruissellement (54%) et de flux latéral (46%), alors que la contribution des

eaux souterraines et négligeable (0%). D'après l'étude hydrologique de Gherissi (2012), Khaldi (2005) et Zettam (2018) cette région est caractérisée par un régime d'écoulement irrégulier et une nappe très profonde qui contribue peu à l'écoulement de surface.

Les résultats de l'hydrologie d'oued Chouly modélisée par SWAT pour la période de la simulation entre 2003 et 2008 se rapprochent des résultats de l'ANRH (Agence Nationale des ressources Hydriques Algérienne) (tableau 3), et ont montré que le modèle prédisait adéquatement l'hydrologie du bassin.

Tableau 3. Les résultats de l'hydrologie d'oued Chouly modélisé par SWAT et de l'ANRH

	Valeur de SWAT	Valeur de l'ANRH
Evapotranspiration	332-400 mm/an	300-400 mm/an
Evapotranspiration potentielle	1352- 1362 mm/an	1200-1400 mm/an
Ruissellement de surface	4-40 mm/an	20-100 mm/an
Précipitations	442-600 mm/an	400-550 mm/an
Débit	$0.29m^3/s$	$0.13m^3/s$

Ces résultats montrent que le model hydrologique SWAT a reproduit avec succès le cycle de l'eau dans notre zone d'étude. Ce travail confirme les travaux de plusieurs auteurs qui montrent que SWAT est un outils très efficace pour la gestion de la ressource en eau dans les zones arides et semi arides comme l'Afrique du nord (Mosbahi et al., 2011 ; Kateb et al., 2020 ; Hosseini et al., 2020).

CONCLUSION GENERALE

Notre travail nous a permis l'application et le test de la modélisation hydrologique à l'échelle de bassin versant méditerranéen semi-aride nord-africain.

Le modèle hydro-agro-environnemental (SWAT) utilisé dans cette étude a été appliqué au bassin versant semi-aride d'oued Chouly (Nord-ouest de l'Algérie), à travers une calibration avec succès pour la période allant de 2003 à 2008. Cette démarche a nécessité l'inclusion d'un nombre important de paramètres de calage ajustés manuellement qui ont une influence sur les sorties du modèle. Il a reproduit donc le bilan hydrologique au niveau des différentes entités de la zone d'étude. Ces résultats qu'on a obtenus sont à l'issue d'une longue étape de préparation et structuration des données à une échelle spatio-temporelle à l'aide de système d'information géographique (SIG). En plus d'une étape de calage de modèle qui a été réalisé.

Le calage de modèle sur une période de six ans (Jan 2003 à Déc. 2008) a permis d'avoir un des valeurs satisfaisantes des indices NSE et R^2 . Ces valeurs indiquent une bonne performance de modèle à la phase de calage. En effet la simulation de débit durant cette période est proche de la réalité. Elle a permis de mettre en relief la capacité de modèle à reproduire de manière satisfaisante la série de débit à l'échelle mensuelle. Ces résultats de la simulation ont montré que le modèle simule de manière adéquate l'hydrologie d'oued Chouly. Ensuite on a montré que les composants du bilan hydrique modélisé par SWAT pour la période de la simulation sont cohérents avec les données de l'ANRH.

Nous avons aussi réussi à spatialiser le débit dans les différentes parties du réseau hydrographique, les précipitations, le ruissellement de surface, l'humidité du sol, l'évaporation, l'évapotranspiration à l'échelle bassin d'étude. De plus, les résultats indiquent que l'eau de surface est alimentée par une grande partie de ruissellement et l'écoulement latéral et non pas une alimentation de la nappe.

Enfin notre étude a montré que ce modèle est un outil très efficace adapté à la modélisation et à la compréhension du fonctionnement hydrologique et de gestion dans les bassins versants en milieux semi-aride.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

- Abbaspour, K. C., et al. 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.
- Allen, R.G. 1986. A Penman for all seasons. *J. Irrig. And Drain Engng.*, ASCE 112 (4):348-368.
- Allen, R.G., M.E. Jensen, J.L. Wright, and R.D. Burman. 1989. Operational estimates of evapotranspiration. *Agron. J.* 81 : 650-662.
- Amboise B. 1998. La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant. *Processus, Facteur, Modèles*. H.G.A. (Ed.), Bucarest, 200 p.
- Amboise B., 1991. La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant : *Processus, Facteurs, Modèles*. HGA, Bucarest 200p.
- Andro L., 2019, Modélisation hydrologique SWAT du bassin versant de la Charente : du traitement des données au calage du modèle, Mémoire de master, Univ de Rennes, Coastal, 31p.
- Arnold J.G., Kiniry J.R., Srinivasan R., Williams J.R, Haney E.B., Neitsch S.L., 2012. "Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation, version 2012." Grassland, Soil and Water Research Laboratory - Agricultural Research Service. Blackland Research Center - Texas Agricultural Experiment Station.
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. et Williams, J. R., 1998. "Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development." *JAWRA*, 34(1), 73-89.
- Arnold, J.G., Allen, P.M., Bernhardt, G., 1993. A Comprehensive Surface-Groundwater Flow Model. *Journal of Hydrology*, 142(1-4): 47-69.
- Ben Salah, Narjes Chaâbane; Abida, Habib (2016). *Runoff and sediment yield modeling using SWAT model: case of Wadi Hatab basin, central Tunisia*. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(11), 579-. doi:10.1007/s12517-016-2607-3
- Benabdelkader, A.; Taleb, A.; Probst, J.L.; Belaidi, N.; Probst, A. (2018). *Anthropogenic contribution and influencing factors on metal features in fluvial sediments from a semi-arid Mediterranean river basin (Tafna River, Algeria): A multi-indices approach*. *Science of The Total Environment*, 626(), 899-914. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.01.107
- Bendaoud, A., Haddou, K., Taleb, A., & Belaidi, N. (2020). *Assessment of subsurface riverbed clogging by fine sediments in a semi-arid catchment of north-western Algeria*. *African Journal of Aquatic Science*, 1-13. doi:10.2989/16085914.2020.1719814
- Bennis. S, Hydrologie et hydraulique, 2^{eme} edition. 2009, p 230.

Bensaada M., 2016, Contribution à l'étude d'un inventaire exhaustif de la flore de la région d'oued lakhdar, Mémoire de master, Université de Tlemcen, 86p.

Beven, K. (1993). "Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological modelling." *Advances in Water Resources* 16: 41-51

Boithias, L., 2011, Modélisation des transferts de pesticides à l'échelle des bassins versants en période de crue, Thèse de Doctorat, Université Toulouse III Paul Sabatier, 220 p.

Bouanani, A., 2003. Hydrologie, transport solide et modélisation Etude de quelques sous-bassins de la Tafna (NW – Algérie), Thèse de Doctorat, Univ, Tlemcen: 250 p.

Bouayad A., 2011- Dynamique spatio- temporelle du peuplement macrobentique de long de l'oued chouly .mém. Magistère. Univ. Tlemcen p : 10.

Boudhraa H. (2007). Modélisation pluie - débit à base géomorphologique en milieu semi-aride rural Tunisien : Association d'approches directe et inverse. Thèse de Doctorat, Univ. 7 novembre Carthage (Tunisie), 227 p., 129 fig.

Briak, Hamza; Moussadek, Rachid; Aboumaria, Khadija; Mrabet, Rachid (2016). Assessing sediment yield in Kalaya gauged watershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model. *International Soil and Water Conservation Research*, (), S2095633916300211–. doi:10.1016/j.iswcr.2016.08.002

Chaponnière A., 2005. Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride. Cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas Marocain). Thèse, Institut National Agronomique Paris-Grignon, France, 268p.

Daniel, C., Le Boeuf, P, Dobbins et Abkowitz, 2011. Watershed modeling and its applications: A state-of-the-art review. *Open Hydrology Journal*, 5 (2): pp. 26-50.

Dingman, S. I. Physical hydrology., 2^{ème} Edition ,2002 ,p 430 .

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.

Duchauffour Ph., 1977 - Pédologie 1. Pédogenèse et classification. Masson. Paris, p : 477.

Eagleson, P.S. (1991).Preface. In: *Opportunities in the Hydrologic Sciences*, N. R. Council(Ed.), National Academy Press, Washington, 348 p

Fu, Baihua; Merritt, Wendy S.; Croke, Barry F.W.; Weber, Tony; Jakeman, Anthony J. 2018. A review of catchment-scale water quality and erosion models and a synthesis of future prospects. *Environmental Modelling & Software*, (), S1364815218307461–. doi:10.1016/j.envsoft.2018.12.008

Furusho, C., 2011, Modélisation hydrologique des bassins versants périurbains, thèse de doctorat, école centrale de Nantes, 235p ;

- 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. *Trans. Asabe*, 50(4).
- 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 chaussées, France.
- Gherissi R., Bouanani A., Baba-hamed K., 2013, Modélisation pluie débit à l'aide d'un modèle conceptuel global : application au bassin d'Oued Lakhdar (Tafna New Algérien), Proceeding du Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement, Ouergla.
- Ginocchio R, 1978, L'énergie hydraulique, Editions Eyrolles, 598p.
- Gnouma, R., 2006, Aide à la calibration d'un modèle hydrologique distribué au moyen d'une analyse des processus hydrologiques : application au bassin versant de l'Yzeron, thèse de doctorat, institue nationale des sciences appliquées de Lyon- France, 448p ;
- Gray D. M., 1972. Manuel des principes d'hydrologie. Comité National Canadien de la Décennie Hydrologique Internationale. Ottawa.
- Green, W., et Ampt, G. 1911. "Studies of soil physics Part I : The flow of air and water through soils." *Journal of Agricultural Science*, 4, 1-24.
- Grusson, Y., 2016, modélisation de l'évolution hydro climatique des flux et stocks d'eau verte et d'eau bleue du bassin versant de la Garonne, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 382p.
- Hachemi F., 2017, Les diptères simuliidae d'Oued Chouly (sous- affluent d'Oued Tafna) : Diversité et répartition, Mémoire de Master, Université de Tlemcen, 53p.
- Haddou, Karima; Bendaoud, Amina; Belaidi, Nouria; Taleb, Amina (2018). *A large-scale study of hyporheic nitrate dynamics in a semi-arid catchment, the Tafna River, in Northwest Algeria. Environmental Earth Sciences*, 77(13), 520-. doi:10.1007/s12665-018-7673-2
- Hargreaves G. H. et Riley J. P., 1985. "Agricultural benefits for Senegal River Basin." *J.Irrig. and Drain. Engr.*, 111(2), 113-124.
- Hargreaves, G. H. 1975. "Moisture Availability and Crop Production." *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 18(5), 980-984.
- Hosseini, S. H., & Khaleghi, M. R., 2020. Application of SWAT model and SWAT-CUP software in simulation and analysis of sediment uncertainty in arid and semi-arid watersheds (case study: the Zoshk–Abardeh watershed). *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(4), 2003-2013 ;

- Kateb, Z., Bouchelkia, H., Benmansour, A. et al. 2020. Sediment transport modeling by the SWAT model using two scenarios in the watershed of BeniHaroun dam in Algeria. *Arab J Geosci* 13, 653. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05623-0>
- Kettab A., 2003, L'eau en Afrique de Nord : quelles stratégies ? Quelles solutions ?quelles perspectives ?, L'économie de la ressource en eau, Colloque Hydrotop.
- Kettab A., Mitiche R., Bennaçar N., 2008. De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies." *Revue des sciences de l'eau* 212 : 247–256. doi : 10.7202/018469ar.
- Khaldi, A., 2005. Impacts de la Sécheresse sur le Régime des Ecoulements Souterrains Dans les Massifs Calcaires de l'Ouest Algérien "Monts de Tlemcen-Saida". Thèse de doctorat d'état, Université d'Oran, Oran, Algérie, p. 239.
- Kharchaf Y., 2013. Apport des SIG et télédétection à la modélisation des bassins versants Cas du bassin Oum Er-Rbia (Maroc). Thèse de doctorat - Faculté des sciences Ain-Chock Casablanca. 144p.
- Khemmoudj K., Bendadouche H., Merabet S., 2016, Les ressources en eau dans une région semi aride et développement durable, cas de la région de djemila Nord –Est Algérien, Faculté des Sciences de la Nature et la Vie, Université de Béjaia, Algérie *Larhys journal*, ISSN1112-3680, n 26, pp. 249-258.
- Kherbache N., 2014, La problématique de l'eau en Algérie : Enjeux et contraintes, Mémoire de magister, Université de Béjaia, 268p.
- Laborde J.P., 2009. Eléments d'hydrologie de surface. Cours : Cycle d'ingénieur Hydroprotech. Ecole polytechnique de l'université de Nice. 202p
- Larbaoui I., 2016, Indices spatiaux et dynamique du paysage éco-forestier dans la commune d'Oued Lakhdar (W. Tlemcen), Mémoire de Master, Université de Tlemcen, 83p.
- Marchandise A. 2007. Modélisation hydrologique distribuée sur le gardon d'Anduze : étude comparative de différents modèles pluie-débit, extrapolation de la normale à l'extrême et tests d'hypothèses sur les processus hydrologiques. Thèse de Doctorat, Univ. Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, 214 p., 26 fig.
- Markhi, A.; Laftouhi, N.; Grusson, Y.; Soulaïmani, A. 2019. Assessment of potential soil erosion and sediment yield in the semi-arid N'fis basin (High Atlas, Morocco) using the SWAT model. *Acta Geophysica*, (), -. doi:10.1007/s11600-019-00251-z
- Michel, C. (1989). Hydrologie appliquée aux petits bassins versants ruraux, *Cemagref, Antony*.
- Monteith, J. L., 1965."Evaporation and the environment." In: The state and movement of water in living organisms, XIXth symposium Soc. for Exp. Biol., Swansea, Cambridge University Press, 205-234.

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.

Mosbahi, M., Benabdallah, S., &Boussema, MR , 2011. Modélisation hydrologique dans un bassin versant semi-aride à l'aide du modèle SWAT. *Journal des sciences et de l'ingénierie de l'environnement* , 5 (12

Musy A., 2005. Note de cours "Hydrologie générale" de l'Ecole Polytechnique Fédérale deLausanne (EPFL). URL: <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/>.

Nash, J.E.; Sutcliffe, V., 1970. River flow forecasting through conceptual modèles: Part I. Adiscussion of principles. *J. Hydrol.*, 10, 282–290.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. et Williams, J. R., 2005. "Soil and WaterAssessment Tool theoretical documentation, version 2005."Grassland, Soil and WaterResearch Laboratory - *Agricultural Research Service*.Blackland Research Center – TexasAgricultural Experiment Station. P. 494

ONU, 2018, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, rapport mondial des nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau, les solutions fondées sur la nature pour la gestion de l'eau .un water.

Penman, H. L. 1948."Natural Evaporation from open water, bare soil and grass. "*ProceedingsRoyal Society London*,120-145.

Penman, H.L., 1961."Weather, plant and soil factors in hydrology."Weather, 16: 207-219

Perrin, C. Vers une amélioration d'un modèle pluie-débit au travers d'une approche comparative. 2000. PhD Thesis. Ph. D. Thesis, INP Grenoble/Cemagref Antony, France.

Pezet, F., 2014.Bilans et transferts de phosphore dans le bassin versant du lac du Bourget: caractérisation, interprétation et modélisation des flux, Thèse de doctorat, Université de Grenoble- France, 256p.

Priestley, C. H. B. et Taylor, R. J., 1972. "On the assessment of surface heat flux andevaporation using large-scale parameters." Mon. *Weather. Rev*, 100, 81-92.

Rahmi A., 2014- Contribution à l'étude des Trichoptères au niveau d'Oued Chouly (Nord-Ouest Algérie).Mém MST. Univ. Tlemcen .P :38.

Roche, F. M. Dictionnaire francais d'hydrologie de surface (avec équivalents en anglais, espagnol, allemand). 1986.

Roche, P. A. Les modèles. Gestion des Eaux: Automatisation, Information et Télégestion, F. Valiron (Ed.), Presses de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées, 1988, 138-166.

Roche, P.A; MIQUEL, Jacques; GAUME, Eric. Hydrologie quantitative: Processus, modèles et aide à la décision. Springer Science & Business Media, 2012.

S.C.S. 1972."Estimation of direct runoff from storm rainfall."National Engineering Handbook Section 4-Hydrology, USDA, ed., pp 10.1-10.24.

Samimi, Maryam; Mirchi, Ali; Moriasi, Daniel; Ahn, Sora; Alian, Sara; Taghvaeian, Saleh; Sheng, Zhuping (2020). *Modeling arid/semi-arid irrigated agricultural watersheds with SWAT: Applications, challenges, and solution strategies*. Journal of Hydrology, 590(), 125418–. doi:10.1016/j.jhydrol.2020.125418

Szczypt, C, 2012. Hydrologie spatiale pour le suivi des sécheresses du bassin méditerranéen. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 197p.

Taia.S, 2015. Modélisation de l'hydrologie et de l'érosion du bassin versant de l'Oued Beht(Nord-Ouest du Maroc). Mémoire de Master, Faculté des sciences Kénitra. Maroc, 123p.

Taleb A., Belaidi N., Sánchez-Pérez JM., Vervier P., Sauvage S., Gagneur J., 2008. The role of the hyporheic zone of a semi-arid gravel bed stream located downstream of a heavily polluted reservoir (Tafnawadi, Algeria). *River Research and Applications*, Volume 24, Issue 2, pages 183-196.

Yadi (B.), 1991- Nature et évolution de la matière minérale et organique dans le bassin de la TAFNA (N.W.Algérien).

Yonaba.H, 2009. Modélisation hydrologique hybride : réseau de neurones- Modèle conceptuel. Thèse de doctorat, Faculté des études supérieures de l'Université laval, Québec, 182p ;

Zettam, A., 2018. Transfert des nitrates du bassin versant de la Tafna (Nord-Ouest de l'Algérie) vers la mer Méditerranée - approche couplant mesures, modélisation et changement d'échelle vers les grands bassins versants Nord africains. Doctorat, Ecologie Fonctionnelle, Institut National Polytechnique de Toulouse,

Zettam, Amin; Taleb, Amina; Sauvage, Sabine; Boithias, Laurie; Belaidi, Nouria; Sanchez-Perez, José Miguel (2020). Applications of a SWAT model to evaluate the contribution of the Tafna catchment (north-west Africa) to the nitrate load entering the Mediterranean Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(8), 510–. doi:10.1007/s10661-020-08482-0.

الملخص:

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو المحاكاة الهيدروليكية و انجاز الحوصلة المائية لحوض واد الشولي (322 كم²) المتواجد بشمال غرب الجزائر باستعمال نموذج سواط. النموذج أظهر كفاءة عالية (ناش= 0.5، ر² = 0.59) في التحليل الزمني والمكاني للحوصلة المائية ما بين 2003-2008. نتائج الدراسة بينت أن كمية الأمطار محصورة ما بين 442-600 مم/السنة، تدفق المياه 0.01-0.29 م³/ثا، الجريان 4-40 مم/السنة، التبخر 322-400 مم/السنة، التبخر المحتمل 1352-1362 مم/السنة و رطوبة التربة 50-100 مم/السنة.

الكلمات المفتاحية: المحاكاة الهيدروليكية- سواط- واد الشولي- شمال غرب الجزائر.

Résumé :

Le principal objectif de ce travail est la modélisation hydrologique et la réalisation de bilan hydrique du bassin versant d'Oued Chouly (322 km²) situé au Nord-Ouest de l'Algérie en appliquant le modèle hydro-agro environnemental SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Le modèle a montré une bonne performance (NSE= 0.5 ; R² = 0.59) dans l'évaluation et l'analyse spatio-temporelle du cycle hydrologique de l'eau entre 2003 à 2008. Les résultats dans la zone d'étude ont montrés que les précipitations varient 442-600 mm/an, le débit 0.01-0.29 m³/s, le ruissellement 4-40 mm/an, l'évapotranspiration entre 332-400 mm/an, l'évapotranspiration potentiel 1352-1362 mm/an et l'humidité de sol 50-100 mm/an.

Mots Clés : la modélisation hydrologique, SWAT, Oued Chouly, Nord-Ouest de l'Algérie.

Abstract:

The main objective of this work is hydrological modeling and the realization of the water balance of the Oued Chouly (322 km²) basin, located in the north-west of Algeria by applying hydro-agro environmental SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model. SWAT presented a good performance (NSE= 0.5; R² = 0.59) in evaluation in analyzing spatiotemporal of hydrological cycle between 2003-2008. Modeling results in study site showed that rainfall varies between 442-600 mm/year, flow 0.01-0.29 m³/s, runoff 4-40 mm/year, evaporation 332-400 mm/year, potential evaporation 1352-1362 mm/year and soil humidity 50-100 mm/year.

Key Words: hydrological modeling, SWAT, Chouly river, North west of Algeria.