



## MEMOIRE DE MASTER

*Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique*

**Option: ALIMENTATION EN EAU POTABLE**  
**THEME :**

**Les Processus de la Modélisation des débits liquides par le  
modèle SWAT: cas du bassin de la Macta**

**Présenté par :**  
**DJERBOUA BESMA**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
AMMARI Abdelhadi	M.C.A	Président
HACHEMI Abdelkader	M.C.A	Examinateur
KADI Latifa	M.A.A	Examinatrice
SALHI chahrazed	M .C.B	Promotrice

**Session Mars 2024**

# Dédicace

A l'occasion de cette journée mémorable qui clôture le cycle de mes études, je  
dédie mon travail :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie  
et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir ; **mon père**.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma  
vie et Mon bonheur ; **maman** que j'adore.

Je dédie ce travail à ceux qui ont été ma principale source de plaisir, en raison de  
leurs précieux conseils, de leur soutien inestimable et de leurs encouragements  
constants. Je tiens à exprimer ma gratitude envers les personnes qui ont toujours  
été présentes pour moi, m'apportant leur aide et leurs encouragements tout au  
long de mon parcours académique. Mon frère mon bras droit **ALLA EDDINE**  
et mes chères sœurs **RADJA, SONDOUS, FIDAA** et ma papillon **SADJIDA**

Je vous dédie ce travail de tout cœur.

Je remercie s'adresse également **SALHI chahrazed** pour sa générosité et sa  
grande patience dont elle a su faire preuve malgré sa charge académique et  
professionnelle..

A mes collègues et professeurs de l'ENSH.

# Remerciements

Tout d'abord, je remercie le bon Dieu, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de réaliser ce modeste travail.

Je remercie mes parents respectifs pour leur soutien durant mon parcours de formation.

Toute ma gratitude pour ma promotrice, **Mme SALHI chahrazed**, pour m'avoir accordé sa confiance pour mener à bien ce projet, pour l'encadrement de ce travail et sa disponibilité, ainsi que ses conseils. Son enseignement de qualité a largement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Ensuite, je remercie chaleureusement les membres du jury qui ont accepté de juger ma mémoire de fin d'études.

Je tiens à présenter par cette occasion tout mon respect à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, du primaire jusqu'au cycle universitaire.

## ملخص:

والزمني المكاني المقياس مستوى اختلاف حسب المائية الدورة عمل على أساساً تركز السوائل تدفقات نمذجة ان باستخدام الهيدرولوجية، بالاستجابة يتعلق فيما المقطع المائي الحوض بمسلك المتعلق القانون تحديد هو هدفنا. مائي لحوض مثل تصميمي نموذج

SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

في هذا الجزء من البحث، تم إجراء بحث مرجعي حول الدراسات المماثلة حيث تم جمع ومعالجة المتغيرات ، بالإضافة إلى شرح الخطوات المختلفة للمحاكاة الداخلية والخارجية و شرح إجراءات دمج هذه المعطيات في البرنامج ARCSWAT

الكلمات المفتاحية: نمذجة تدفق المياه، نموذج SWAT ، محاكاة، حوض مائي المقطع

## Résume :

La modélisation des débits liquides se concentre essentiellement sur le fonctionnement du cycle hydrologique à différentes échelles spatiales et temporelles d'un bassin hydrographique. Notre objectif est de définir la loi comportementale du bassin hydrographique de Macta en ce qui concerne la réponse hydrologique, en utilisant un modèle conceptuel tel que **SWAT (Soil and Water Assessment Tool)** ;

Dans cette partie d'étude, une recherche bibliographique sur les études similaires a été effectuée ; les variables d'entrée et de sortie ont été collectés et traités, ainsi que l'explication de la procédure d'intégration de ces données dans le logiciel **ARCSWAT** et expliqué les différentes étapes de simulation ont été aperçu sur les résultats

**Mots clé** : modélisation des débits liquides, modèle SWAT, simulations, bassin versant de la macta.

## Abstract:

The modeling of liquid flows focuses primarily on the function of the hydrological cycle at various spatial and temporal scales of a hydrographic basin. The objective of this project is to define the behavioral law of the Macta hydrographic basin regarding hydrological response, using a conceptual model such as **SWAT (Soil and Water Assessment Tool)**. In this part of the research, a literature review of similar studies has been conducted. The input and output variables have been collected and processed. The procedure for integrating these data into the ARCSWAT software, as well as the various simulation steps, has been explained.

**Keywords**: Modeling liquid flow, SWAT model, simulations, Macta watershed

# Sommaire:

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale : 1

## **CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE..... 2**

I.1. Introduction :..... 2

I.2. Modélisation hydrologique : ..... 2

I.2.1. Typologie des modèles hydrologiques : ..... 3

I.2.2. Objectif de la modélisation : ..... 5

I.2.3. Les approches de la modélisation : ..... 5

I.2.4. La Classification des modelés :..... 6

I.3. Le modèle SWAT ..... 9

I.3.1. Description de modèle SWAT :..... 9

I.3.2. Définition de critères de performance objectifs :..... 10

I.3.3. Le développement de modèle SWAT :..... 13

I.3.4. Les différentes recherches sur la modélisation avec le modèle SWAT :..... 14

I.4. Conclusion :..... 20

## **CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODE ..... 21**

II.1. Introduction : ..... 21

II.2. Présentation de la zone d'étude : ..... 21

II.2.1. Situation géographique de bassin versant de la Macta : ..... 21

II.2.2. Situation hydrographique de bassin versant de la Macta : ..... 22

II.2.3. Situation géologique de bassin versant de la Macta : ..... 24

II.3. Choix du modèle :..... 25

II.3.1. Problématique :..... 26

II.3.2. Détermination des paramètres : ..... 26

II.3.3. Possibilité de simulation :..... 26

II.3.4. Facilité d'utilisation : ..... 26

II.4. Aspect hydrologique de SWAT :..... 26

II.5. Spatialisation des processus : ..... 29

II.6. Calage et validation du modèle : ..... 29

II.7. Conclusion :..... 30

## **CHAPITRE III : ANALYSE DES DONNEES DE BASE ..... 31**

III.1. Introduction : ..... 31

III.2. Base des données :.....	31
III.2.1. Modèle numérique de terrain (MNT) :.....	32
III.2.2. Type de sol : .....	33
III.2.3. Occupation du sol :.....	34
III.2.4. Données climatiques : .....	35
III.2.5. Données hydrométriques :.....	36
III.2.6. Données pluviométriques :.....	37
III.3. Conclusion :.....	42

**CHAPITRE IV : APPLICATION DE MODELISATION PAR LE MODEL SWAT SUR ARCGIS ET ARCSWAT ..... 43**

<b>IV.1. Introduction : .....</b>	<b>43</b>
-----------------------------------	-----------

<b>IV.2. Modélisation du bilan hydraulique : .....</b>	<b>43</b>
--	-----------

IV.2.1. Délimitation du bassin versant :.....	43
IV.2.2. Intégration des données météorologiques :.....	47
IV.2.3. Simulation :.....	49
IV.2.4. Description des fichiers de sortie (output): .....	49

<b>CONCLUSION GENERAL :.....</b>	<b>51</b>
----------------------------------	-----------

# Liste des figures

## *CHAPITRE I : synthèse bibliographique*

<b>FIGURE .I . 1</b> : LES VARIABLES D'UN MODELE HYDROLOGIQUE (D'APRES GAUME, 2002) .....	4
<b>FIGURE .I . 2</b> : SCHEMA D'UN MODELE HYDROLOGIQUE (GAUME, 2002).....	4
<b>FIGURE .I . 3</b> : SCHEMA DE DESCRIPTION DES MODELES HYDROLOGIQUES (ANCTIL ET AL. 2005) .....	7
<b>FIGURE.I . 4</b> : ARCHITECTURE DE L'INTERFACE DU COUPLAGE SWAT ET SIG ( BIAN ET AL. 1996). .....	10

## *CHAPITRE II: matériel et méthode*

<b>FIGURE.II . 1</b> : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA MACTA.....	22
<b>FIGURE.II . 2</b> . SOUS BASSINS VERSANTS DE LA MACTA ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	24
<b>FIGURE.II . 3</b> : CARTE GEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA MACTA .....	25
<b>FIGURE.II . 4</b> :DESCRIPTION DES COMPARTIMENTS DE SWAT (DUROS, 2001). .....	27
<b>FIGURE.II . 5</b> : STRUCTURE HYDROLOGIQUE DE SWAT (SOURCE ECKARD ET ARNOLD 2000).....	28
<b>FIGURE.II . 6</b> : CONSTITUTION DES HRU DANS SWAT (RUELLAND ET AL. 2004).....	29

## *Chapitre III : Analyse des données de base*

<b>FIGURE. III . 1</b> : MODELE NUMERIQUE DU TERRAIN ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT.....	33
<b>FIGURE. III . 2</b> : LA CARTE PEDOLOGIQUE DE TYPE DE SOL DE LA MACTA .....	33
<b>FIGURE. III . 3</b> . PRESENTATION SPATIALE DES CARACTERISTIQUES DES STATIONS DE BASSIN VERSANT LA MACTA .....	36
<b>FIGURE III . 4</b> , L'EVOLUTION SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS EST SIMILAIRE DANS TOUTES LES STATIONS.....	37
<b>FIGURE. III . 5</b> . VARIATION MENSUELLE DES PRECIPITATIONS POUR LES 3 STATIONS ETUDIEES .....	38
<b>FIGURE. III . 6</b> . AJUSTEMENT DE LA SERIE PLUVIOMETRIQUE A LA LOI LOG NORMAL DE LA STATION SAIDA.....	40
<b>FIGURE. III . 7</b> . AJUSTEMENT DE LA SERIE PLUVIOMETRIQUE A LA LOI LOG NORMAL DE LA STATION SAIDA.....	41
<b>FIGURE. III . 8</b> . AJUSTEMENT DE LA SERIE PLUVIOMETRIQUE A LA LOI LOG NORMAL DE LA STATION SAIDA.....	42

# Liste des Tableaux:

## *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

<b>TABLEAU .I. 1</b> : CRITERES D'EVALUATION DE LA PERFORMANCE DE SWAT ( MORIASI ET AL. 2007).....	11
--	----

## *Chapitre II: Matériel et méthode*

<b>TABLEAU.II. 1</b> : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES SOUS BASSINS VERSANTS DE LA MACTA.....	23
--	----

## *Chapitre III : Analyse des données de base*

<b>TABLEAU .III. 1</b> : DONNEES D'ENTREES ET DE SORTIE DU MODELE SWAT .....	31
<b>TABLEAU .III. 2</b> : STATIONS CLIMATOLOGIQUE.....	35
<b>TABLEAU .III. 3</b> :CARACTERISTIQUES DES STATIONS HYDROMETRIQUES .....	37
<b>TABLEAU .III. 4</b> . REPARTITION MENSUELLE DES PLUIES ANNUELLES.....	37
<b>TABLEAU .III. 5</b> . RESULTAT DU TEST D'HOMOGENEITE .....	39
<b>TABLEAU .III. 6</b> : AJUSTEMENT A LA LOI LOG NORMALE .....	40
<b>TABLEAU .III. 7</b> : AJUSTEMENT A LA LOI LOG NORMALE .....	40
<b>TABLEAU .III. 8</b> : AJUSTEMENT A LA LOI LOG NORMALE .....	41

# INTRODUCTION GENERALE

# *Introduction générale :*

Les cours d'eau, de plus en plus exploités pour divers usages, peuvent également représenter une menace pour les populations riveraines et les infrastructures artistiques. Les hydrologues sont ainsi sollicités pour la prévision des crues ou des étiages, la prédétermination des débits pour le dimensionnement des ouvrages d'art, le dimensionnement des réservoirs de stockage d'eau ou l'écrêtement des crues. Cependant, afin de fournir aux ingénieurs des outils efficaces pour la gestion de l'eau, les hydrologues doivent identifier les modèles qui représentent au mieux le comportement des bassins versants.

Les problèmes peuvent surgir à n'importe quel point d'un réseau hydrographique. Pour remédier, des observations provenant de stations de mesure, permettant la paramétrisation de modèles pertinents, sont nécessaires. Malheureusement, de telles données ne sont pas toujours disponibles pour le point hydrographique d'intérêt. Le plus souvent, on dispose de données pluviométriques, qui sont généralement plus abondantes et mieux réparties spatialement que les séries de débit. C'est pourquoi nous nous tournons naturellement vers les modèles débit liquide : ils nous permettent de reconstituer ou de compléter des séries de débit à partir des séries de pluie.

Les modèles des débits liquides s'ajustent aux particularités du comportement hydrologique d'un bassin versant en fonction de leurs paramètres. Pour appliquer efficacement ces modèles, une méthode permettant de déterminer ces paramètres, indépendamment du bassin versant, est nécessaire. Idéalement, on pourrait se baser sur des relations régionales établies par le biais de liens statistiques entre les valeurs des paramètres et les descripteurs climatiques ou physiques des bassins versants. Cependant, la nature individuelle des bassins versants et la complexité importante des déterminants hydrologiques rendent délicate toute application directe des formulations régionales pour déterminer la valeur des paramètres. Dans ces conditions, les modèles maintiennent souvent des niveaux de performance incompatibles avec les exigences de fiabilité opérationnelle.

Dans le cadre de ce travail, on s'est intéressé à la modélisation hydrologique du Bassin versant de la Macta situé au nord-ouest de l'Algérie, caractérisé par un climat aride à semi-aride reconnu pour sa variabilité spatiotemporelle. L'objectif était de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique en accordant une attention particulière au réalisme des processus intermédiaires simulés, ainsi que de tester la performance et l'applicabilité du modèle hydrologique conceptuel SWAT. Il s'agit d'un modèle semi-distribué, déterministe, principalement physique, qui a été développé et amélioré à plusieurs reprises par différents auteurs.

# CHAPITRE I: Synthèse bibliographique

## *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

### ***1.1. Introduction :***

Au cours des récentes années, de nombreuses études ont été consacrées à la modélisation des paramètres hydrométéorologiques. Les caractéristiques qui influent sur les débits liquides dans un bassin versant varient à la fois spatialement et temporellement, expliquant ainsi la complexité de ce phénomène, notamment dans les régions arides et semi-arides.

Les facteurs intervenant dans la génération des débits dans un bassin versant présentent une grande variabilité sur les plans spatial et temporel, rendant la représentation mathématique de ces phénomènes particulièrement complexe. La recherche d'une schématisation de cette complexité s'avère indispensable.

Dans ce contexte, la génération des débits liquides constitue l'une des questions cruciales en hydrologie et représente le point de départ décisif pour fournir des informations exploitables afin de relever les nombreux défis de l'hydrologie opérationnelle et de la recherche appliquée.

### ***1.2. Modélisation hydrologique :***

La conception d'un schéma théorique visant à simuler le comportement hydrologique d'un bassin versant en réponse à un événement pluvieux est loin d'être simple. En effet, la compréhension des différents processus impliqués dans le fonctionnement d'un système physique est toujours complexe. Cependant, il est toujours possible de s'approcher de la réalité en utilisant des hypothèses simplificatrices, ce qui permet d'étudier le système de plus près. Les études sur la complexité des bassins versants et l'explication des comportements des systèmes hydrologiques ont été nombreuses et diversifiées. Les modèles hydrologiques permettent de répondre relativement aux questions qui se posent au niveau d'un bassin versant. Certains de ces modèles ont montré de bonnes performances, allant de la prévision et l'annonce des crues à l'évaluation et la gestion des ressources en eau. Cependant, la question

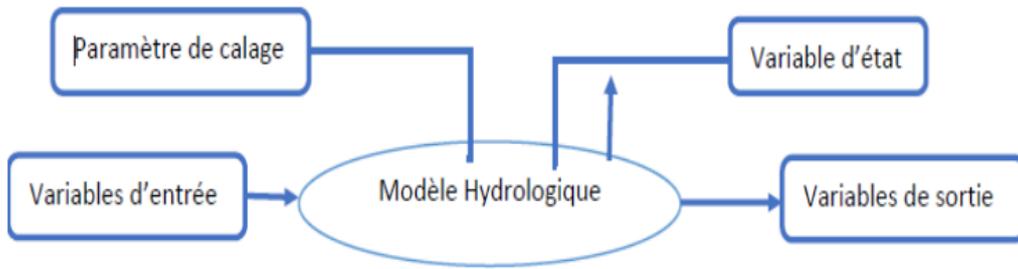
qui reste à résoudre est la suivante : quel modèle doit-on concevoir ou choisir parmi tous les modèles disponibles qui répondent le mieux aux objectifs fixés préalablement. La réponse est certainement liée à l'expérience de l'hydrologue d'une part, et à la disponibilité des données réelles et du modèle approprié d'autre part. Pour comprendre la notion d'un modèle hydrologique, il est indispensable de connaître l'ensemble des éléments qui le composent (Bonn, 2003). Un modèle est une représentation simplifiée, relativement abstraite, d'un processus, d'un système, dans le but de le décrire, l'expliquer ou le prévoir.

Cette représentation est réalisée à l'aide d'un ensemble d'équations mathématiques qui sont utilisées pour reproduire le système.

### I.2.1. Typologie des modèles hydrologiques :

Pour comprendre la notion d'un modèle hydrologique, il est essentiel de connaître tous les éléments qui le composent. On distingue quatre types de variables qui peuvent exister en totalité ou en partie dans chaque modèle :

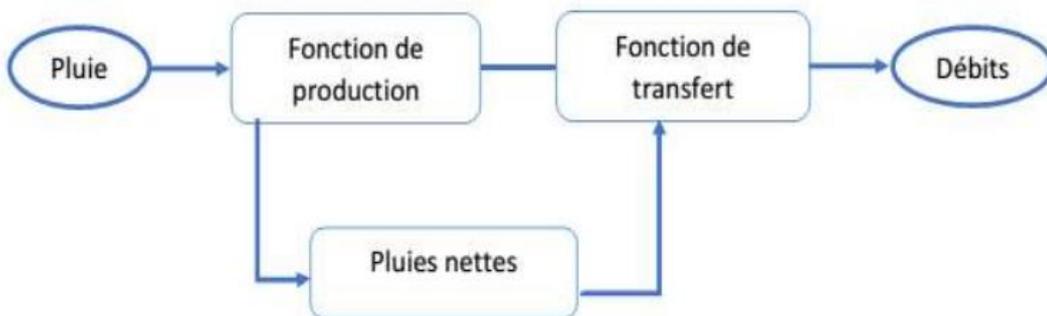
- **Variables d'entrée (variables indépendantes)** : ce sont les données d'entrée du modèle, telles que les séries chronologiques de précipitations, d'évapotranspiration potentielle (ETP) ou de température.
- **Variables de sortie (variables dépendantes)** : ce sont les résultats du modèle, généralement les débits simulés à l'exutoire du bassin versant, mais parfois aussi l'évapotranspiration réelle (ETR) ou les niveaux piézométriques.
- **Variables d'état** : ce sont les variables internes au système qui évoluent dans le temps et reflètent l'état du système à un moment donné.
- **Paramètres de calage** : en plus des variables, la modélisation implique l'utilisation de paramètres qui doivent être ajustés pour obtenir leur valeur appropriée.



**Figure I. 1 :** Les variables d'un modèle hydrologique (GAUME, 2002)

Les variables mentionnées ci-dessus jouent un rôle dans la modélisation hydrologique à travers deux fonctions : la fonction de production et la fonction de transfert.

- **La fonction de production :** représente de manière simple mais réaliste les différentes voies empruntées par l'eau de pluie, depuis le moment où elle atteint le sol jusqu'à son arrivée dans le cours d'eau (Morin, 1991). Elle décrit la transformation de la pluie brute en pluie nette, qui correspond à la fraction de la pluie brute contribuant effectivement au ruissellement. En d'autres termes, elle permet de calculer la quantité d'eau qui s'écoulera à l'exutoire du bassin ou du sous-bassin versant.
- **La fonction de transfert :** représente la fraction de l'eau déterminée par la fonction de production qui est transférée vers le cours d'eau, comme son nom l'indique. Elle permet de transformer la pluie nette en un hydro gramme à l'exutoire du bassin versant, donnant ainsi une forme à la crue dont le volume a été déterminé par la fonction de production, en simulant l'hydro gramme de crue à l'exutoire.



**Figure I. 2 :** Schéma d'un modèle hydrologique (Gaume, 2002)

### I.2.2. Objectif de la modélisation :

La représentation d'un système physique par un modèle mathématique est une approche courante en hydrologie, qui vise à atteindre l'un des objectifs suivants ( Wery, 1990, InElleuch, 1999) :

#### a) *La prévision* :

En utilisant des mesures en temps réel des variables ou des signaux d'entrée, il est possible d'estimer les débits futurs à l'exutoire d'un bassin versant.

#### b) *La simulation* :

Il s'agit d'analyser le comportement du système pour un signal spécifique (par exemple, une pluie exceptionnelle). Dans ce cas, les mesures antérieures des débits ne sont pas disponibles et sont remplacées par des valeurs calculées. En hydrologie, la simulation est utilisée pour compléter les données manquantes, prédéterminer les crues (évaluer les débits de pointe) ou générer des séries de données utiles pour la gestion des ouvrages de retenue.

#### c) **Le contrôle** :

Le contrôle, qui consiste à agir sur le signal d'entrée afin d'obtenir un signal de sortie avec certaines caractéristiques, est peu utilisé en hydrologie.

### I.2.3. Les approches de la modélisation :

Le principe de la modélisation peut être abordé selon différentes approches :

- ***La modélisation à base physique*** : Cette approche consiste à représenter les processus hydrologiques à l'aide de lois physiques expérimentales, dans le but de reproduire la complexité du monde réel. Elle nécessite des données de qualité et représentatives, et permet d'identifier et d'expliquer les facteurs déterminants (**Gnouma, P. 2006**).
- ***La modélisation conceptuelle*** : Dans cette approche, on cherche à reproduire les écoulements sans nécessairement représenter tous les processus. On simplifie au maximum la représentation du monde réel, ce qui permet d'avoir un nombre réduit de paramètres et une mise en œuvre plus facile. (**Gnouma, P. 2006**).

- **La spatialisation ou non des paramètres** : Cette approche concerne la manière dont les paramètres sont pris en compte dans le modèle. On distingue les modèles globaux, qui considèrent des paramètres globaux pour l'ensemble du bassin versant, et les modèles spatialisés ou distribués, qui prennent en compte la variabilité spatiale des paramètres à travers le bassin versant. **(Gnouma, P. 2006).**

#### **I.2.4. La Classification des modelés :**

De nombreux modèles ont été développés depuis l'apparition de la modélisation hydrologique, en fonction des objectifs recherchés et en utilisant différentes méthodes de création. Cela a conduit à une variété de modèles exploitables, chacun ayant des domaines d'application et Les modèles se distinguent principalement par leurs limitations en termes de validité, notamment dans les options de simulation pour la discrétisation spatiale, ils peuvent être globaux ou distribués. De plus, ils diffèrent dans la manière dont les phénomènes hydrologiques sont exprimés, que ce soit par des équations empiriques, des équations physiques ou une simplification plus ou moins poussée de ces équations physiques En résumé, les critères de classification des modèles hydrologiques reposent principalement sur la représentation de l'espace, du temps et des processus décrits . La figure suivante présente une classification des modèles hydrologiques basée sur ces critères.

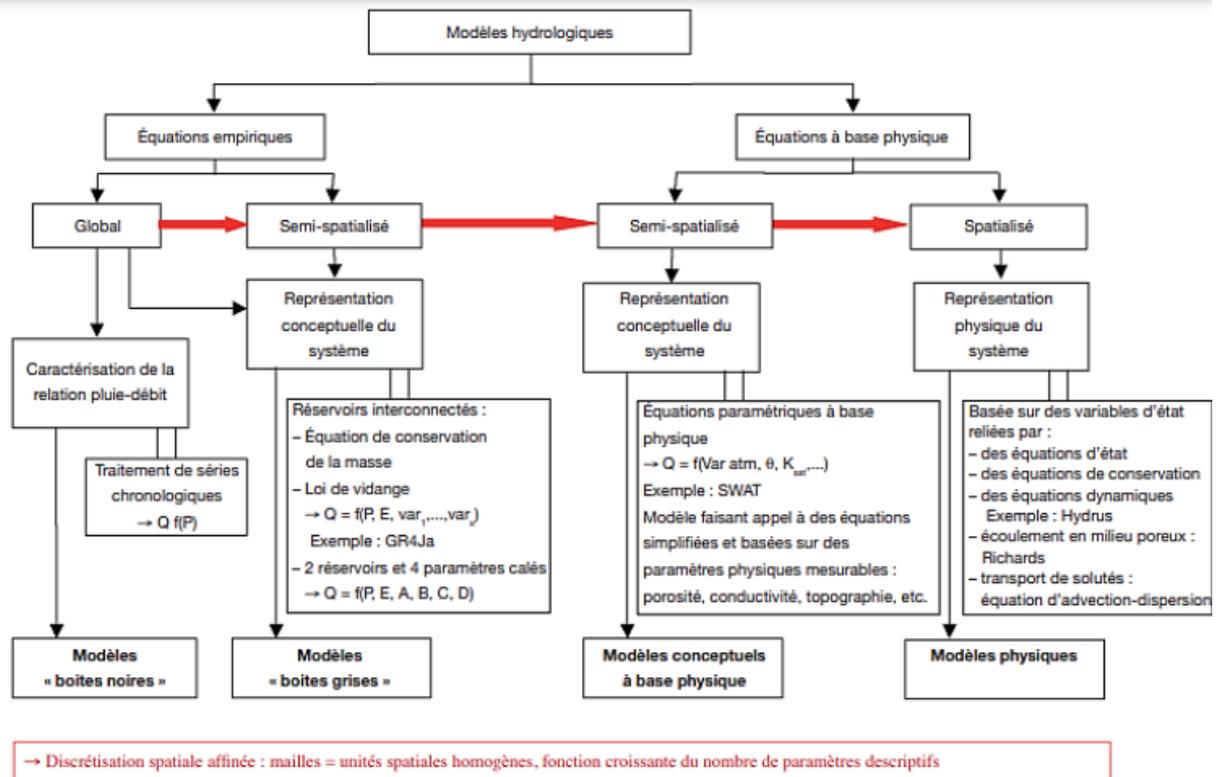


Figure .I . 3 : Schéma de description des modèles hydrologiques (Ancitil et al. 2005)

a) Les modèles empiriques, conceptuels et à base physique :

• *Les modèles empiriques :*

Ces modèles utilisent les séries chronologiques de données disponibles pour déduire la structure du modèle et les valeurs des paramètres correspondants. Ils se basent uniquement sur les informations fournies par les données et ne tiennent pas compte des connaissances a priori sur les modèles. Les modèles examinent le comportement du bassin versant ainsi que les processus physiques de l'écoulement. Communément désignés sous le terme de "boîtes noires", ces modèles comprennent notamment les réseaux de neurones artificiels (Hsu et al, 1995), les modèles GR (Edijando et Michel, 1989, Loumagne, 1988) et le modèle SCS. Ils traitent généralement le bassin versant comme une unité indivisible. Les réseaux de neurones artificiels nécessitent une phase d'apprentissage et sont inadaptés pour les bassins non jaugés. En revanche, les modèles GR et SCS présentent une structure simple avec des paramètres bien définis, facilitant ainsi leur utilisation. Par la régionalisation des paramètres, il devient envisageable de les appliquer à des bassins non jaugés

### *Les modèles conceptuels (conceptuel, Grey box) :*

Les modèles conceptuels reposent sur l'utilisation de réservoirs comme éléments principaux, qui s'alimentent par des flux tels que la précipitation, l'infiltration ou la percolation, et se vident par évapotranspiration, ruissellement, drainage, etc. Contrairement aux modèles empiriques, la structure des modèles conceptuels est établie avant leur utilisation, en se basant sur la compréhension du système hydrologique du modélisateur. Toutefois, ces modèles nécessitent également des séries temporelles de données de sortie du système pour déterminer les valeurs des paramètres lors du processus de calibration. Ces paramètres définissent la taille des réservoirs ou la répartition des flux entre eux. Un seul paramètre peut englober plusieurs processus et ne peut donc pas être directement déduit des mesures sur le terrain.

La plupart de ces modèles considèrent le bassin comme une unité homogène (modèles globaux). Cependant, l'approche semi-distribuée implique de diviser le bassin versant en plusieurs sous-bassins et prend en compte la variabilité spatiale à travers des classes ayant des comportements hydrologiques similaires. La majorité des modèles utilisés en pratique sont des modèles conceptuels. Par exemple, le modèle TOPMODEL, un modèle conceptuel distribué, illustre ce type de modèles (Obled, 2003). Ils ne peuvent pas être directement appliqués à des bassins non jaugés en raison de leur dépendance aux mesures de l'écoulement. Cependant, des méthodes de régionalisation utilisant des relations statistiques entre les paramètres du modèle et les caractéristiques du bassin versant ont été développées pour leur utilisation sur des bassins non jaugés (Burn and Boorman, 1992 ; Sefton and Howarth, 1998)

### *Les modèles à base physique (physically-based, white box): (Beven, 2002)*

Ces modèles sont basés sur les principes mécanistes de conservation de la masse, du moment et de l'énergie. Plus concrètement, les équations utilisées pour générer ces modèles sont dérivées des lois de la mécanique des fluides et de la physique des écoulements d'eau dans les sols, telles que la loi de Richards pour les milieux non saturés, la loi de Darcy pour

les milieux saturés et la loi de Barré Saint-Venant pour le ruissellement de surface. Leur utilisation pratique remonte aux années 1980, grâce aux avancées de l'informatique.

- **Les modèles continus et événementiels :**

- Les modèles continus fonctionnent en continu tout au long de l'année. Ils utilisent une représentation complète de tous les composants du cycle de l'eau. Ces modèles ne nécessitent pas d'initialisation, ce qui présente un avantage opérationnel.

- Les modèles événementiels sont utilisés uniquement lorsqu'un événement pluvieux se produit. Certains phénomènes sont considérés comme prédominants dans la représentation de ces modèles, tandis que d'autres phénomènes peuvent être négligés. Par exemple, pour la prévision des crues éclair, seuls la génération du ruissellement de surface et la décrue peuvent être représentés, tandis que des processus plus lents tels que l'évapotranspiration et la redistribution des eaux dans les sols sont généralement négligés. Contrairement aux modèles continus, les modèles événementiels doivent être initialisés.

### ***1.3. Le modèle SWAT***

#### **1.3.1. Description de modèle SWAT :**

Le bassin versant représente l'unité de gestion territoriale pertinente sur les plans hydrologique, écologique et géomorphologique (Chorley, 1969). Il sert de cadre analytique essentiel pour les prises de décision en matière d'aménagement. Les gestionnaires et décideurs exigent donc des outils opérationnels adaptés à cette échelle complexe. Cependant, en raison de la représentation complète des composantes du cycle hydrologique et de l'ajout fréquent de facteurs anthropiques perturbateurs, le bassin versant est une unité complexe. Peu d'outils prennent en compte de manière spatialisée tous ces aspects, répondant ainsi aux attentes des gestionnaires.

Pour répondre à cette demande, Jeff Arnold a développé le Soil and Water Assessment Tool (SWAT) en 1993 pour le compte du Service de recherche agricole de l'USDA. Il s'agit d'un modèle conceptuel physique semi-empirique distribué, conçu pour manipuler et analyser une multitude de données hydrologiques et agronomiques.



**Figure.I . 4 :** Architecture de l'interface du couplage SWAT et SIG ( Bian et al. 1996).

Le couplage avec un SIG permet de gérer différents types de données tels que les données raster, vectorielles et alphanumériques. Cela facilite et automatise la préparation des données d'entrée, simplifie l'intégration, la manipulation et le paramétrage des données liées à la simulation. Les données numériques sont paramétrées par l'utilisateur et les résultats sont visualisés à l'aide du format ".Dbase". Cependant, les fichiers de sortie sont convertis par SWAT en format ASCII avec leurs propres structures. Pour le bon fonctionnement du modèle, plus d'une centaine de fichiers sont nécessaires, tels que le modèle numérique de terrain, la pédologie, le réseau hydrographique, les données climatiques (températures, précipitations), l'occupation du sol, les pratiques agricoles, etc.

**I.3.2. Définition de critères de performance objectifs :**

L'évaluation objective d'un modèle ne peut pas se limiter à une simple analyse visuelle des résultats de la simulation. En effet, l'œil humain ne peut pas détecter toutes les différences qui peuvent exister entre deux courbes ayant une allure générale similaire. Par conséquent, il est nécessaire d'utiliser des critères objectifs pour comparer les simulations aux observations et pour hiérarchiser les simulations qui semblent équivalentes. Plusieurs critères mathématiques objectifs existent pour quantifier la distance entre les observations et la simulation.

La plus répandue de ces fonctions objectives est le critère de Nash-Sutcliffe

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

Où  $Y_{i\text{mod}}$  représente la variable simulée,  $Y_{i\text{obs}}$  la variable observée,  $Y_{\text{obs}}$  la moyenne des observations, et  $n_{\text{obs}}$  le nombre d'observations. Ce critère évalue la fraction de la variance observée prise en compte par le modèle, avec des valeurs variant de  $-\infty$  à 1. Une efficacité approchant 1 indique un accord plus favorable entre la modélisation et l'observation. Il est important de noter qu'une efficacité négative suggère que les valeurs simulées produisent des résultats moins satisfaisants que si la valeur moyenne des observations étaient utilisées comme prédicteur. Cependant, ce critère présente l'inconvénient de donner une importance excessive aux valeurs élevées. Pour pallier cela, une formulation similaire peut être appliquée sur le logarithme de la variable (si celle-ci n'est pas nulle) ou sur la racine de la variable, afin de réduire le poids des valeurs élevées. Par exemple, dans le contexte d'une application sur le débit, l'efficacité classique est utilisée pour représenter efficacement les pics de crues. En revanche, si l'intérêt se porte sur le débit d'étiage, il est préférable d'utiliser l'efficacité sur les logarithmes ou les racines pour atténuer l'impact des valeurs élevées de débit.

**Tableau .I. 1 :** Critères d'évaluation de la performance de SWAT ( Moriasi et al. 2007)

Ns	Evaluation de la performance
très bonne	<b><math>0,75 &lt; Ns &lt; 1,00</math></b>
bonne	<b><math>0,65 &lt; Ns &lt; 0,75</math></b>
satisfaisante	<b><math>0,50 &lt; Ns &lt; 0,65</math></b>
non satisfaisante	<b><math>Ns &lt; 0,50</math></b>

La racine carrée de la moyenne des erreurs quadratiques (RMSE) est fréquemment employée comme critère pour évaluer la disparité entre la simulation et l'observation, offrant une indication de la dispersion entre les deux. Une valeur plus faible de la RMSE indique un écart moindre entre la simulation et les observations

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{i,sim} - Q_{i,obs})^2} \dots \dots \dots (I.2)$$

Tout comme avec l'efficience, ce critère peut être appliqué aux logarithmes ou aux racines des variables, car il a tendance à accorder une importance excessive à une représentation précise des valeurs élevées, pouvant ainsi biaiser les simulations des phases de décroissance des crues (Boyle et al, 2000). En se basant sur la corrélation entre la série simulée et la série observée, nous pouvons également viser à maximiser le coefficient de détermination R<sup>2</sup>.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [(Q_{i,obs} - Q_{obs})(Q_{i,sim} - Q_{sim})]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{i,obs} - Q_{obs})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{i,sim} - Q_{sim})^2} \dots \dots \dots (I.3)$$

Le critère de biais B est utilisé pour évaluer la tendance du modèle à sous-estimer ou surestimer les observations, et il permet de détecter une éventuelle erreur systématique, même en présence de bonnes valeurs d'efficience ou d'erreur quadratique.

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i) * 100}{\sum_{i=1}^n O_i} \dots \dots \dots (I.4)$$

Comme pour l'erreur quadratique, l'objectif est de minimiser ce critère

Le RSR (ratio RMSE-écart-type des observations) est l'indice d'erreur le plus couramment utilisé (Chu et Shirmohammadi, 2004; Singh et al., 2004; Vasquez-Amábile et Engel, 2005). Un modèle est considéré comme plus performant lorsque la valeur du RMSE est faible

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{i,sim} - Q_{i,obs})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{i,obs} - Q_{obs})^2}} \dots \dots \dots (I.5)$$

Le RSR combine les avantages d'un indice d'erreur statistique et d'un facteur de normalisation, ce qui le rend applicable à différentes variables en attribuant le même poids à tous les débits. Il varie de la valeur optimale de "0", qui indique une variation résiduelle nulle et donc un modèle de simulation parfait, à des valeurs positives très élevées.

### I.3.3. Le développement du modèle SWAT :

La modélisation du Soil and Water Assessment Tool (SWAT) a fait l'objet de diverses recherches et développements. Voici quelques-unes des principales recherches et avancées dans ce domaine :

- **Améliorations du modèle :** Depuis 2010, des efforts considérables ont été déployés pour améliorer les performances et la précision du modèle SWAT. Cela comprend le développement de nouvelles formulations pour les processus hydrologiques, l'ajout de fonctionnalités pour prendre en compte des conditions spécifiques du terrain, et l'optimisation des paramètres du modèle.
- **Application à de nouveaux domaines :** Au cours de cette période, le modèle SWAT a été appliqué à un large éventail de domaines, y compris la gestion des bassins versants, l'évaluation de l'impact des changements d'utilisation des terres et du climat, la prévision des débits d'eau et des sédiments, et la planification de la gestion des ressources en eau.
- **Intégration avec d'autres modèles :** Des recherches ont été menées sur l'intégration du modèle SWAT avec d'autres modèles hydrologiques, environnementaux et agricoles pour permettre une modélisation plus intégrée et complète des systèmes hydrologiques et agro-écologiques.
- **Utilisation de données de télédétection et de SIG :** L'intégration de données de télédétection et de systèmes d'information géographique (SIG) dans le modèle SWAT a été explorée pour améliorer la précision de la modélisation et faciliter l'acquisition et la gestion des données nécessaires à l'analyse.
- **Évaluation de l'incertitude :** Des recherches ont été menées sur l'évaluation de l'incertitude associée aux résultats du modèle SWAT, y compris l'incertitude des données d'entrée, des paramètres du modèle et des conditions initiales, ainsi que des méthodes pour quantifier et réduire cette incertitude.
- **Application à l'échelle mondiale :** Le modèle SWAT a été appliqué à des échelles spatiales variables, allant des petits bassins versants aux grands systèmes fluviaux, et son

utilisation à l'échelle mondiale pour étudier les impacts des changements globaux sur les ressources en eau et les écosystèmes a été explorée.

- **Développement de nouveaux outils et interfaces :** De nouveaux outils informatiques et interfaces utilisateur ont été développés pour faciliter l'utilisation et la mise en œuvre du modèle SWAT, permettant ainsi à un plus large éventail d'utilisateurs d'exploiter ses capacités.

Ces recherches et développements continus visent à améliorer la capacité du modèle SWAT à fournir des informations précieuses pour la gestion durable des ressources en eau et des terres, ainsi que pour la prise de décision en matière de planification et de politique environnementales.

### I.3.4. Les différentes recherches sur la modélisation avec le modèle SWAT :

- **2023 :** Salmani, H., Javadi, S., Eini, M.R. et al. La modélisation des bassins karstiques permet d'approfondir la compréhension des interactions entre les eaux de surface et souterraines, d'estimer de manière plus précise les quantités d'eau infiltrée et de réaliser un calcul plus fiable du bilan hydrique. Dans cette étude, la simulation hydrologique d'un bassin karstique dans une région semi-aride d'Iran a été conduite en trois étapes. Dans la première étape, le modèle SWAT d'origine a été utilisé pour simuler l'écoulement des eaux de surface. Ensuite, le modèle combiné SWAT-MODFLOW a été mis en place en tenant compte des caractéristiques hydrogéologiques du secteur d'étude. Enfin, en intégrant le module CrackFlow (CF) pour prendre en considération les particularités karstiques de la région, le modèle combiné SWAT-MODFLOW-CF a été développé afin d'améliorer les résultats de simulation. Les coefficients de corrélation ( $R^2$ ) et de Nash-Sutcliffe (NSE) ont été calculés comme critères d'évaluation des modèles : les valeurs moyennes obtenues sont respectivement de 0,63 et 0,57 pour le modèle SWAT, 0,68 et 0,61 pour le modèle SWAT-MODFLOW, 0,73 et 0,70 pour le modèle SWAT-MODFLOW-CF. De plus, les erreurs moyennes absolues (MAE) et quadratiques moyennes (RMSE) de

calibration des simulations des eaux souterraines avec le modèle SWAT-MODFLOW sont de 1,23 et 1,77 m respectivement. Ces valeurs deviennent 1,01 et 1,33 m après calibration avec le modèle SWAT-MODFLOW-CF. Après modification du code CF et en conservant les fissures et les joints ouverts en conditions sèches et humides, la quantité d'eau infiltrée augmente et les niveaux d'eau souterraine remontent. Par conséquent, le modèle combiné SWAT-MODFLOW-CF pourrait être proposé pour une application dans les régions karstiques abritant d'importantes ressources en eau de surface et souterraine.

- 2022** :Son,N.T. Le Huong,H.,Loc,N.D. et al. .Les modifications de l'utilisation des terres et de la couverture terrestre (LULC), la variabilité climatique et le changement climatique (CC) ont un impact sur la réponse hydrologique des bassins tropicaux, mais les effets individuels et combinés de ces facteurs ne sont pas encore complètement compris. Pour mieux comprendre l'hydrologie des bassins versants, la télédétection a été utilisée pour évaluer les changements dans l'utilisation des terres entre 1992 et 2015. Ensuite, le modèle SWAT, distribué spatialement, a été utilisé pour simuler les réponses hydrologiques dans le bassin de Nam Rom au Vietnam. Les résultats ont montré que le modèle SWAT était capable de simuler avec précision le débit dans le bassin, avec des valeurs d'efficacité de Nash–Sutcliffe (NES), de coefficient de détermination (R<sup>2</sup>) et de biais en pourcentage (PBIAS) de 0,76, 0,76 et 6,76 respectivement pour l'étalonnage, et de 0,64, 0,65 et 8,37 respectivement pour la validation. De plus, une corrélation significative a été observée entre les changements d'utilisation des terres (entre 1992 et 2015) et l'augmentation de l'évapotranspiration, de la percolation, des eaux souterraines et du rendement en eau. Par ailleurs, le changement climatique a entraîné une diminution de tous les composants hydrologiques (ET (2,3 %), percolation (9,8 %), ruissellement de surface (11,5 %), flux souterrain (10,5 %) et rendement en eau (10,8 %)). La combinaison des changements de LULC et du CC a conduit à une diminution significative des eaux

souterraines (-5,7 %), du ruissellement de surface (-16,9 %) et du rendement en eau (-9,2 %). En résumé, le CC a eu un effet plus marqué sur les réponses hydrologiques que le LULC dans le bassin de Nam Rom entre 1992 et 2015. Une simulation a également été effectuée pour évaluer les effets projetés de LULC et du CC sur l'hydrologie du bassin en 2030. Les résultats ont montré que l'évapotranspiration et le ruissellement de surface sont les réponses hydrologiques les plus sensibles dans le futur. Ces conclusions pourraient être utilisées pour élaborer des programmes de planification à long terme pour les LULC et pour l'adaptation au CC dans le bassin de Nam Rom et d'autres régions du Vietnam

- **2021** : Moussé Landing Sane et al ,La modélisation hydrologique revêt une importance cruciale dans la gestion des ressources en eau et dans le processus décisionnel. L'objectif de cette étude est d'étalonner et de valider le modèle hydrologique semi-distribué SWAT. Cette approche a été appliquée au bassin versant du Bafing en amont de Bafing Makana afin de soutenir la gestion du barrage de Manantali. Les périodes de 1979–1986 et 1988–1994 ont été respectivement sélectionnées pour l'étalonnage et la validation du modèle. La qualité de l'ajustement, tout comme celle de la validation, a été évaluée en utilisant le critère de Nash. Les valeurs obtenues, tant pour l'étalonnage (0,71) que pour la validation (0,65), démontrent que le modèle hydrologique SWAT peut être efficacement utilisé pour reproduire le fonctionnement du bassin versant du Bafing en amont de Bafing Makana et pour appuyer la gestion du barrage de Manantali.
- **2020** : Quang Ngai province, Les régions côtières sont principalement impactées par le changement climatique. Au cours du siècle dernier, le niveau de la mer a augmenté en moyenne de 10 à 12 cm chaque décennie, causant des dommages importants dans les régions côtières. Comprendre les dynamiques dans les estuaires joue un rôle important dans l'évaluation des changements physiques et biochimiques qui se produisent, notamment l'intrusion saline. Cette recherche présente une approche pour évaluer

l'étendue de l'intrusion saline dans l'estuaire de Ve, province de Quang Ngai, en étudiant les processus hydrodynamiques et hydrologiques à l'aide de modèles intégrés : SWAT/NAM/MIKE21. En se basant sur les données de débit et d'intrusion saline mesurées, ainsi que sur les données de débit par les ADCP (profileurs de courants acoustiques Doppler), le modèle est validé. Ensuite, les prédictions de l'étendue des impacts et du niveau d'intrusion saline dans la zone d'étude sont conclues.

- 2018** : Etienne Brulebois, Marjorie Ubertosi, Thierry Castel, Yves Richard, Sabine Sauvage, Jose-Miguel Sanchez-Perez, Nicolas Le Moine, Philippe Amiotte-Suchet

Chaque année, de nombreuses études sont menées pour évaluer les impacts du changement climatique. Ces études reposent généralement sur une chaîne de modélisation hydroclimatique, qui consiste à utiliser les résultats des modèles climatiques pour alimenter les modèles d'impact. Tester la validité de ces modèles dans un contexte de changement climatique est une étape importante de ce processus, mais elle est souvent négligée. L'objectif de cette étude est donc de vérifier la robustesse de deux modèles hydrologiques différents : le modèle global et empirique GR4J et le modèle semi-distribué basé sur la physique SWAT. Ces deux modèles ont été calibrés et validés sur des périodes climatiques contrastées. Bien que le modèle GR4J montre une plus grande diminution de performance entre la calibration et la validation, les deux modèles démontrent une robustesse relative. De plus, la stabilité des paramètres entre les deux périodes de calibration suggère que leur valeur n'est que peu influencée par le climat de la période de calibration, et reste donc valable pour toute la période de projection.
- 2015** : Advances in water resources assessment with SWAT—an overview Aperçu

Des Progrès de l'évaluation des ressources en eau avec SWAT, Cet article sert d'introduction à un numéro spécial du Journal des Sciences hydrologiques, comprenant 10 articles de recherche mettant en avant les applications actuelles du modèle "Soil and Water Assessment Tool" (SWAT) dans l'évaluation des ressources en eau. Nous

débuterons en présentant une sélection d'articles récents où le modèle SWAT a été utilisé. Ces articles portent sur divers sujets tels que les nutriments et les meilleures pratiques de gestion (MPG), les sédiments et leurs MPG associées, le stockage et les zones humides, l'irrigation, les cultures bioénergétiques, l'impact du changement climatique, ainsi que les effets des modifications de l'utilisation des sols. Ensuite, nous passerons brièvement en revue les articles de ce numéro spécial traitant du ruissellement de surface et des sédiments, de la pollution diffuse, des eaux de surface et souterraines, des impacts du changement climatique et de l'utilisation des sols, ainsi que des applications de SWAT à grande échelle. Les applications de SWAT mentionnées ont été réalisées à diverses échelles spatiales, dans différentes régions physiographiques et zones climatiques. L'ensemble de ces articles témoigne de l'augmentation croissante des applications de SWAT dans l'évaluation des ressources en eau, touchant des bassins versants dans de nombreuses régions du monde.

- 2014 :** Fethi Abdelli, Mohamed Ouessar, Adriana Bruggeman, Houcine Khatteli, R. Ghoudi, M. L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'amélioration des connaissances en matière de gestion et de protection des ressources en eau pour l'agriculture. L'objectif spécifique consiste à réaliser un bilan hydrique du bassin versant d'Oued Jir en utilisant une version adaptée du SWAT-WH (Soil and Water Assessment Tool for Water Harvesting) (Ouessar et al., 2009), prenant en compte les techniques de collecte des eaux spécifiques à la région montagneuse de Matmata Uessour, etc. La version adaptée du SWAT-WH a été utilisée avec succès pour mieux comprendre les comportements hydrologiques historiques et futurs des bassins versants, ainsi que pour mieux planifier la production hydrologique dans le cadre d'une gestion intégrée de l'eau par bassin. Sur une période de 16 ans (1988-2004), des données pluviométriques ont été collectées, montrant que l'apport annuel en eau était de 199,5 mm, provenant à 100 % de la pluie. Les résultats obtenus avec la version SWAT-WH indiquent que sur le bassin de l'oued Jir, 59 % (117 mm) est perdu par

évapotranspiration, 21 % (42,2 mm) quitte le bassin par l'écoulement dans l'oued, et 20 % (39,3 mm) s'infiltré (percolation + infiltration dans le lit de l'oued) .

- 2013** : Parameter and rating curve uncertainty propagation analysis of the SWAT model for two small Mediterranean catchments Analyse de la propagation des incertitudes de la courbe de tarage et des paramètres du modèle SWAT pour deux petits bassins versants de la région méditerranéenne, Cet article a examiné l'utilisation du modèle SWAT pour simuler l'écoulement de deux petits bassins versants (la Vène et le Pallas) situés en région méditerranéenne dans le sud de la France. Le processus de calibration du modèle et l'évaluation de l'incertitude des prévisions ont été menés simultanément en utilisant trois techniques différentes (SUFI-2, COLLE et Parasol). Dans un premier temps, une analyse de sensibilité a été effectuée en utilisant la méthode de LH-OAT. Ensuite, le calibrage des paramètres sensibles et l'évaluation de l'incertitude des prévisions de SWAT ont été analysés en considérant un débit déterministe (supposant l'absence d'incertitude dans les données de débit) et en tenant compte de l'incertitude liée aux données de débit à travers le développement d'une méthodologie prenant explicitement en compte les erreurs dans la courbe de tarage (relation hauteur d'eau et vitesse d'écoulement). Des critères communs ont été définis pour la fonction de vraisemblance, la valeur seuil et le nombre de simulations afin de comparer efficacement les différentes méthodes d'estimation de l'incertitude et l'effet de l'incertitude de la courbe de tarage sur l'incertitude des prévisions du modèle. Les résultats ont montré que l'incertitude des prévisions du modèle varie non seulement en fonction du cas d'étude, mais aussi en fonction de la technique d'analyse d'incertitude sélectionnée. Il a également été démontré que l'intervalle d'incertitude des prédictions du modèle à 95 % est plus large et plus efficace pour couvrir les observations lorsque les incertitudes des données de débit sont explicitement prises en compte, cette source d'incertitude ajoutant une incertitude supplémentaire à l'incertitude globale des prévisions du modèle.

#### ***1.4. Conclusion :***

Il est évident que décrire les processus impliqués dans la réponse hydrologique d'un bassin versant n'est pas une tâche aisée. Cette description requiert la connaissance et la maîtrise d'une diversité de facteurs et de paramètres. Des informations adéquates sur ces données ne sont pas toujours disponibles pour tous les bassins versants, d'où la nécessité de s'investir davantage dans l'étude pour déterminer ces données afin de développer des modèles représentant au mieux la réponse hydrologique du bassin versant.

# Chapitre II: Matériel et Méthode

## Chapitre II: Matériels et méthodes

### II.1. Introduction :

L'écoulement régional est largement influencé par les caractéristiques morphologiques du bassin versant, ce qui souligne la nécessité d'une étude géomorphologique de la région étudiée, en raison de l'interaction complexe entre l'intensité et la variabilité des phénomènes hydrologiques dans le temps et dans l'espace. Dans cette section, nous examinons la zone d'étude sous des angles géographique, topographique et climatique.

### II.2. Présentation de la zone d'étude :

#### II.2.1. Situation géographique de bassin versant de la Macta :

Le bassin versant de la Macta est situé au nord-ouest de l'Algérie, entre la latitude 34°34' et 35°79' Nord et les longitudes 0°56' Est et 1°06' Ouest Situé dans le nord-ouest du territoire algérien, **la Macta** s'étend sur une superficie de **14 389 km<sup>2</sup>**

, avec une population de **1 724 905** habitants en **2008**. Il englobe partiellement six wilayas : **Mascara, Sidi Bel-Abbès, Saïda, Mostaganem, Tlemcen et Oran.**

Le bassin est délimité au nord par la mer Méditerranée, au sud par les hauts plateaux oranais, à l'est par la région **Cheliff Zahrez**, et à l'ouest par le bassin versant de **la Tafna** et les côtières oranais. Le bassin de **la Macta** englobe deux sous-bassins représentatifs, à savoir les bassins de **l'oued Mekerra** et de **l'oued El Hammam**, qui abritent deux cours d'eau principaux :

- Le cours d'eau principal du sous-bassin de **l'oued Mekerra** parcourt une distance de **115 km** avant de se déverser dans les marais de la Macta puis dans la mer Méditerranée. Il prend sa source du côté de **Ras El Ma**, précisément sur les hauteurs du **Djebel El Beguira** à **1402 m** d'altitude, à **86 km** de **Sidi Bel-Abbès**. **La Mekerra** traverse obliquement, du sud-ouest au nord-est, de nombreux périmètres ruraux et urbains, dont le chef-lieu de la wilaya de **Sidi Bel-Abbès**.

- Le cours d'eau principal du sous-bassin de l'oued El Hammam prend sa source à **16 km** au sud-ouest de **Ras El Ma** à **1100m** d'altitude et parcourt une distance de **172km** suivant une direction sud-est.

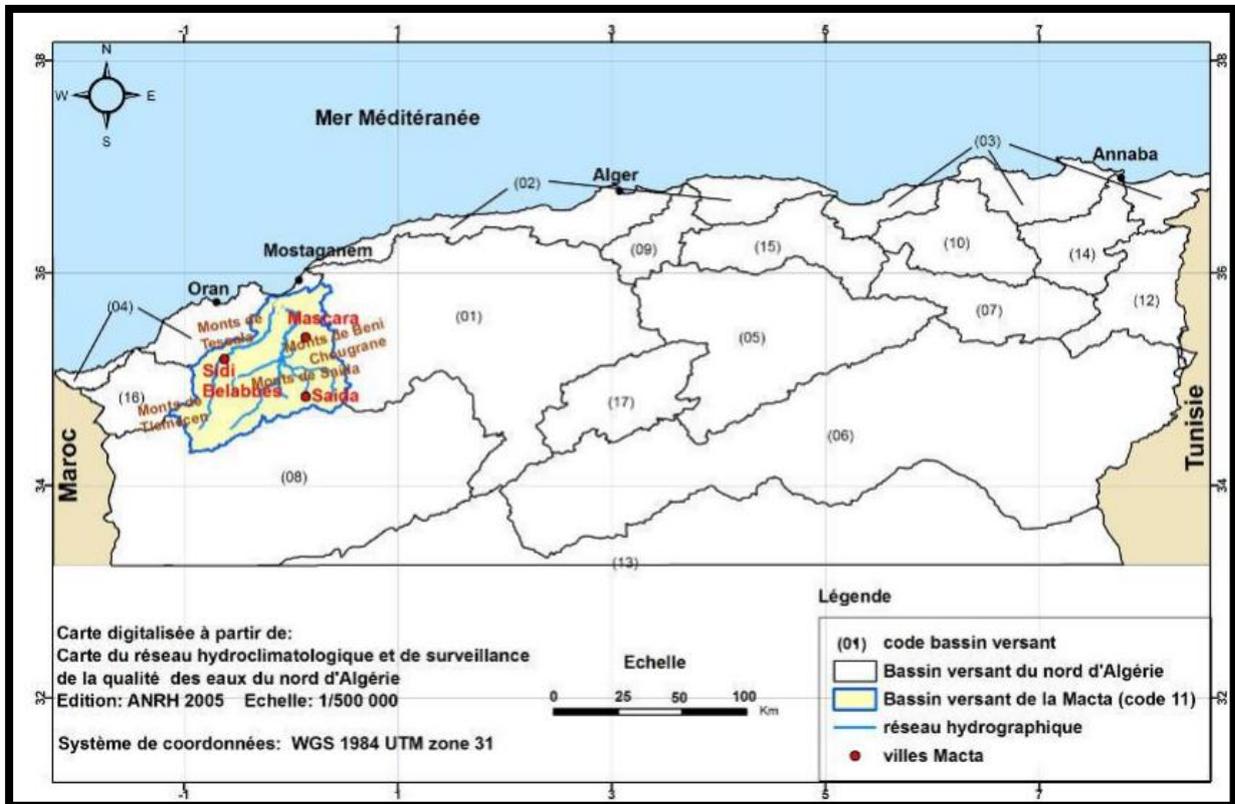


Figure.II. 1 : Localisation géographique du bassin versant de la Macta

### II.2.2. Situation hydrographique de bassin versant de la Macta :

Conformément à la délimitation de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H), le bassin versant de la Macta est constitué de seize (16) sous-bassin versants, comme illustré dans le (Tableau II.1) et (Figure II.2). Ces sous-bassins sont drainés par des oueds temporaires d'une longueur totale de 8115 km. Les principaux oueds comprennent l'Oued Mekerra et l'Oued El Mabtouh à l'ouest, ainsi que l'Oued El Hammam à l'est, qui se rejoignent non loin de la côte méditerranéenne pour former la Macta.

Les affluents du bassin versant de la Macta prennent leur source dans les massifs calcaires des monts de Dhaya et Saïda au sud (Khaldi, 2005). Les caractéristiques morphométriques des sous-bassins versants de la Macta ont été obtenues par la digitalisation de la carte

hydroclimatologique de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) à l'aide du logiciel ArcGIS, comme présenté dans (Tableau II.1).

**Tableau.II. 1** : Principales caractéristiques des sous bassins versants de la Macta

Code du sous bassin versant	Nom du sous bassin versant	S (Km <sup>2</sup> )	P (Km)	L (Km)
1	Mekerra amont	955	127	21
2	Mekerra moyen	936	140	35
3	Mekerra aval	1500	190	61
4	El Mabtouh	476	96	40
5	Louza	763	123	19
6	Melrir	701	122,5	48
7	Mezoua	1249	162	30
8	Sefioun	461	96	40
9	Berbour	605	110	25
10	Hounet	258	89,6	34
11	Saida	618	119	35
12	Taria	1457	169	37
13	Sahaout	141	66	24
14	Ain Fekan	1185	147,5	16
15	El Hammam	848	148,2	67
16	Macta maritime	1998	218,5	41

Avec :

- **S** : Surface du sous bassin versant (Km<sup>2</sup>).
- **P** : Périmètre du sous bassin versant (Km).
- **L** : Longueur de l'oued principal (Km)

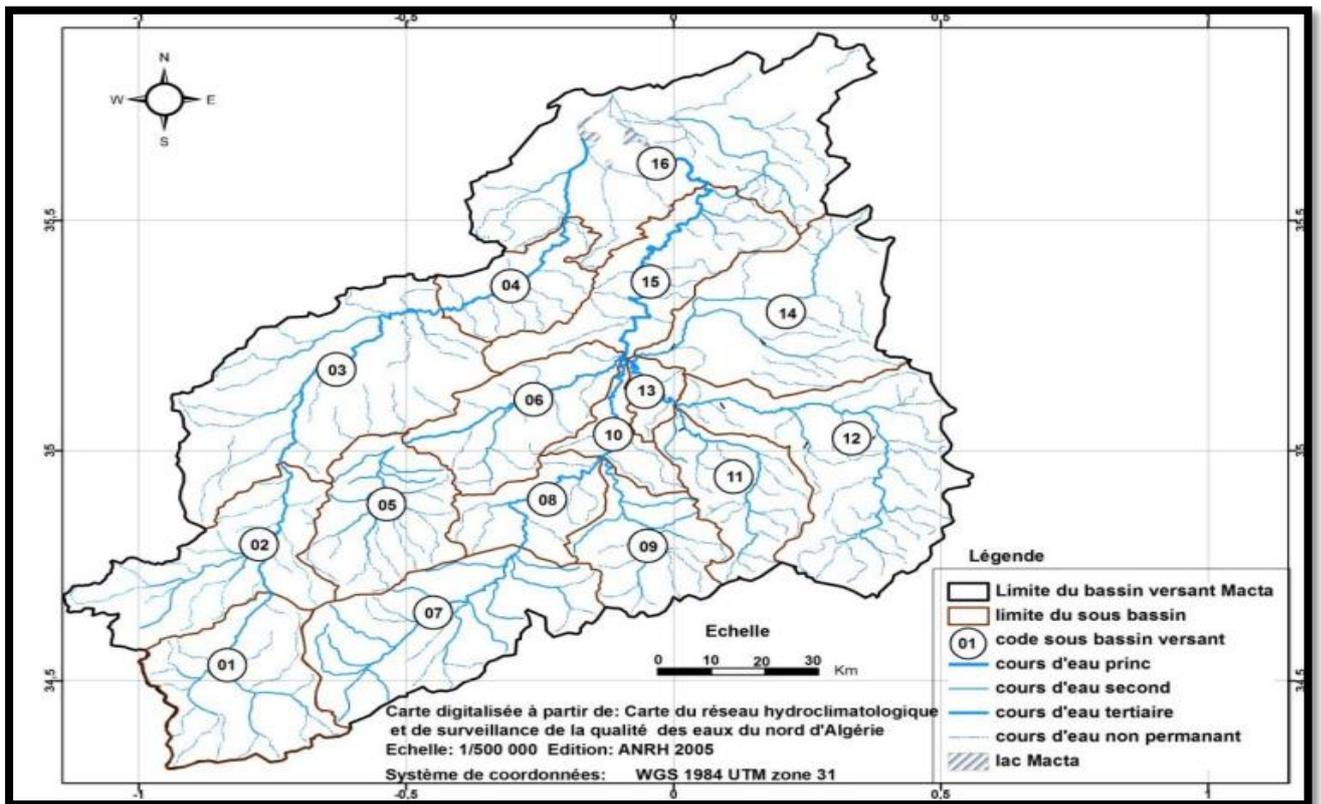


Figure.II. 2. Sous bassins versants de la Macta et réseau hydrographique

### II.2.3. Situation géologique de bassin versant de la Macta :

Le bassin versant de la Macta se situe dans la partie occidentale de l'Atlas Tellien. La géologie de la région est très variée, allant de l'âge primaire au Quaternaire, avec une prédominance des faciès marneux et calcaires (Froget, 1979).

Selon la géologie du bassin versant de la Macta (Figure II.3), on distingue :

- Les terrains quaternaires et plio-quaternaires occupent les dépressions au Nord, Nord-Est et les creux des vallées. Ils reposent sur des grès calabriens, des grès argileux du Pliocène supérieur, des gypses et des argiles gypseuses du Miocène supérieur.
- Les terrains du Pliocène affleurent en grande quantité à l'Ouest du bassin versant.
- Les formations du Jurassique supérieur (marnes gris-vert) et du Crétacé inférieur (grès) affleurent au centre, au Sud et au Sud-Est.
- Des formations géologiques de l'âge primaire apparaissent dans la région Sud-Est, principalement constituées de schistes et de quartzites qui affleurent dans les vallées

de l'Oued Tiffrit, Oued Sidi Mimoun et Oued Hasna, avec la présence d'intrusions granitiques et de coulées de laves basaltiques (Pitaud, 1973 in Touaibia, 2002).

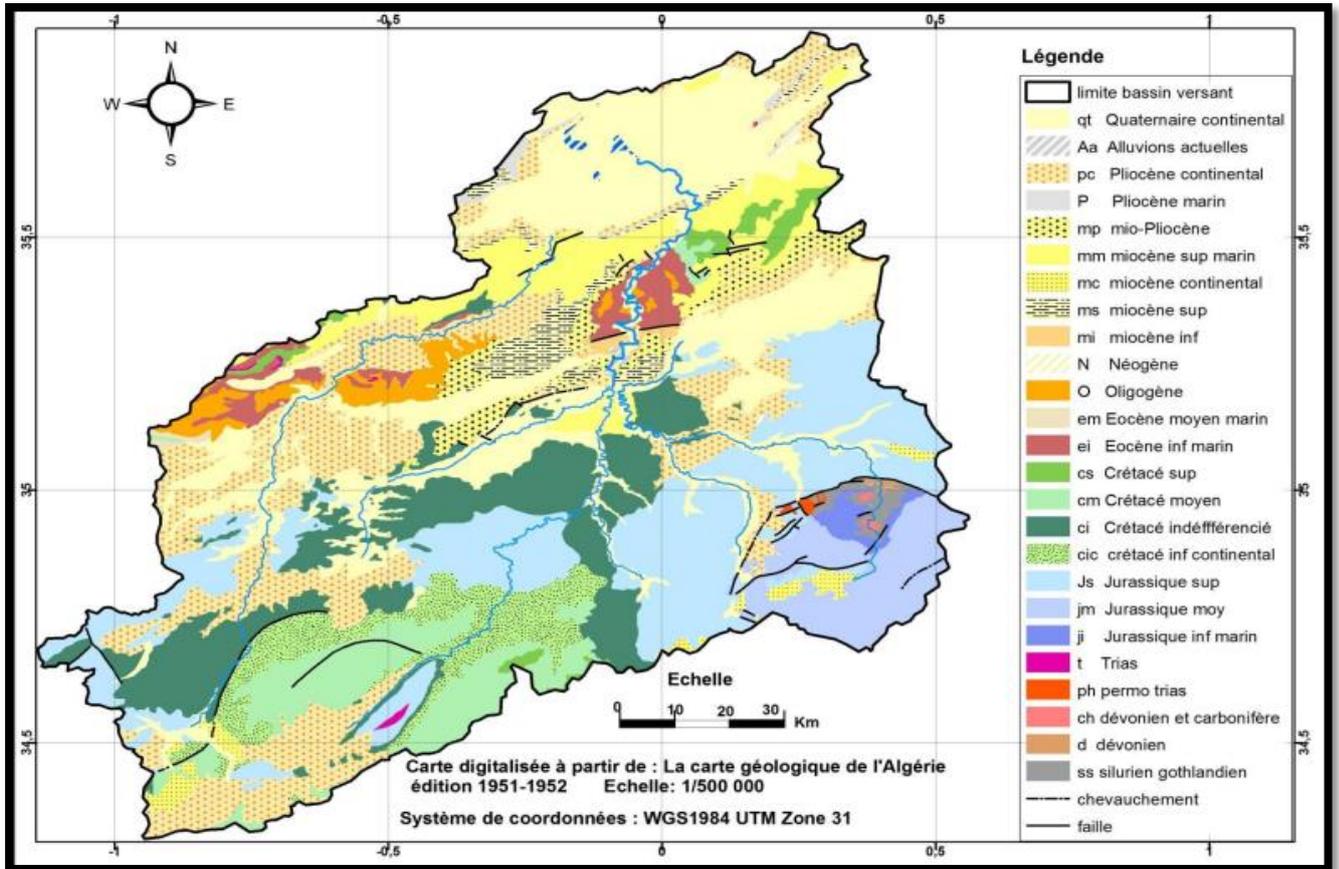


Figure.II. 3: Carte géologique du bassin versant de la Macta

### II.3. Choix du modèle :

Comme mentionné précédemment, il existe une grande variété de modèles en hydrologie, ce qui rend souvent difficile le choix d'un modèle pour une étude spécifique. Le choix d'un modèle dépend généralement de l'objectif de l'étude hydrologique à réaliser et des composantes hydrologiques du bassin versant que l'on souhaite représenter. Il est essentiel de sélectionner un modèle adapté à la problématique posée. Le choix du modèle doit respecter ces quatre principes.

### **II.3.1. Problématique :**

Les études hydrologiques sont réalisées dans le but de résoudre les problèmes liés à l'aménagement hydraulique des cours d'eau, des infrastructures urbaines et de garantir la sécurité des populations en prévenant les inondations et autres catastrophes liées à l'eau.

Dans Notre cas d'étude c'est de faire une bonne présentation des variables d'entrée et les variables de sortie et les processus de la simulation pour les débit liquide de bassin versant la macta .

### **II.3.2. Détermination des paramètres :**

La disponibilité des données hydrométéorologiques et la taille du bassin versant sont deux facteurs qui influencent la possibilité de déterminer les paramètres. Par exemple, pour les modèles conceptuels, une série de données pluie-débit sur une longue période est nécessaire pour effectuer un bon calibrage.

### **II.3.3. Possibilité de simulation :**

Certains modèles offrent l'avantage de permettre une exécution automatique itérative, ce qui facilite leur utilisation.

### **II.3.4. Facilité d'utilisation :**

Cependant, certains modèles peuvent présenter des difficultés pour les utilisateurs. Même en ayant accès au manuel d'utilisation, l'interprétation des fichiers de sortie peut rendre le logiciel laborieux à utiliser. Dans ce cas, il est recommandé d'opter pour des programmes récents qui intègrent les concepts de base des anciens modèles.

## ***II.4. Aspect hydrologique de SWAT :***

Comme tout modèle hydrologique, SWAT simplifie la représentation du cycle de l'eau dans le bassin versant. Le fonctionnement du modèle peut être schématisé par trois modules principaux qui interagissent entre eux grâce à la circulation de l'eau.

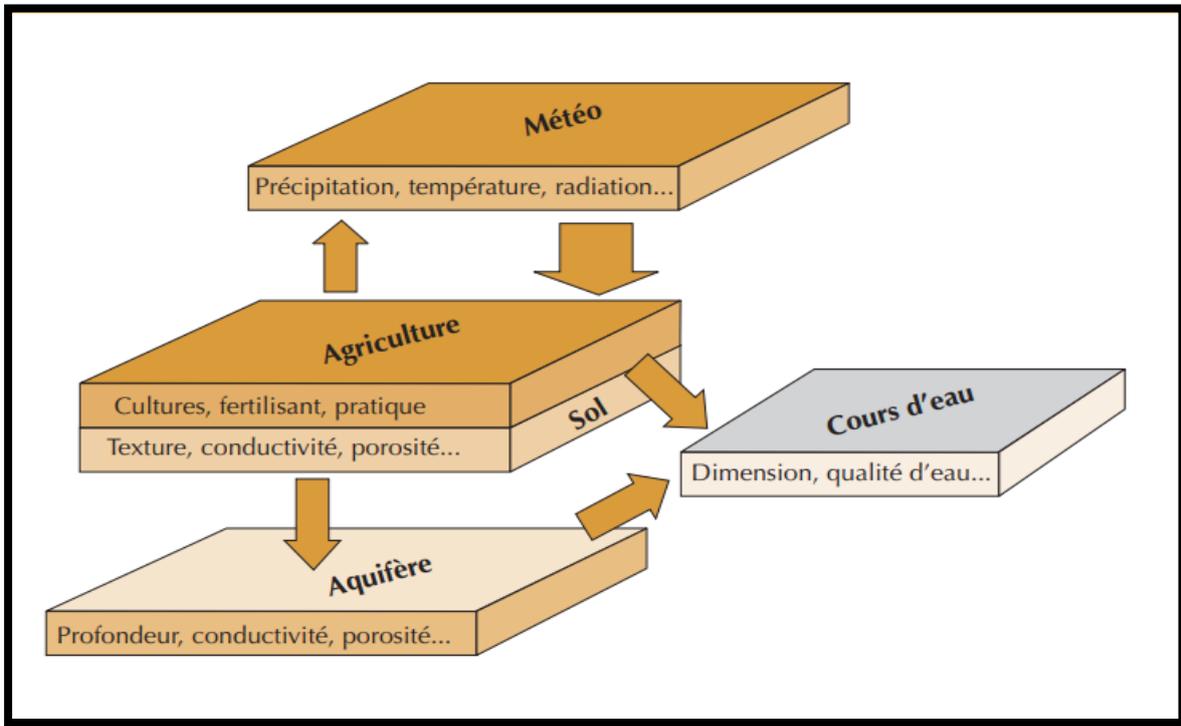


Figure.II. 4:Description des compartiments de SWAT (Duros, 2001).

Le bilan hydrique contrôle les différents processus hydrologiques se déroulant sur le bassin :

$$SW_t = SW_0 + \sum_{t=1}^t (R_{dayi} - Q_{surfi} - E_{ai} - W_{seepi} - Q_{qwi}) \dots \dots \dots (I.6)$$

Avec :

- $SW_t$ : le contenu final en eau du sol (à la fin du jour i ) (mm)
- $SW_0$ : le contenu initial en eau du sol (au début du jour i) (mm)
- $R_{day}$ : les précipitations au jour i (mm)
- $Q_{surf}$ : le ruissellement de surface au jour i (mm)
- $E_a$  : l'évapotranspiration au jour i (mm)
- $W_{seep}$ : un flux latéral représentant la quantité d'eau antrant dans la zone de vadose (mm)
- $Q_{gw}$ : le flux de retour issue de la zone saturée en eau au jour i (mm)

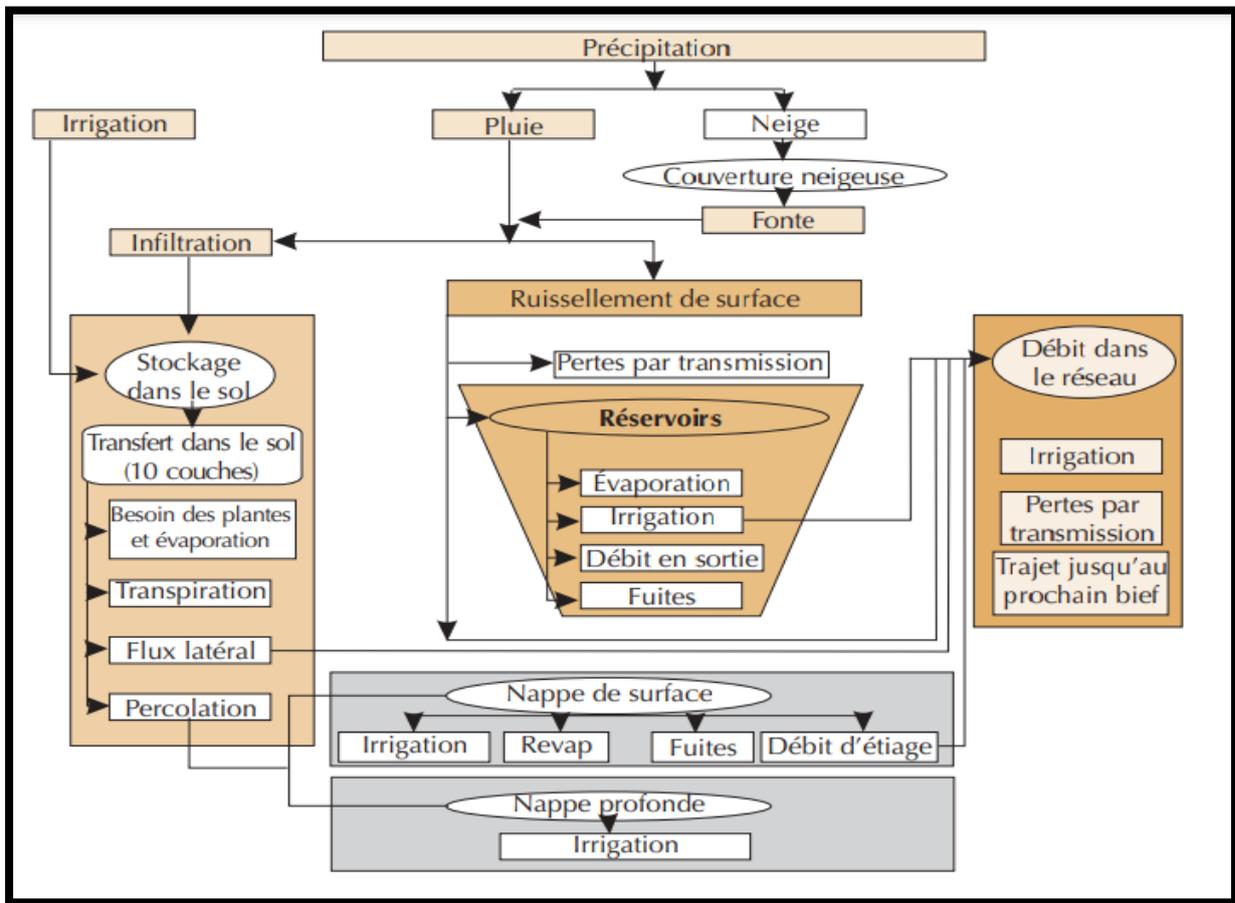


Figure.II. 5: Structure hydrologique de SWAT (source Eckard et Arnold 2000)

La structure hydrologique de SWAT est illustrée dans la figure, mettant en évidence les différents processus impliqués dans le bilan hydrique. Le modèle comprend deux phases distinctes :

- **La première phase :** appelée phase terrestre, simule des processus tels que le ruissellement, l'infiltration, l'évapotranspiration (avec plusieurs algorithmes disponibles en fonction des données disponibles), ainsi que l'exportation et le transport de sédiments et de nutriments vers le réseau hydrographique.
- **La seconde phase :** est une phase de transport en rivière qui représente le déplacement de ces éléments depuis leur entrée dans le réseau jusqu'à l'exutoire du bassin. Certains processus décrits dans la figure sont modélisés de manière déterministe, en obéissant à des équations physiques, tandis que d'autres sont caractérisés par des relations empiriques ou des fonctions de transfert.

### II.5. Spatialisation des processus :

Pour tenir compte des diversités du milieu et améliorer la modélisation des différents comportements des processus, SWAT procède à la spatialisation des types de réponses. Cela signifie que le modèle calcule la valeur quantitative des divers processus pour chaque unité spatiale. L'unité de calcul fondamentale est la HRU (Hydrological Response Unit). Cette subdivision spatiale en sous-unités correspond à la combinaison d'un sous-bassin versant avec un type de sol et un type d'occupation, dont les paramètres influent sur les différentes phases du bilan hydrique (ruissellement, infiltration, évapotranspiration, etc.). Ainsi, chaque HRU présente un comportement hydrologique spécifique et homogène. Les divers flux (eau, sédiments, phosphore) sont ensuite calculés sur la base de cette unité, puis agrégés pour fournir une valeur globale à l'exutoire du bassin.

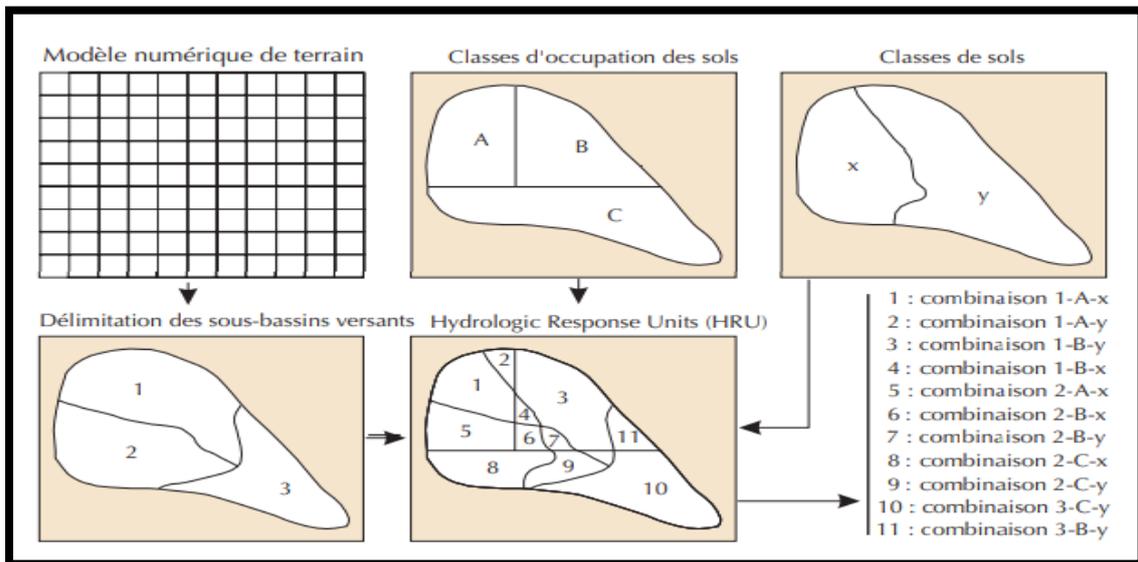


Figure.II. 6: Constitution des HRU dans SWAT (Ruelland et al. 2004)

### II.6. Calage et validation du modèle :

La phase finale de modélisation consiste à calibrer le modèle en ajustant certains paramètres afin d'obtenir la meilleure corrélation possible entre les débits simulés et les débits observés, en particulier au niveau de l'exutoire du bassin. La détermination des paramètres du modèle se fait par itération, en effectuant des essais et des erreurs. Les différentes réponses fournies par le modèle donnent des indications sur les paramètres à ajuster, ce qui permet de guider le processus de calibration.

### **II.7. Conclusion :**

Il a été constaté que toutes les conditions, compris les formations géologiques, les apports pluviométriques, l'occupation du sol, les sols peu évolués, le temps de concentration et les pentes nous fournissent une première indication pour identifier certains facteurs qui peuvent altérer la qualité des résultats de la modélisation. Cela concerne notamment les problèmes liés à l'hétérogénéité spatio-temporelle des précipitations et aux critères de sélection des événements de simulation.

# Chapitre III : Analyse des données de base

## Chapitre III : Analyse des données de base

### III.1.Introduction

Dans ce chapitre nous allons aborder le domaine de l'acquisition des données nécessaires pour la simulation des débits liquides à l'aide du modèle SWAT.

### III.2. Base des données :

Pour effectuer la simulation à l'aide du modèle SWAT

- **Préparation des données de base :**

Nous avons assuré d'avoir les données géographiques nécessaires telles que le modèle numérique d'élévation les données géographiques sur le sol, le climat et la végétation.

Nous avons collecté d'autres données importantes telles que les informations sur les exploitations agricoles, la qualité du sol et les données climatiques locales ainsi que les débits liquides observés.

L'ensemble des données d'entrée et de sortie sont résumés dans le tableau III.1

**Tableau .III. 1:** Données d'entrées et de sortie du modèle SWAT

Les données d'entrées (inputs)	Les sorties (outputs)
<b>Données climatiques journalières</b> Précipitations Températures maximale et minimale Radiation solaire Vitesse du vent Humidité relative de l'air <b>La base des données spatiales</b> Le modèle Numérique du terrain Carte pédologique Carte d'occupation du sol Réseau hydrographique <b>Pratiques agricoles</b>	• Débits

- **Configuration des entrées dans le modèle SWAT :**
  - Exécuter l'outil "ArcSWAT" disponible dans ArcGIS
  - Sélectionner les emplacements géographiques de votre zone ou de votre bassin versant.
  - Utiliser ArcSWAT pour sélectionner et configurer les entrées nécessaires telles que le DEM, le sol, le climat et les informations sur les exploitations agricoles.
- **Configuration du modèle :**

Configurer le modèle SWAT à l'aide d'ArcSWAT en sélectionnant les paramètres appropriés pour la simulation requise.
- Ajuster les paramètres du modèle tels que la période de calcul, l'intervalle de temps et les autres paramètres hydrologiques selon les besoins.

- **Exécution de la simulation :**

Une fois les entrées nécessaires saisies et le modèle configuré, lancez la simulation à l'aide des outils SWAT disponibles dans ArcSWAT.

Suivre les instructions fournies et examiner les résultats de la simulation pour vérifier l'exactitude et la précision de la sortie.

- **Analyse des résultats :**

Analyser les résultats disponibles de la simulation pour comprendre le fonctionnement du cycle de l'eau et l'impact des différents facteurs sur celui-ci.

Utiliser les outils disponibles dans ArcGIS pour cartographier et analyser les données produites par le modèle SWAT

### III.2.1. Modèle numérique de terrain (MNT) :

Pour notre cas d'étude on a utilisé un modèle numérique de terrain de 30 m de résolution qu'on a téléchargé à partir du site ([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)) .

Le relief du bassin versant de la Macta est très varié allant des hautes altitudes (> 1000 m) du sud, aux dépressions sublittorales (< 50 m) au nord (Figure III.1).

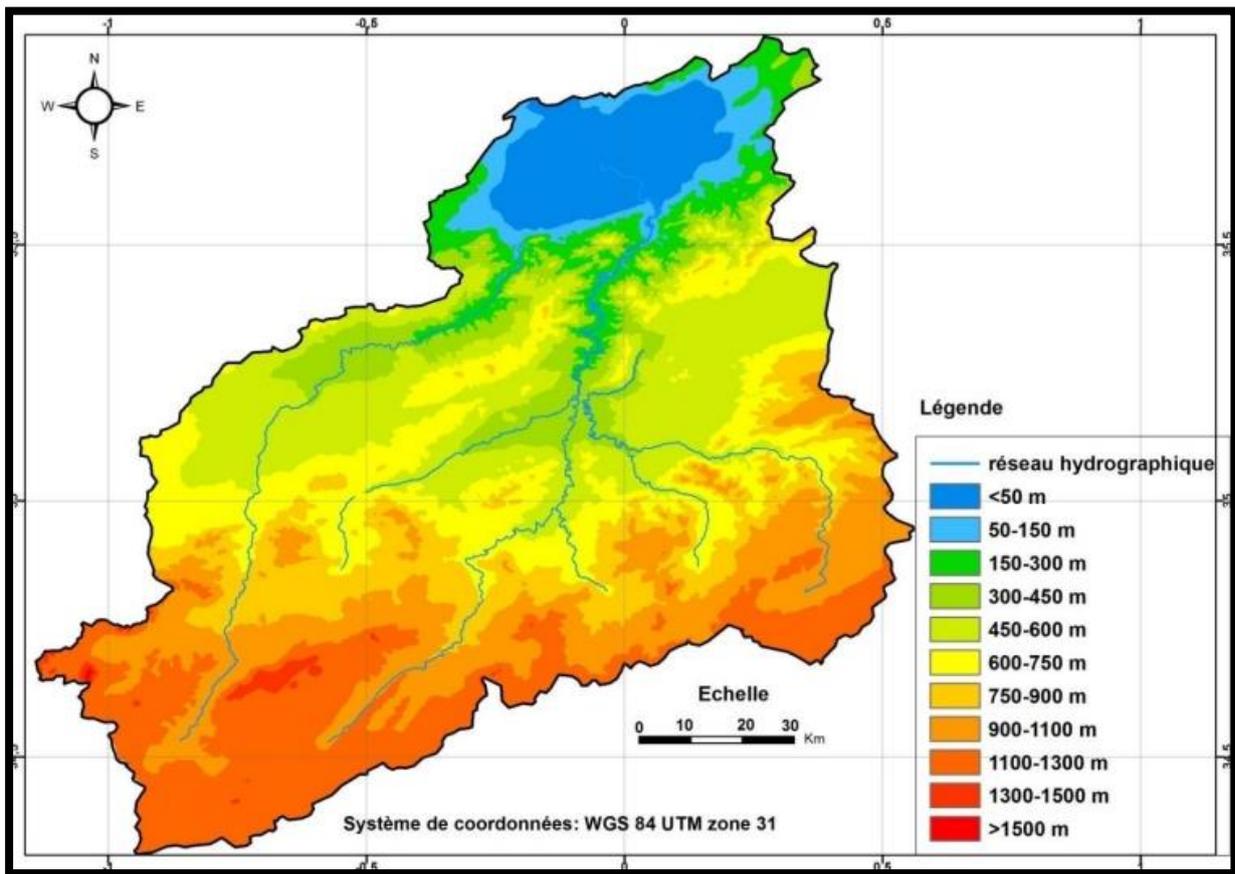


Figure. III. 1: Modèle numérique du terrain et réseau hydrographique du bassin versant (50m)

### III.2.2. Type de sol :

La carte de type de sol que contient le type du sol on a téléchargé à partir de dsmw

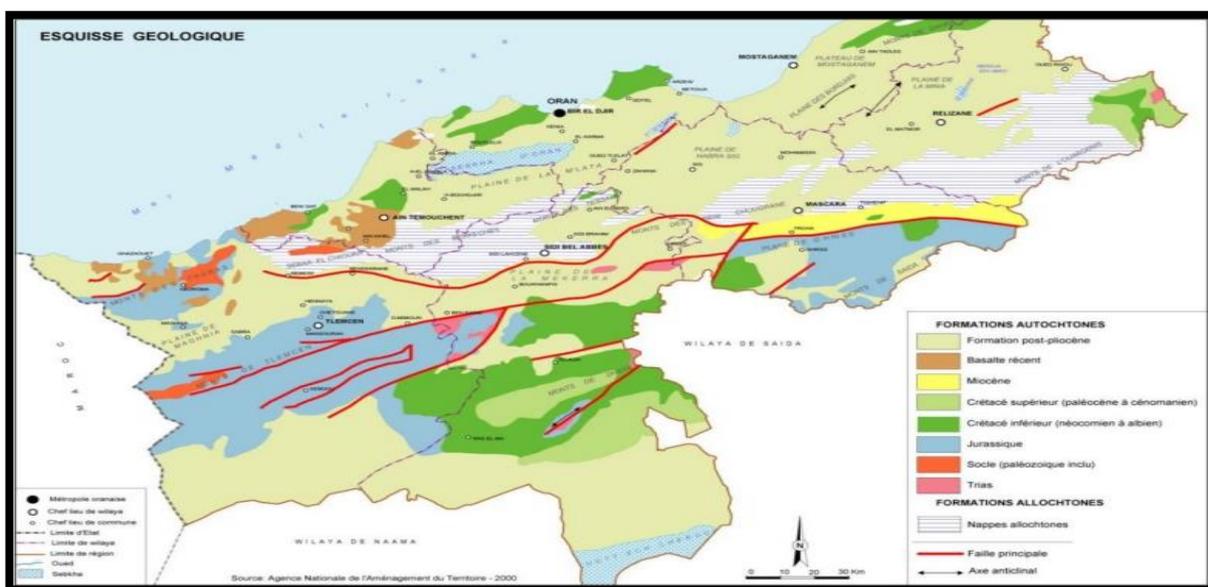


Figure. III. 2 : La carte de type de sol de la macta

Le sol de bassin versant de la macta contient 5 types :

- 1- **Basalte récent** : est une roche magmatique volcanique issue d'un magma refroidi rapidement.
- 2- **Mocène** : est une roche sédimentaire, mélange de calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) et d'argile dans des proportions à peu près équivalentes variant de 35 % à 65 % Au-delà de 65 % de calcaire,
- 3- **Crétasé supérieure et inférieure** : Dans les zones marines, le crétacé débute par une avancée de la mer, qui connaît une intensification au crétacé supérieur, et se termine par un recul de la mer pouvant aller jusqu'à l'émersion des terres, et au développement de roches sédimentaires continentales de couleur rouge.
- 4- **Jurassique** : calcaire gris et calcaire dolomitiques.
- 5- **Trias** : formation détritique et dépôts lagunaires riches en gypse et en halite.

### III.2.3. Occupation du sol :

La carte d'occupation du sol on a téléchargé à partir de la carte modis de 500 m de résolution

Les résultats obtenus (Figure III.2) révèlent six (06) catégories distinctes d'occupation du sol, à savoir :

- Couvert végétal permanent (forêts, maquis, arboriculture...)
- Couvert végétal temporaire (agriculture)
- Couvert végétal clairsemé (steppes, parcours)
- Eau libre (barrage, lac)
- Agglomération.

La carte d'occupation du sol et le tableau des superficies par classe mettent en évidence la prédominance du couvert végétal temporaire, représentant 58 % de la surface totale, concentré principalement dans les plaines intérieures de Sidi Belabbes, Ghriss, et les grands périmètres irrigués (Habra, Sig). La couverture végétale clairsemée prédomine au Sud-Ouest avec la présence d'alfa, de parcours, et de maquis clairs (Bouasria et al, 2010). En revanche, le couvert végétal permanent occupe 20 % de la surface totale et se caractérise par des forêts

de pins d'Alep (Louza, Belarbi, Tenira, et Tiffrit), des maquis, ainsi que des cultures arboricoles telles que l'olivier, les vignobles, etc. (Baahmed, 2004).

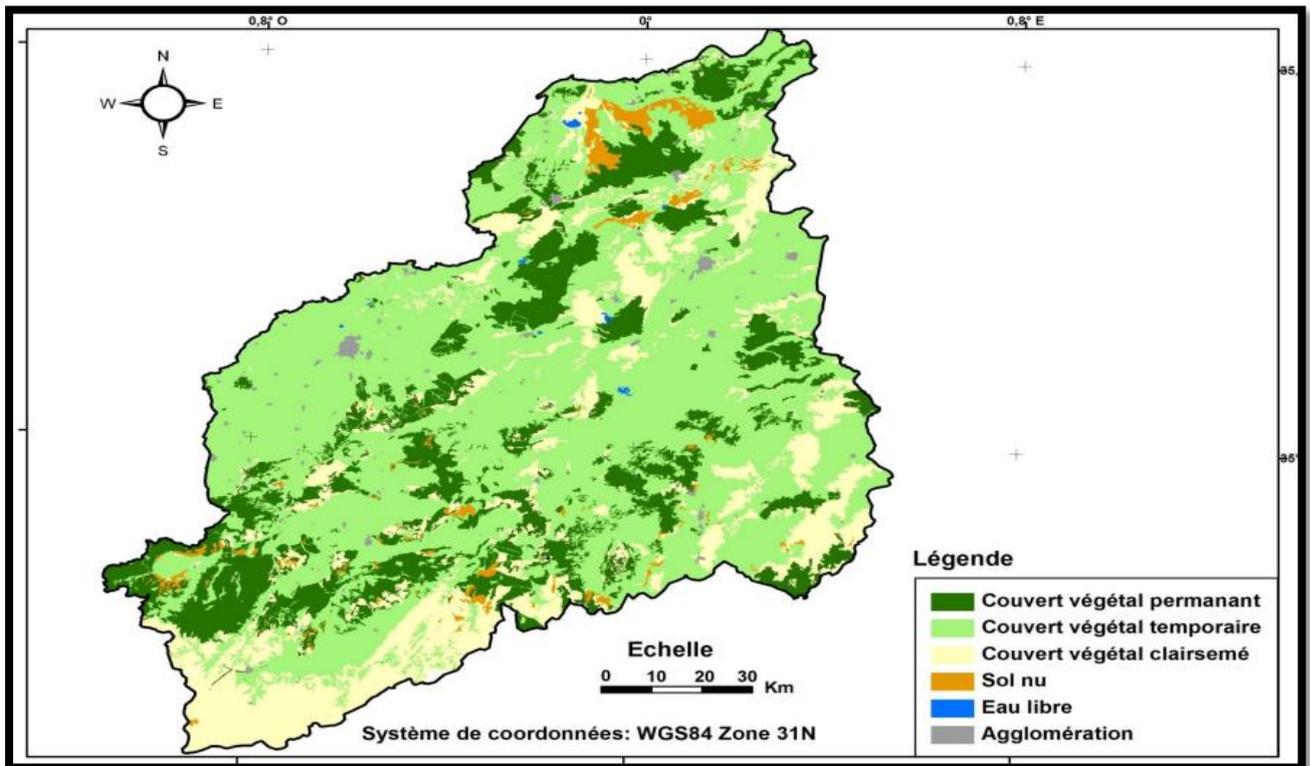


Figure.III.2: Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Macta (50m).

### III.2.4. Données climatiques :

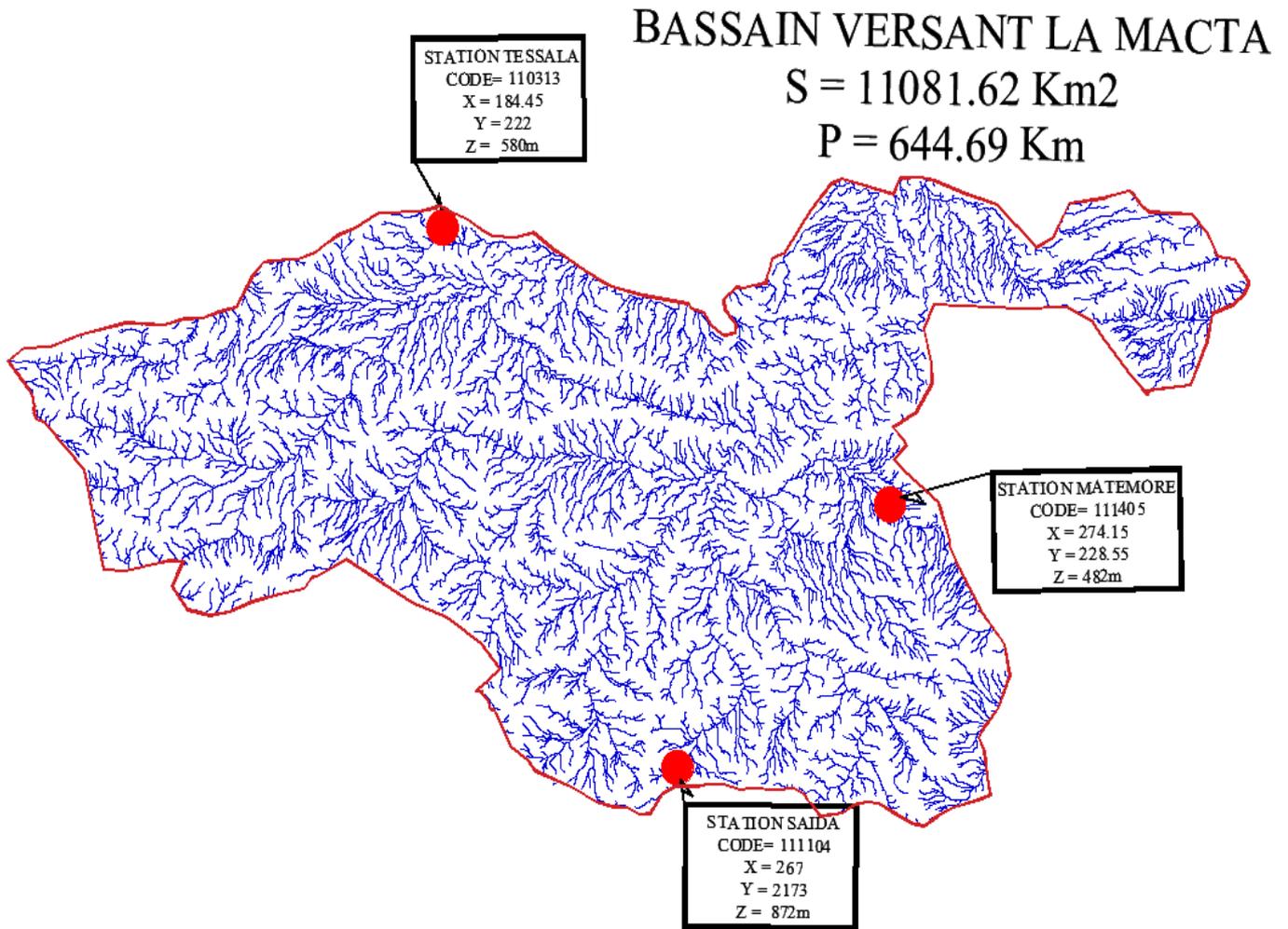
Les données météorologiques nécessaires au calcul du bilan hydrologique sont :

- les précipitations journalières (mm) ;
- les températures minimales et maximales journalières (°C) ;
- l'éclairement énergétique journalier (c'est-à-dire la quantité de rayonnement solaire incident arrivant sur une surface d'un mètre carré durant une journée) (MJm<sup>-2</sup>jour<sup>-1</sup>) ;
- la vitesse moyenne journalière du vent (ms<sup>-1</sup>) ;
- l'humidité relative moyenne journalière (nombre compris entre 0 et 1).

03 stations climatiques représentatives du bassin d'études ont été recueillies au niveau de l'ONM dont les caractéristiques sont données dans le tableau III.1. Leur répartition spatiale dans le bassin d'étude est illustrée dans la figure III.3.

Tableau .III. 2 : Caractéristiques des stations climatologiques

station	Code station	X	Y	Z	période d'observation
MATEMORE	111405	274,15	228,55	482	1943-215
SAIDA	111104	267	173	872	1960-2015
TESSALA	110313	184,45	222	580	1914-2015



**Figure. III. 3 .** Présentation spatiale des caractéristiques des stations de bassin versant la macta

### III.2.5. Données hydrométriques :

Pour cette recherche, nous avons exploité les données de 4 stations hydrométriques sarno amont, saida, metmore, tessala (Code : 110302, 111104 , 111405,110313), située dans la. Les données, fournies par l'ANRH, se composent: les débits liquides journaliers, , offrant ainsi un échantillon robuste pour la modélisation et, par conséquent, la prévision. Cette ampleur temporelle augmente nos chances de normaliser les erreurs et de valider nos modèles.

Tableau .III. 3: Caractéristiques des stations hydrométriques

station	Code station	X	Y	Z	période d'observation
MATEMORE	111405	531582.650	9955772.980	482	1943-215
SAIDA	111104	523168.472	9956304.751	872	1960-2015
TESSALA	110313	531239.331	9969115.996	580	1914-2015

Les données sont collectées auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H) à Alger. Leur qualité et leur durée varient.

En hydrologie, le débit moyen annuel revêt une grande importance. Il caractérise l'écoulement moyen sur toute une année et est exprimé en mètres cubes par seconde.

### III.2.6. Données pluviométriques :

Les données proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydrique (A.N.R.H) d'ALGER. Elles sont de qualité et de durée variables. Il sera question dans notre cas d'analyser les valeurs mesurées des précipitations journalières des diverses stations pluviométriques étudiées sur des longues périodes d'observations.

#### a) Précipitations journalière des stations étudiées :

Les données pluviométriques traitées sont celles enregistrées au niveau des stations SAIDA, TESSALA et METMORB montre que les variations journalières des précipitations durant la période s'étalant de 1982 à 2012 sont assez concordantes.

#### b) La variation des pluies moyennes mensuelles pour les stations étudiées :

Les valeurs traitées sont celles des stations traitées avec une période allant de 1982 à 2012. Le tableau suivant montre la répartition mensuelle des pluies annuelles.

Tableau .III. 4. Répartition mensuelle des pluies annuelles

STATION	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	juin	Juillet	Aout	Total
TSEELA	8,03	9,15	9,96	12,5	11,93	11,90	10,80	7,64	6,99	6,86	6,44	6,27	108,47
METMOUR	7,50	8,62	9,40	11,76	11,31	11,18	10,14	7,15	6,57	6,47	6,04	5,88	102,02
SAIDA	7,75	8,90	9,71	12,15	11,69	11,56	10,47	7,39	6,79	6,68	6,24	6,08	105,42

D'après le graphe de la figure III. 4, l'évolution saisonnière des précipitations est similaire dans toutes les stations.

Nous constatons que :

- Avec une précipitation moyenne annuelle de 108,47mm/an, la région de TSSELA est la plus arrosée ;
- La station de METMOUR de reçoit le minimum de pluie avec une lame d'eau précipité de 102,02 mm/an.

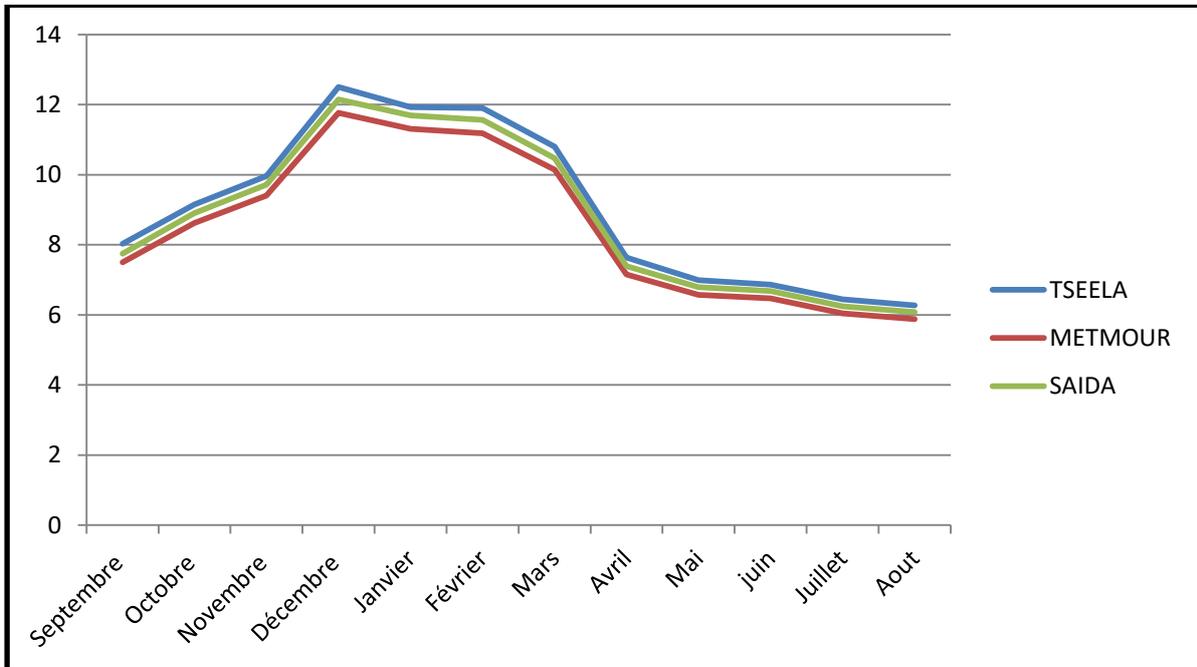


Figure. III. 4 . Variation annuel des précipitations pour les 3 stations étudiées

### III .2.6.1. Traitement des données pluviométriques :

#### a) Homogénéisation des données :

L'homogénéisation des données constitue une analyse statistique de l'information qui contribue à une prise de décision éclairée. Toute étude hydrologique requiert une vérification minutieuse des données utilisées. Des résultats concluants ne peuvent être espérés si les données de base ne sont pas fiables. Ainsi, l'analyse hydrologique repose sur l'exploitation de données

Différentes méthodes d'homogénéisation existent, qu'elles soient graphiques ou analytiques.

Dans notre cas, nous avons choisi d'utiliser le test de la Médiane (MOOD) :

- Nous commençons par déterminer la médiane M après avoir classé la série par ordre croissant.
- Ensuite, nous remplaçons la série des valeurs non classées par une suite de signes.

+ Pour les valeurs  $x_i > M$

- Pour les valeurs  $x_i < M$

- On calcule les quantités  $N_s$  et  $T_s$ ,

avec :

- $N_s$  : Nombre total de séries de + ou -
- $T_s$  : taille de la plus grande série de + ou -

- La série est homogène si et seulement si

$$N_s > 1/2 (N+1-1.91\sqrt{N+1})$$

$$T_s < 3,3(\log_{10}N+1)$$

Avec : N : la taille de la série (N=30)

**Tableau .III. 5.** Résultat du test d’homogénéité

station	TSEELA	METMOUR	SAIDA
<b>Ns</b>	15	15	15
<b>Ts</b>	4	3	4
<b>résultat</b>	vérifie	vérifie	vérifie
	Homogène	Homogène	Homogène

**b) Ajustement des précipitations annuelles :**

Pour estimer les valeurs extrêmes ou les quantiles, une adaptation à une distribution de probabilité est nécessaire, après avoir calculé non seulement la fréquence expérimentale mais également les caractéristiques empiriques les plus significatives (telles que la moyenne arithmétique, l'écart-type, le coefficient de variation et d'asymétrie). Il est crucial de sélectionner une distribution de probabilité qui puisse s'ajuster de manière appropriée à la série hydrologique. Cette démarche consiste donc à ajuster une distribution théorique des fréquences à l'échantillon

Dans le domaine de l'hydrologie, le travail de l'hydrologue consiste à aligner cette approche avec le risque d'occurrence d'un événement spécifique. Les méthodes statistiques ou d'échantillonnage ne considèrent qu'une seule variable d'un processus (par exemple, les précipitations annuelles, le débit maximum), excluant ainsi la dimension temporelle.

Par ailleurs, la validité des résultats d'une analyse fréquentielle dépend du choix du modèle fréquentiel, en particulier de son type. Bien qu'il existe plusieurs pistes pour faciliter ce choix, aucune méthode universelle et infaillible n'existe malheureusement. Les distributions disponibles sont nombreuses et applicables à un échantillon uniquement si les conditions d'homogénéité et de stationnarité sont satisfaites. Parmi ces distributions, on trouve notamment

- la loi normale,
- la loi log-normale,
- la loi exponentielle,
- la loi gamma,
- la loi gamma généralisée,

Dans notre cas, nous utiliserons la loi log normal.

Les critères de sélection d'une distribution sont basés sur des tests de dispersion et des ajustements graphiques. L'aspect des points sur un graphique de probabilité permet initialement d'accepter ou de rejeter une distribution. L'ajustement des précipitations annuelles sera réalisé à l'aide du logiciel "hifran "

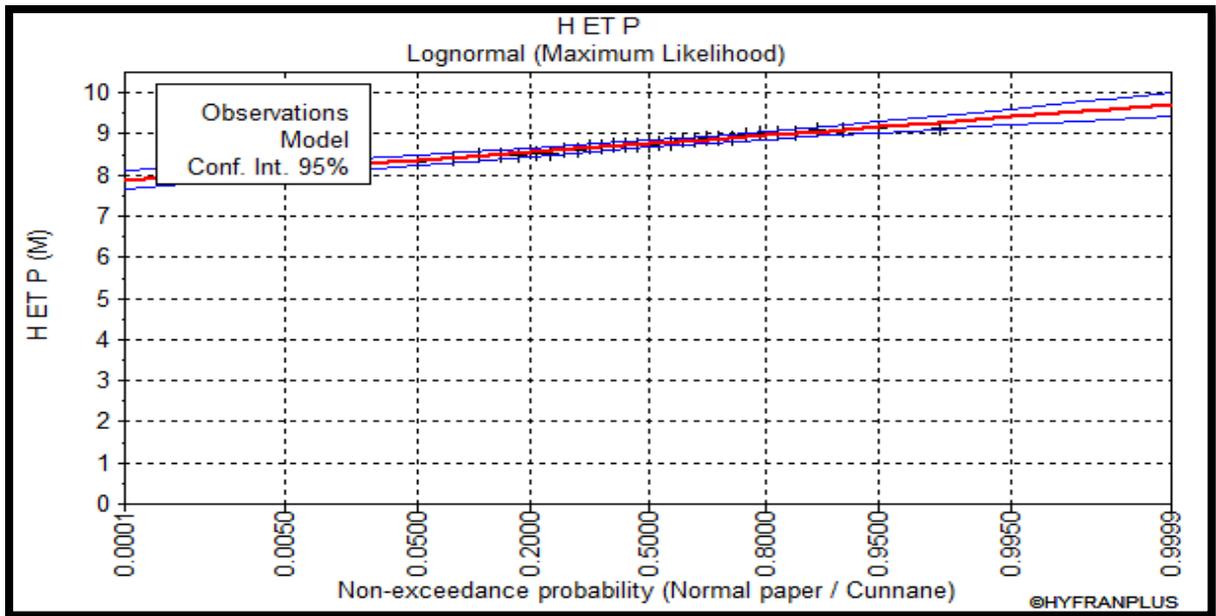
**C)Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton (ou log-normale) :**

Si on pose  $y=\log x$  et si  $y$  suit une loi normale,  $x$  suit une loi log normale. Cette loi pourra s'ajuster à des échantillons ( $x$ ) dont le coefficient d'asymétrie n'est pas nul.

➤ **Station tseela :**

**Tableau .III. 6 :** Ajustement à la loi log normale

T	q	XT
1000.0	0.9990	9.55
200.0	0.9950	9.42
100.0	0.9900	9.35
50.0	0.9800	9.28
20.0	0.9500	9.17
10.0	0.9000	9.08
5.0	0.8000	8.97



**Figure. III. 5 .** Ajustement de la série pluviométrique à la loi log normal de la station saida

➤ **Station metmour :**

**Tableau .III. 7:** Ajustement à la loi log normale

T	q	XT
1000.0	0.9990	3.11
200.0	0.9950	3.04
100.0	0.9900	3.01
50.0	0.9800	2.97
20.0	0.9500	2.91

10.0	0.9000	2.86
5.0	0.8000	2.81

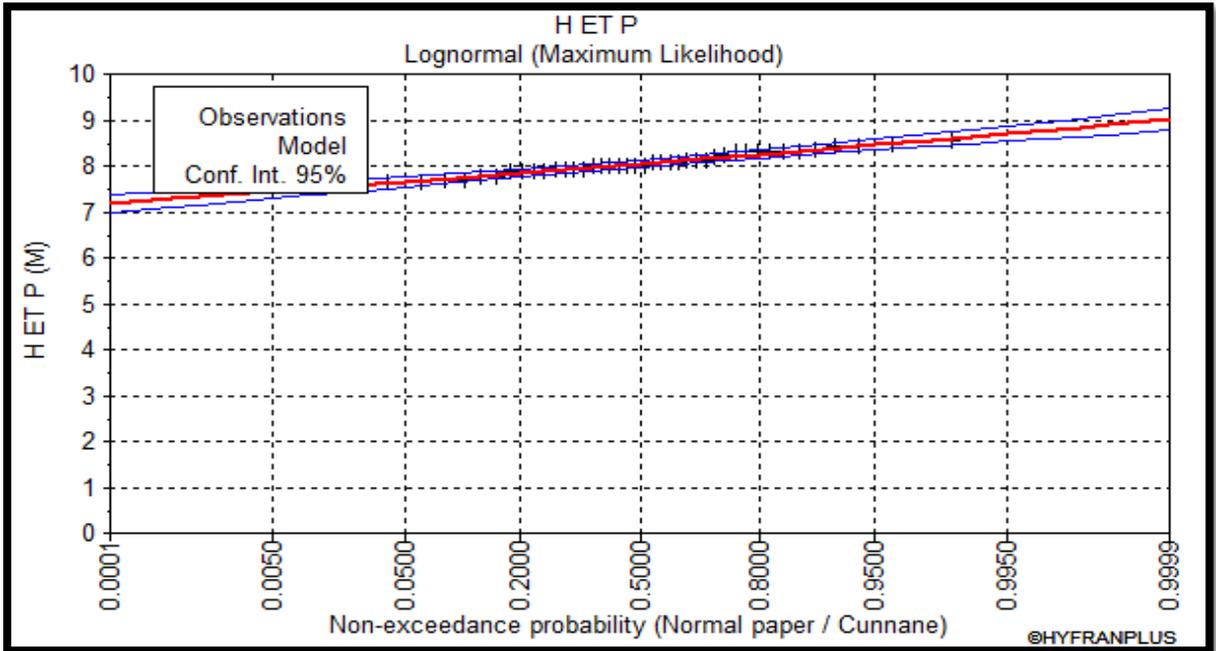


Figure. III . 6 . Ajustement de la série pluviométrique à la loi log normal de la station saida

➤ Station saida :

Tableau .III. 8: Ajustement à la loi log normale

T	q	XT
1000.0	0.9990	3.30
200.0	0.9950	3.23
100.0	0.9900	3.20
50.0	0.9800	3.17
20.0	0.9500	3.12
10.0	0.9000	3.08
5.0	0.8000	3.02

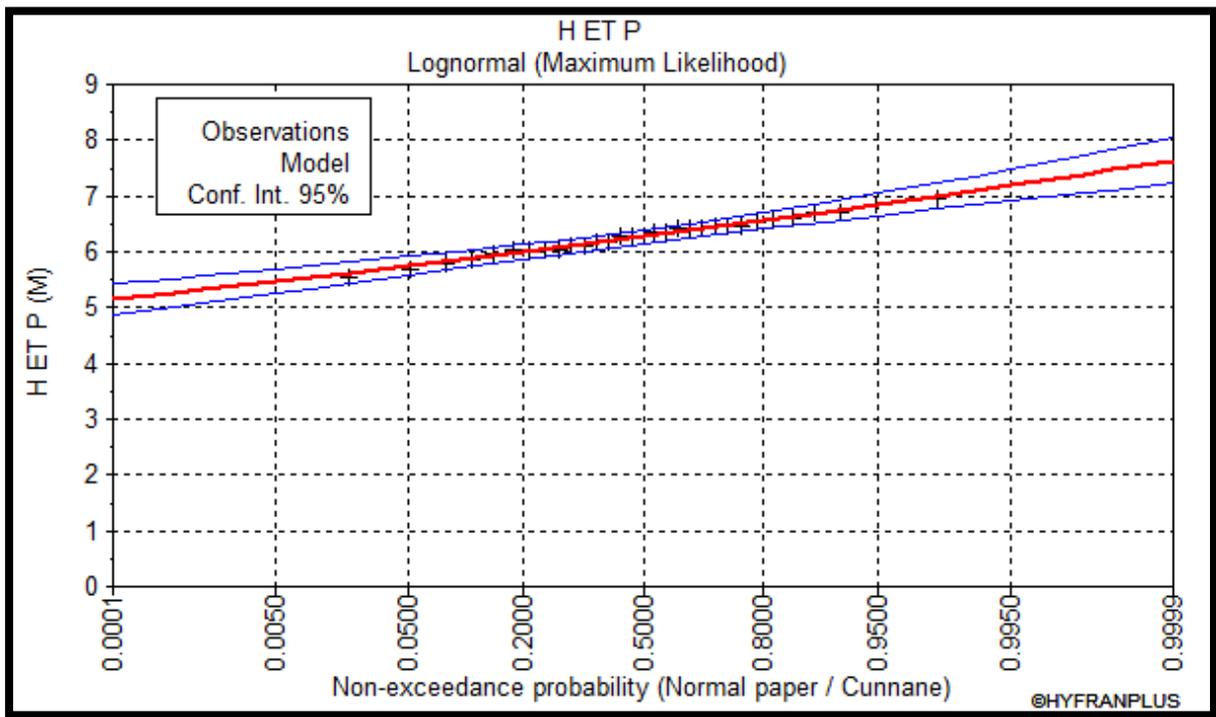


Figure. III. 7 . Ajustement de la série pluviométrique à la loi log normal de la station saida

D'après l'ajustement de la série pluviométrique des trois stations en confirme l'adéquation de la série des pluies maximale pour la loi de log normale

### III.3. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons eu à recueillir les données de 3 stations pluviométriques et 1 hydrométriques sur une période de 30 ans réparties sur l'ensemble du bassin hydrographique « LA MACTA ».

Le traitement des données, a permis de combler les lacunes et d'homogénéiser les données étudiées,

On a trouvé que nos séries hydrométriques s'ajustent mieux à la loi log normale ;

Le régime hydrométrique du bassin d'étude est caractérisé par une variabilité importante des écoulements de même titre que la pluviométrie et cela sur le plan temporel et spatial.



# CHAPITRE IV: Application de la modélisation arcSWAT

## Chapitre IV : application de la modélisation sur arcSWAT

### IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous procéderons à la préparation de toutes les données d'entrée nécessaires pour la modélisation du bilan hydrologique. Ces données comprennent :

- La topographie, présentée sous forme d'un modèle numérique de terrain ;
- Une carte d'occupation du sol ;
- Une carte pédologique ;
- Les données liées à la pente ;
- Une carte décrivant le réseau de stations hydrométriques ;
- Une carte représentant le réseau de stations météorologiques ;
- Les données météorologiques, englobant :
  - Les précipitations journalières ;
  - Les températures maximales et minimales journalières ;
  - L'éclairement solaire quotidien ;
  - L'humidité relative moyenne journalière ;
  - La vitesse moyenne quotidienne du vent.

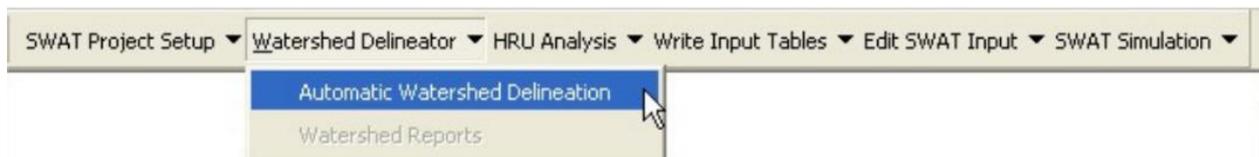
### IV.2. Modélisation du bilan hydraulique :

#### IV.2.1. Délimitation du bassin versant :

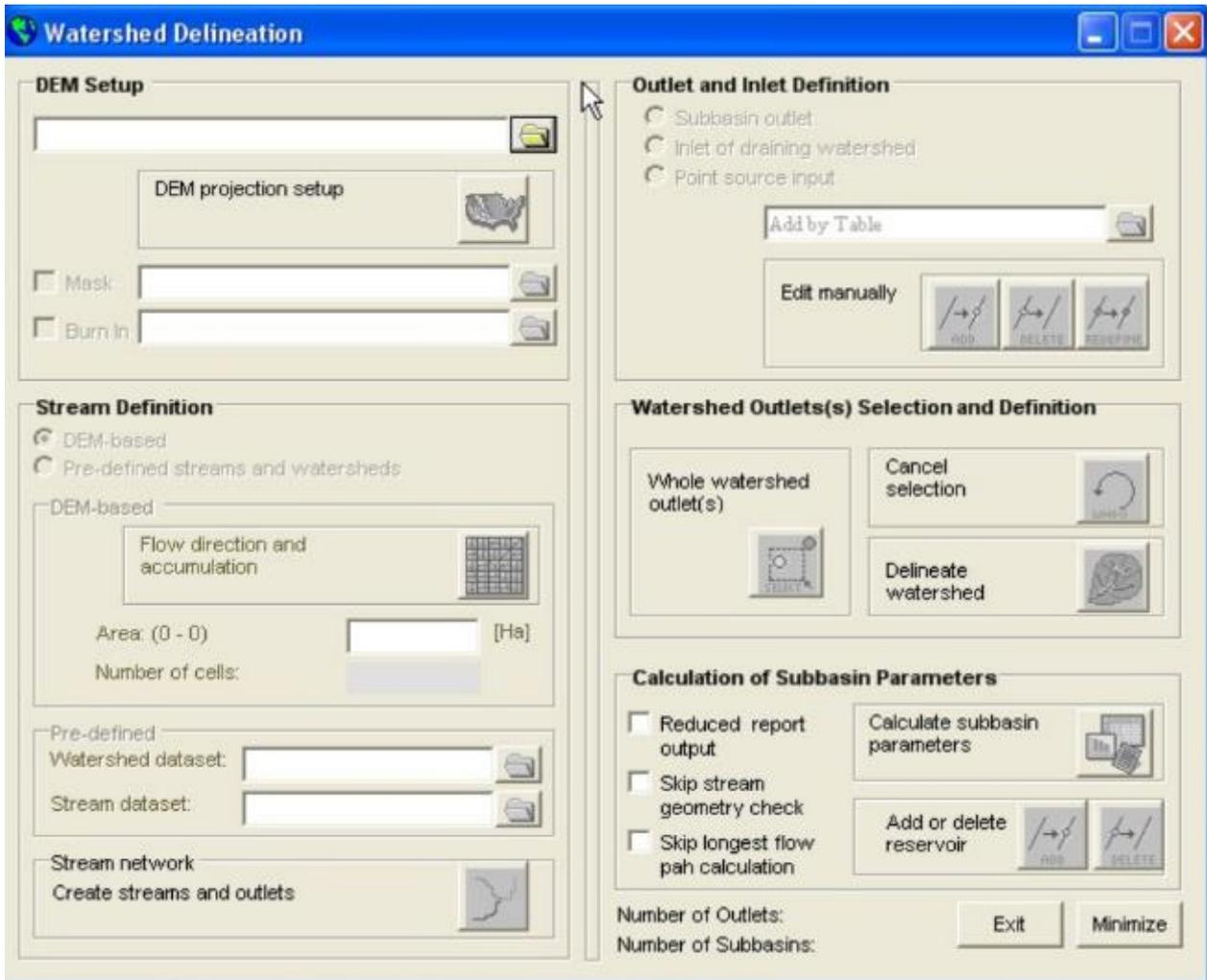
Nous allons maintenant procéder à la délimitation du bassin versant et au tracé du réseau Hydrographique.

1. Dans la barre d'outils ARCSWAT, sélectionnez le menu « Water shed Delineator » et cliquez

Sur « Automatic Watershed delineation »

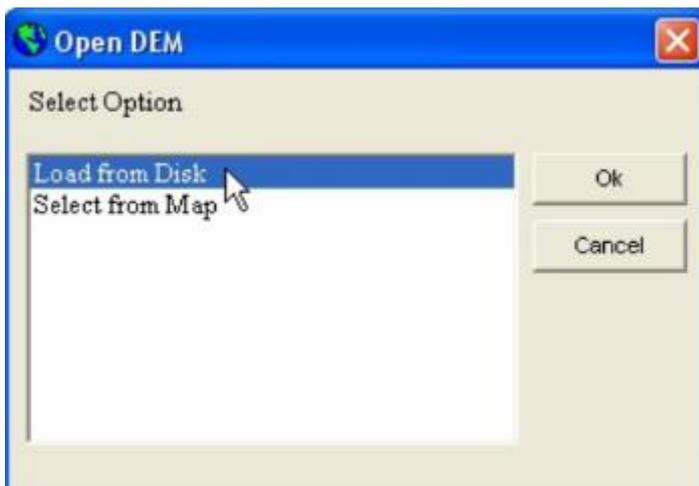


2. nous trouvons maintenant dans la fenêtre « Watershed Delineation »

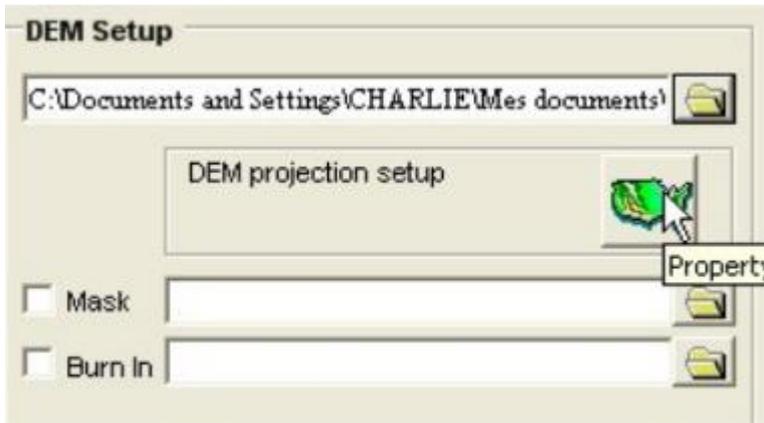


3. Dans le champ « DEM Setup », choisissez le modèle numérique de terrain de la maquette :

- Cliquez sur l'icône « dossier ».
- Choisissez l'option « Load From Disk » et cliquez sur OK

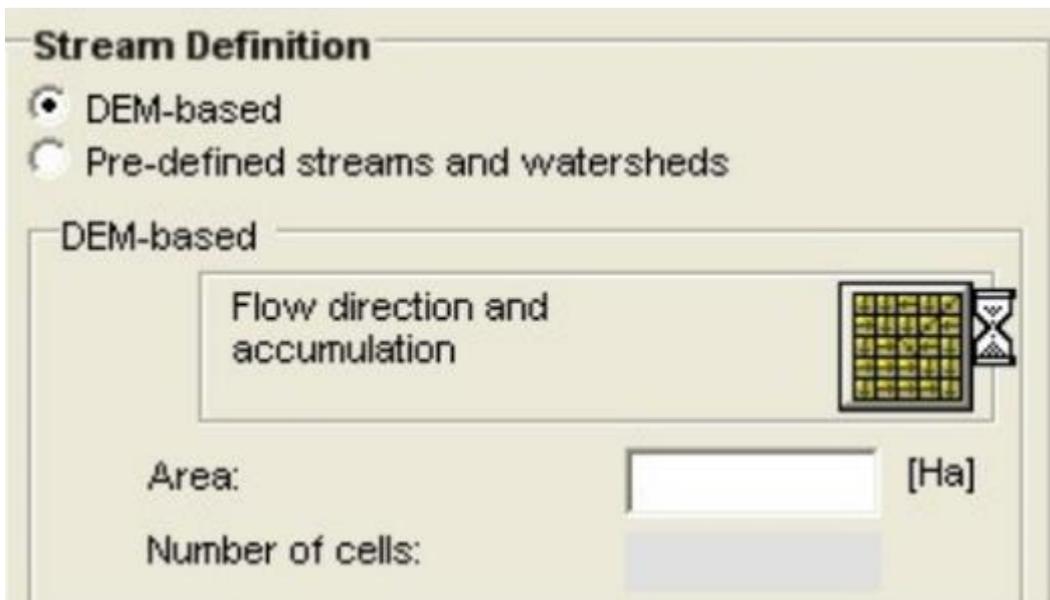


- Choisissez le fichier « SRTM » (chemin : data → SRTM → SRTM) et cliquez sur OK.
- Cliquez ensuite sur l'icône représentant la carte des Etats-Unis afin de préciser quelques Propriétés du modèle numérique de terrain:



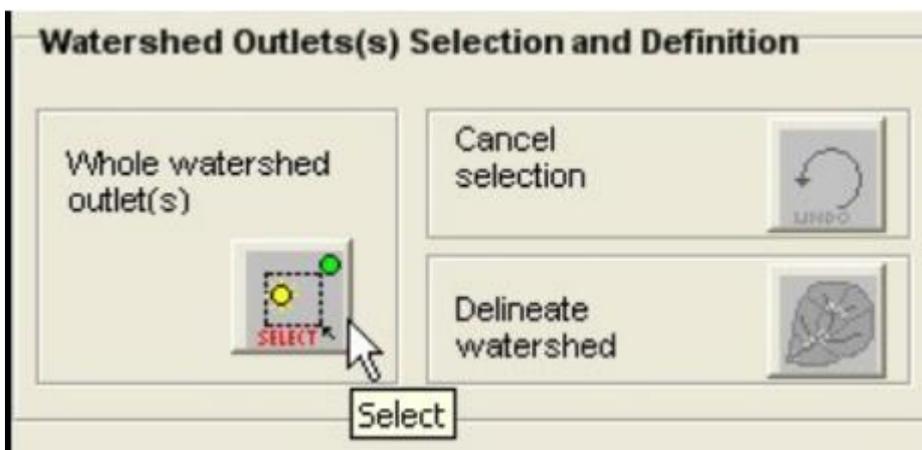
4. Dans le champ « Stream Definition » :

- cochez « DEM Based » (ARCSWAT tracera le réseau hydrographique à partir du modèle Numérique de terrain).
- Cliquez sur l'icône représentant le quadrillage.



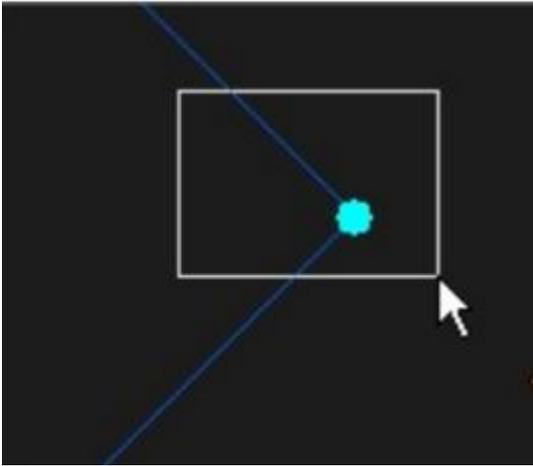
5-Nous allons maintenant choisir l'exutoire du bassin versant.

- Dans le menu « Watershed Outlets Selection and definition », cliquez sur l'icône "Select".



- Dans la fenêtre principale du projet, sélectionnez l'exutoire. Pour ce faire, cliquez avec

le bouton gauche de la souris et entourez le point.

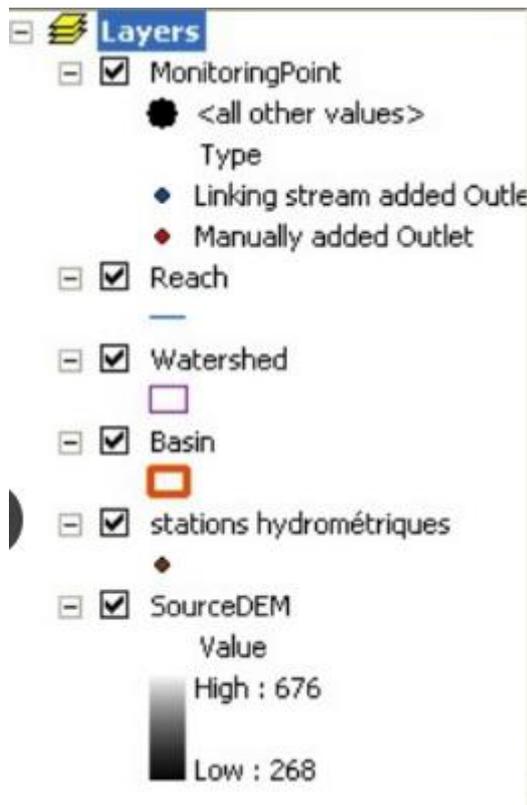


- Un message vous annonce que vous avez bien sélectionné un exutoire, cliquez sur OK.



- Lorsqu'ARCSWAT a terminé la délimitation du bassin versant, une fenêtre apparaît pour vous en informer, cliquez sur OK.

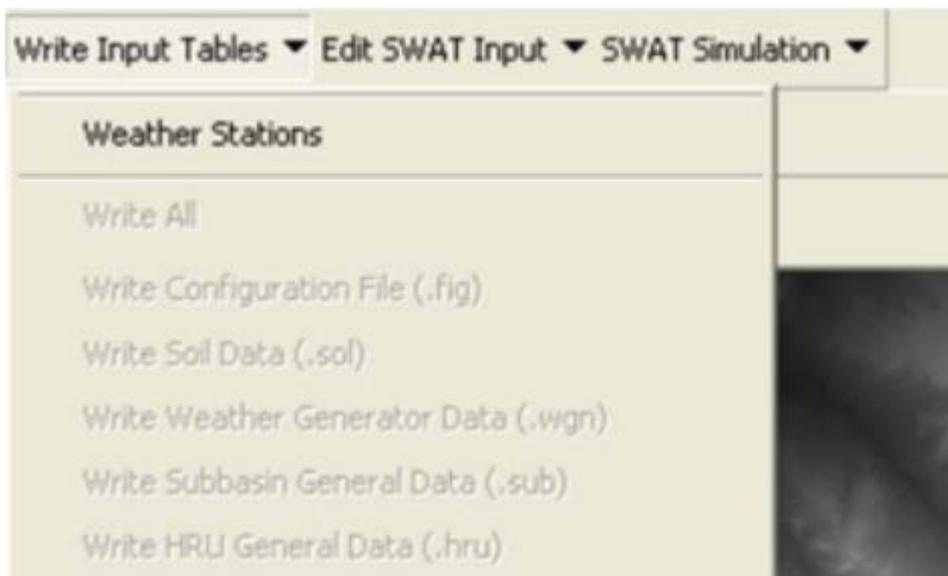
6. La délimitation du bassin versant a été effectuée. Dans la fenêtre principale, vous constatez qu'ARCSWAT a ajouté plusieurs couches



#### IV.2.2. Intégration des données météorologiques :

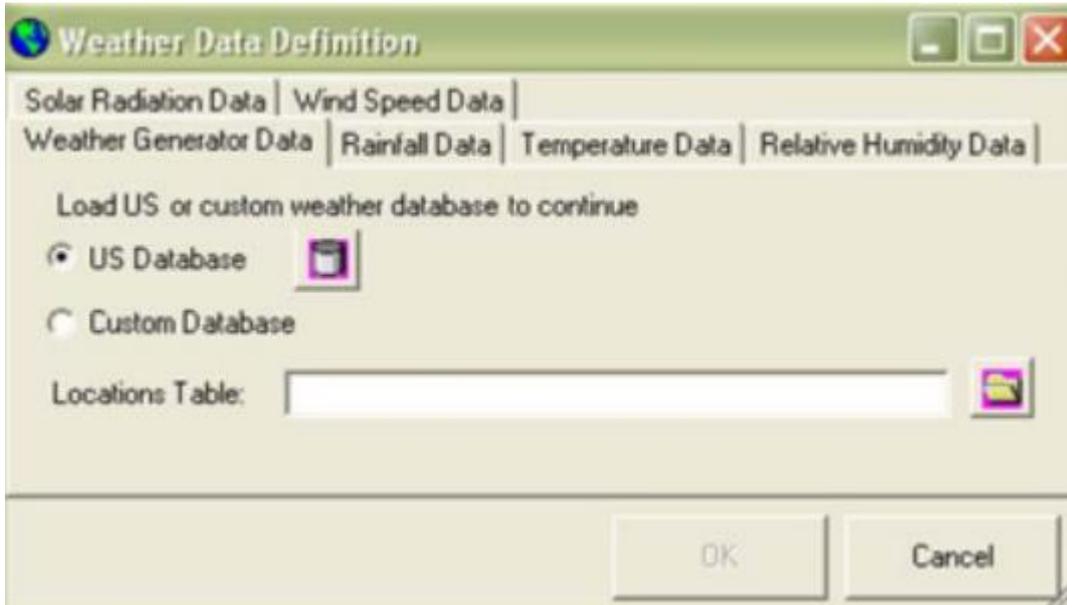
Lors de cette étape, nous allons intégrer les fichiers relatifs aux données météorologiques au modèle.

a) Dans la barre de menu ARCSWAT, choisissez « Write Input Tables » ➤ « Weather Stations ».



b) Une fenêtre intitulée « Weather Data Definition » s'ouvre. C'est dans cette fenêtre que vous

Allez choisir les fichiers relatifs aux différentes variables météorologiques.



Cette fenêtre contient 6 onglets:

- Weather Generator Data : dans ce menu, vous devrez charger le fichier général contenant Les localisations des stations
- Les autres onglets sont les onglets relatifs aux variables météorologiques (précipitations, Températures, humidité relative, rayonnement solaire et vitesses du vent). Ces données sont Optionnelles.

c) Lorsque vous avez terminé, cliquez sur OK.

d) ARCSWAT va créer les différentes tables contenant les variables météorologiques. Cette Opération peut prendre un certain temps. Lorsque celle-ci est terminée, une fenêtre vous Informera que la base de données a été créé. Cliquez sur OK.



e) constater qu'une nouvelle couche contenant les stations météorologiques a été Ajoutée au projet.

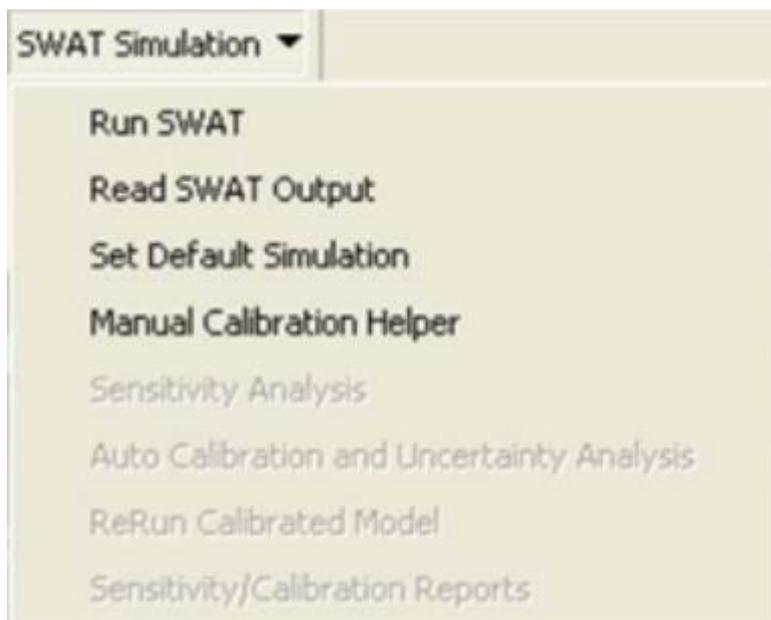
### IV.2.3. Simulation :

a) Dans la barre d'outils ArcSwat, allez dans « SWAT simulation » → « Run SWAT »



b) Les résultats de la simulation sont maintenant stockés dans un fichier temporaire. Il est conseillé de les enregistrer de manière permanente.

- Dans la barre de menu ArcSWAT, allez dans «Run SWAT » → « Read SWAT Output ».



c) Les résultats relatifs à cette simulation seront enregistrés dans un dossier portant le nom de la simulation. Ce dossier sera localisé dans le dossier contenant votre projet : model\_macta → simulation.

### IV.2.4. Description des fichiers de sortie (output):

- Le fichier « model\_macta .mxd » est le projet ArcSWAT à proprement parler.

- Le fichier « model\_macta .mdb » contient différentes bases de données relatives au projet.

Il contient entre autres des informations sur les sous-bassins, les HRUs, les stations météorologiques, ...

- Le dossier « Watershed » contient des fichiers relatifs au bassin versant (shapefiles, grids, fichiers texte, ...) : délimitation du bassin versant, du réseau hydrographique, des unités de réponse hydrologique, localisation des stations météorologiques, ...
- Le dossier « Scenarios » contient les différentes données de sorties. Si plusieurs simulations ont été enregistrées, vous trouverez un dossier par simulation.
- Le dossier « TablesIn » contient les données d'entrée du modèle sous forme de fichier Access. Les données que l'on y retrouve sont les mêmes que celles stockées dans la base de données « model\_macta.mdb ».
- Le dossier « TablesOut » contient la description des différentes données de sorties.
- Le dossier « TxtInOut » contient les données de sortie. Il contient des fichiers généraux, rassemblant des données pour les différents sous-bassins ainsi que des fichiers particuliers à chaque sous-bassin et unité de réponse hydrologique

on va voire des débit liquide pour faire une comparaison avec les donnée que nous collectée  
 Au niveau de l'ANRH

# Conclusion Générale

# *Conclusion générale*

L'utilisation de la modélisation en tant qu'outil pour comprendre le fonctionnement hydrologique des bassins versants et faciliter la prise de décision est largement reconnue comme l'une des méthodes les plus efficaces, alliant simplicité et efficacité.

La phase de modélisation commence par la numérisation des cartes d'occupation du sol et des types de sols conformément aux directives du modèle SWAT. Une fois la digitalisation des types de sols terminée, nous avons entrepris les premières étapes de calibrage en tentant de déduire le jeu de paramètres optimal par différentes méthodes, sans succès. Pour la plupart des ensembles de paramètres, les volumes et les débits de base sont systématiquement surestimés lors de la validation.

L'objectif global de cette étude était d'identifier le fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Macta en vue de sa modélisation. Ce but global se décline en deux objectifs spécifiques :

- Mieux comprendre le fonctionnement hydrologique de la zone d'étude.
- Évaluer la pertinence de l'outil SWAT dans le contexte spécifique de l'étude, non seulement pour la simulation des débits, mais également pour les processus hydrologiques intermédiaires.

# Bibliographie

# Référence bibliographiques:

- Abdelli F, Ouessar M, Bruggeman A, Khatteli H, Ghoudi R ,Guied M (2014) Mise en place d'un modèle agro-environnemental SWAT sur le bassin versant d'Oued Jir (sud-est tunisien. *Revue des Regions Arides*, 34, pp. 109-113.
- ANCTIL, F. (2004) Description du projet de recherche - Modélisation hydrologique des petits bassins versants en milieu rural." Financement : Fonds Québécois de la Recherche sur la Nature et les Technologies (FQRNT), 19 ,357–368.
- Beddal D (2015) Analyse statistique des apports liquides en climat semi-aride, cas du bassin versant de la Macta. Mémoire de magister. Université de Hassiba Ben Bouali, Chlef. 160 p
- Bioteau, Thierry & Bordenave, P. & Laurent, Francois & Ruelland, Denis. (2002). Evaluation des risques de pollution diffuse par l'azote d'origine agricole à l'échelle de bassins versants : intérêts d'une approche par modélisation avec SWAT®. Sciences, Eaux & Territoires.
- Boukhari Taleb R, 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
- De Souza Viana JF, Montenegro SMGL, Da Silva BB, Da Silva RM, Srinivasan R (2019) SWAT parameterization for identification of critical erosion watersheds in the Pirapama river basin, Brazil. *Journal of Urban and Environmental Engineering* 13:42-5
- Laurent F & Ruelland D (2010) Modélisation à base physique de la variabilité hydroclimatique à l'échelle d'un grand bassin versant tropical. *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources*, Oct 2010, Fez, Morocco, France. pp.474-484. fahalshs-00532790f
- 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*, <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00251-z>
- Qi J, Li S , Yang Q , Xing Z , Meng FR(2017) SWAT Setup with Long-Term Detailed Landuse and Management Records and Modification for a Micro-Watershed Influenced by Freeze-Thaw Cycles. *Water Resources Management* 31 :3953–3974
- Rakotoarisoa M, Fleurant C, Randriamaherisoa A, Razakamanana T (2015) Mise en oeuvre d'un modèle hydrologique conceptuel sur le bassin versant de la Sisaony, Région Analamanga, Madagascar

Samani H, Javadi S, Eini MR et al (2023) Compilation simulation of surface water and groundwater resources using the SWAT-MODFLOW model for a karstic basin in Iran. *Hydrogeol J* 31, 571–587.

Semari K & Benayada L (2019). Situation des ressources en eau du bassin versant de la Macta (nord-ouest Algérien). *Techniques Sciences Méthodes*. 65-71. 10.1051/tsm/201909065.

Son, NT, Le Huong H, Loc ND et al (2022) Application of SWAT model to assess land use change and climate variability impacts on hydrology of Nam Rom Catchment in Northwestern Vietnam.