

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



*Laboratoire Matériaux de Génie Civil
et Environnement*

Département Hydraulique

Laboratoire Matériaux de Génie Civil et Environnement

Mémoire de master en Hydraulique

Modélisation pluie-débit par le modèle S.W.A.T (Application au Bassin versant des Issers)

Présenté et soutenu publiquement le 06/07/2017

Par Mr **RADJAH Soufyane**

Sous la direction du **Dr. LEFKIR Abdelouaheb**

Mr BENGHERIFA Samir

Composition du Jury :

<i>Président</i>	Mr. BERMAD Abdelmalek	Professeur	ENP
<i>Promoteurs</i>	Dr. LEFKIR Abdelouaheb	MCA	ENSTP
	Mr BENGHERIFA Samir	Doctorant	ENP
<i>Examineur</i>	Mr.HOUARI KHEMISSI	MAA	Université de Boumerdes

ENP 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



*Laboratoire Matériaux de Génie Civil
et Environnement*

Département Hydraulique

Laboratoire Matériaux de Génie Civil et Environnement

Mémoire de master en Hydraulique

Modélisation pluie-débit par le modèle S.W.A.T (Application au Bassin versant des Issers)

Présenté et soutenu publiquement le 06/07/2017

Par Mr **RADJAH Soufyane**

Sous la direction du **Dr. LEFKIR Abdelouaheb**

Mr BENGHERIFA Samir

Composition du Jury :

<i>Président</i>	Mr. BERMAD Abdelmalek	Professeur	ENP
<i>Promoteurs</i>	Dr. LEFKIR Abdelouaheb	MCA	ENSTP
	Mr BENGHERIFA Samir	Doctorant	ENP
<i>Examineur</i>	Mr.HOUARI KHEMISSI	MAA	Université de Boumerdes

ENP 2017

ملخص

النمذجة الهيدرولوجية نشاط مهم جدا بين علماء المياه. النموذج الهيدرولوجي هو أداة أساسية في فهم ديناميات الاستخدام الرشيد لحوض الموارد المائية. بفضل التقدم الكبير في مجال نظام المعلومات الجغرافية و علوم الكمبيوتر، النماذج الهيدرولوجية تستخدم لوصف أحواض المستجمعات المائية بأكثر اكتمالا وشروط الدورة الهيدرولوجية. ومع ذلك، بسبب العدد كبير من المعلمات التي تشارك في العمليات الهيدرولوجية، هذا النهج الحاد لا يجلب بالضرورة أفضل النتائج

يهتم نمذجة دورة الأمطار والسيول في دورة المياه في مستجمعات المياه على المستويات المكانية والزمانية المختلفة. والهدف من عملنا هو وضع قانون السلوك مستجمعات المياه من منطقة يسر وجها لوجه مع استجابة الهيدرولوجية على ". (تقييم الأرض و الماء) SWAT أساس نموذج مفاهيمي بأنها "أداة

الكلمات المفتاحية: النمذجة الهيدرولوجية، ايسر، سد بني عمران؛ نموذج تقييم التربة والمياه

Abstract

The Rainfall-flow modeling focuses on the cycle of the hydrological cycle at a watershed level at different spatial and temporal scales. The objective of our work is to establish the law of behavior of the watershed of the Issers vis-à-vis the hydrological response based on a conceptual model such as "SWAT (tool for assessment of soil and water) water)".

The model used, in monthly time steps, to simulate the flow at the expotoire of the catchment in question so that the data of observed flows are available. This study allows us to identify the advantages and disadvantages of the model in a semi-arid climate. According to the performance criteria, the overall results of the best simulations, the model problems are unsatisfactory, further unusual, due to the large number of sources of uncertainty and simulated flow errors.

Keywords : rainfall-runoff modeling, model SWAT, semi-arid, monthly time step , simulations, watershed Issers.

Résumé

La modélisation pluie-débit s'intéresse principalement au fonctionnement du cycle hydrologique au niveau d'un bassin versant à différentes échelles spatio-temporelles. L'objectif de notre travail est d'établir la loi de comportement du bassin versant des Issers vis-à-vis à la réponse hydrologique en se basant sur un modèle conceptuel tel que « SWAT (Soil and Water Assessment Tool) ».

Le modèle utilisé, au pas de temps mensuel, a permis de simuler le débit à l'exutoire du bassin versant en question pour lequel les données de débits observés sont disponible. Cette étude nous a permis de dégager les avantages et les inconvénients du modèle dans un contexte de climat semi-aride. Selon les critères de performance, les résultats globaux des meilleures simulations issues de modèle sont insatisfaisants, et ce en raison du grand nombre de sources d'incertitude et d'erreurs du débit simulé.

Mots clés : modélisation pluie-débit, modèle SWAT, semi-aride, pas de temps mensuel simulations, bassin versant des Issers.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À la mémoire de mon père.

À ma très chère mère qui a si souffert pour me soutenir.

*À mon très chère frère Nouredine qui a été toujours comme un
second père.*

*A ma chère Sœur et mes frères qui n'ont jamais réservé leurs efforts
pour mon bien être.*

*À B.Imane qui m'a beaucoup encouragé et quelle a été toujours la
pour me soutenir .*

À toute ma famille du petit au grand.

À tous ceux qui m'ont connu de près ou de loin

Remerciements

Je remercie ALLAH de m'avoir prêté vie et volonté pour achever ce travail.

Je tiens tout d'abord à exprimer mes remerciements les plus sincères à Monsieur BERMAD, qui a encadré ce mémoire de fin d'étude, pour ses efforts fournis afin de mener à bien ce projet.

Je veux témoigner mon immense gratitude à Monsieur LEFKIR Abdelwehab et je tiens à le remercier pour sa grande disponibilité ainsi que pour ses nombreux

conseils, à lui exprimer tout ma reconnaissance pour sa bon humeur, sa gentillesse et patience.

Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude à Mr.Ouardi kamel (DHW) dont le soutien sans faille a été d'une immense contribution à la réalisation de ce travail.*

Je remercie également les membres du jury pour avoir pris la peine d'évaluer ce modeste travail.

Mes plus sincères remerciements vont également à Mr Khemissi Houari, et Hamzaoui Mohammed, pour leurs encouragements, et conseils.

Je ne saurais oublier tous mes amis, en particulier: ATREUCH.A , walid, yassin ,... qui ont su m'encourager et me soutenir et à qui je dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale	9
1 Modélisation Hydrologique, Modèle SWAT	11
1.1 Modélisation hydrologique :	11
1.1.1 Objectifs de la modélisation:	13
1.1.2 La Classification des modèles :	13
1.1.3 Définition de critères de performance objectifs :.....	16
1.1.4 Conclusion :	18
1.2 Le modèle SWAT : Présentation et Application Au bassin des Issers :	19
1.2.1 Aspect hydrologique de SWAT :	20
1.2.2 Spatialisation des processus :	22
1.2.3 Calage et validation du modèle :	22
2 Présentation de la Zone d'étude :	24
2.1 Le Bassin Bersant de L'Isser :	24
2.1.1 Géographie :	24
2.1.2 Bassin hydrographique :	25
2.1.3 Climat :	27
2.1.4 Géologie :	27
2.1.5 Végétations :	28
2.1.6 Base de données :	29
2.1.7 Conclusion :	30
3 Résultats et discussions :	32
3.1 Données :	32
3.1.1 MNT (Le Modèle Numérique de terrain) :	32
3.1.2 Carte d'occupation des sols :	32
3.1.3 Carte des sols :	32
3.1.4 Données pluviométriques :	33
3.2 Périodes de simulation et conditions climatiques :	33

3.3	Processus internes du modèle.....	33
3.4	Calage et Validation :	34
3.5	Résultats	34
3.6	Justifications des Résultats :	36
❖	Evolution de l'Occupation des Sols :.....	36
❖	Précision de données de sol :.....	36
❖	Périodes de simulation et conditions climatiques :	36
❖	Incertitude et manque des données :.....	36
3.7	Vers une amélioration de la précision du modèle.....	37
	Conclusion générale :	38
	Bibliographie :	40
	Annexes : Définition des paramètres dans SWAT	43

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Critères d'évaluation de la performance de SWAT (Moriassi et al. 2007) 17

Liste des figures

Figure 1: Les variables d'un modèle hydrologique (d'après Gaume, 2002).....	12
Figure 2: Schéma d'un modèle hydrologique.	12
Figure 3 : Schéma de description des modèles hydrologiques (Anctil et al. 2005).	14
Figure 4 : Architecture de l'interface du couplage SWAT et SIG (Bian et al. 1996).....	19
Figure 5 : Fonctionnement schématique de SWAT (d'après DUROS 2001).	20
Figure 6 : Structure hydrologique de SWAT (source Eckard et Arnold 2000).....	21
Figure 7 : Constitution des HRU dans SWAT (adapté de Ruelland et al. 2004).	22
Figure 8: Situation du bassin des ISSERS	24
Figure 9:Localisation Administrative du Bassin Versant des Issers	25
Figure 10: Réseau Hydrographique du Bassin Versant des Issers	26
Figure 11: Carte lithologique du bassin versant des Issers.....	28
Figure 12: Carte schématique de végétation du bassin versant des Issers (B.N.E.D.E.R 2011).	29
Figure 13: Situation des barrages dans le Bassin Versant des Issers.....	30

Introduction générale

Les eaux des rivières sont une ressource de plus en plus utilisées à des fins variées. Elles peuvent également présenter une menace pour les populations riveraines ou les ouvrages d'art. Les hydrologues sont en conséquence sollicités pour la prévision des crues ou des étiages, la prédétermination des débits pour le dimensionnement d'ouvrages d'art, ou le dimensionnement de réservoirs de stockage d'eau ou l'écrêtement des crues. Mais pour fournir aux ingénieurs de bons outils pour la Gestion de l'eau, l'hydrologue doit identifier les modèles qui représentent au mieux le comportement des bassins versants. Les problèmes peuvent se poser en tout point d'un réseau hydrographique. Pour y répondre, des observations issues de stations de mesure permettant la paramétrisation de modèles pertinents sont nécessaires. Malheureusement, on ne dispose pas toujours de telles données sur le point hydrographique auquel on s'intéresse. Le plus souvent, on dispose de données de pluie qui sont généralement beaucoup plus abondantes et mieux distribuées spatialement que les séries de débit. C'est la raison qui nous pousse naturellement à nous intéresser aux modèles pluie-débit : ils nous permettent de reconstituer ou de compléter des séries de débit à partir des séries de Pluie (Claudia Rojas Serna2005).

Les modèles pluie-débit s'adaptent aux particularités du comportement hydrologique d'un bassin versant au travers de leurs paramètres. Pour pouvoir appliquer utilement ces modèles, on a besoin d'une méthode permettant de déterminer ces paramètres, quel que soit le bassin versant. Le plus simple serait de pouvoir s'appuyer sur des relations régionales obtenues en établissant des liens statistiques entre les valeurs des paramètres et des descripteurs climatiques ou physiques des bassins versants. Cependant, la nature individuelle des bassins versants et la grande complexité des déterminants hydrologiques rendent délicate toute application directe des formulations régionales pour déterminer la valeur des paramètres. Les modèles restent, dans ces conditions, à des niveaux de performance souvent incompatibles avec les exigences de fiabilité opérationnelle (Claudia Rojas Serna2005).

Dans le cadre de ce travail, on s'est intéressé à la modélisation hydrologique du bassin versant des Issers situé au nord de l'Algérie sous un climat aride à semi-aride connu par sa variabilité spatiotemporelle dans le but de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique en s'attachant au réalisme des processus intermédiaires simulés et de tester la performance et l'applicabilité du modèle hydrologique conceptuel SWAT. Qui est un modèle semi-distribué, déterministe à base principalement physique, développé et amélioré plusieurs fois par différents auteurs.

*Modélisation
Hydrologique,
Le Modèle SWAT*

1 Modélisation Hydrologique, Modèle SWAT

1.1 Modélisation hydrologique :

La conception d'un schéma théorique dans le but de simuler le comportement hydrologique du bassin versant, en réponse à un évènement pluvieux, est loin d'être simple. En effets l'appréhension des différents processus qui interviennent dans le fonctionnement de système physique est toujours complexe. Mais il est toujours possible d'approcher la réalité autour d'hypothèses assez simplificatrice, et permette d'étudier de plus près le système. Les études sur la complexité des bassins versants et l'explication des comportements des hydro systèmes 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 fait preuve d'une bonne performance en allant de la prévision et l'annonce de crues jusqu'à l'évaluation et la gestion des ressources en eaux. Mais la question qui reste à résoudre est : quel modèle doit-on concevoir ou choisir parmi tous les modèles disponibles qui répond le plus 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 convenable, d'autre part. Pour comprendre la notion d'un modèle hydrologique, il est indispensable de connaître l'ensemble d'éléments qui le constituent (Bonn, 2003), un modèle est une représentation simplifiée, relativement abstraite, d'un processus, d'un système, en vue de le décrire, de l'expliquer ou de le prévoir.

Cette représentation ce fait grâce à un ensemble d'équations mathématiques qui sont appelées à reproduire le système. On distingue quatre types de variables qui peuvent exister en totalité ou en partie dans chaque modèle.

***Variables d'entrées :** le modèle fait appel à ces variables qui dépendent du temps et/ou de l'espace (pluie, ETP, caractéristiques physiques et hydrodynamiques du milieu,...).

***Variables de sorties :** le modèle répond par un ensemble de variables (débits, flux ou concentration en polluants...).

***Variables d'état :** elles permettant de caractériser l'état de système modélisé et peuvent en fonction du temps (niveau de remplissage des réservoirs d'eau d'un bassin versant, taux de saturation des sols, profondeur des sols, pentes,...).

***Paramètres de calage** : en plus des variables, la modélisation fait intervenir des variables dont la valeur doit être déterminée par calage.

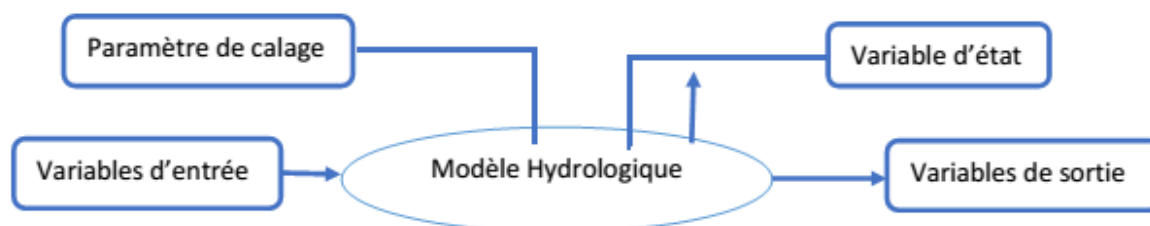


Figure 1: Variables d'un modèle hydrologique (Gaume, 2002).

Les variables ci-dessus interviennent dans la modélisation hydrologique par l'intermédiaire de deux fonctions : fonction de transfert et fonction de production.

***La fonction de production** : c'est une représentation simple mais réaliste, des différentes voies que suivra l'eau de pluie, entre le moment où elle atteint le sol et celui où elle rejoint le cours d'eau (Morin, 1991). Elle exprime la transformation de la pluie brute en pluie nette, définie comme la fraction de la pluie brute qui contribue effectivement au ruissèlement, en d'autres termes, elle permet de calculer la quantité d'eau qui va s'écouler à l'exutoire du bassin ou sous bassin versant.

***La fonction de transfert** : c'est la fraction qui permet de transférer, comme son nom l'indique. La quantité d'eau déterminée par la fonction de production. Vers le cours d'eau. Elle permet de 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.

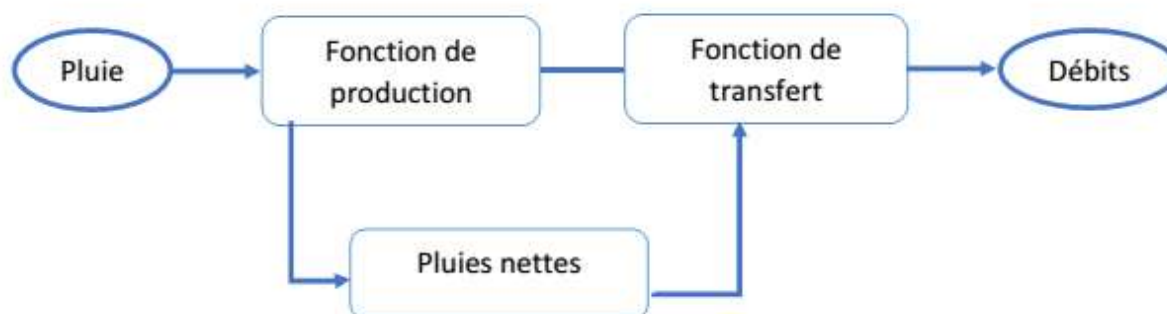


Figure 2: Schéma d'un modèle hydrologique(Gaume, 2002)..

1.1.1 Objectifs de la modélisation:

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

a) La prévision :

Grace à la mesure en temps réel des variables ou signaux d'entrée, il est possible d'évaluer les futurs débits à l'exutoire d'un bassin versant.

b) La simulation :

C'est l'analyse du comportement du système pour un signal particulier (par exemple pour une averse exceptionnelle). Dans ce cas, les mesures antérieures des débits ne sont pas disponibles et sont remplacées par les valeurs calculées. En hydrologie, la simulation est utilisée dans le but de compléter des données manquantes. de faire prédétermination des crues (évaluation des débits de pointe) ou, de générer des séries de données utiles à la gestion d'ouvrages des retenues.

c) Le contrôle :

Le contrôle, qui consiste à agir sur le signal d'entrée pour obtenir un signal de sortie ayant certaines caractéristiques, n'a trouvé que peu d'application en hydrologie

1.1.2 La Classification des modèles :

Depuis l'apparition de la modélisation hydrologique, de nombreux modèles ont été développés en fonction des objectifs recherchés, sur base de différents choix d'élaboration, menant à une multitude de modèles exploitables dont chacun est doté de champs d'application et de validité restreints. Les différences portent notamment sur les options de simulation en termes de discrétisation spatiale : les modèles sont globaux ou distribués. Et enfin, ils diffèrent au point de vue de l'expression des phénomènes hydrologiques, liés soit à des équations empiriques, soit à des équations physiques, soit à une simplification plus ou moins poussée de ces équations physiques (approche conceptuelle). Bref, les critères de classification Des modèles reposent principalement sur la représentation de l'espace, du temps Et des processus décrits (Singh, 1995 Payraudeau, 2002). La figure suivante donne une Classification des modèles hydrologiques en se basant sur ces critères.

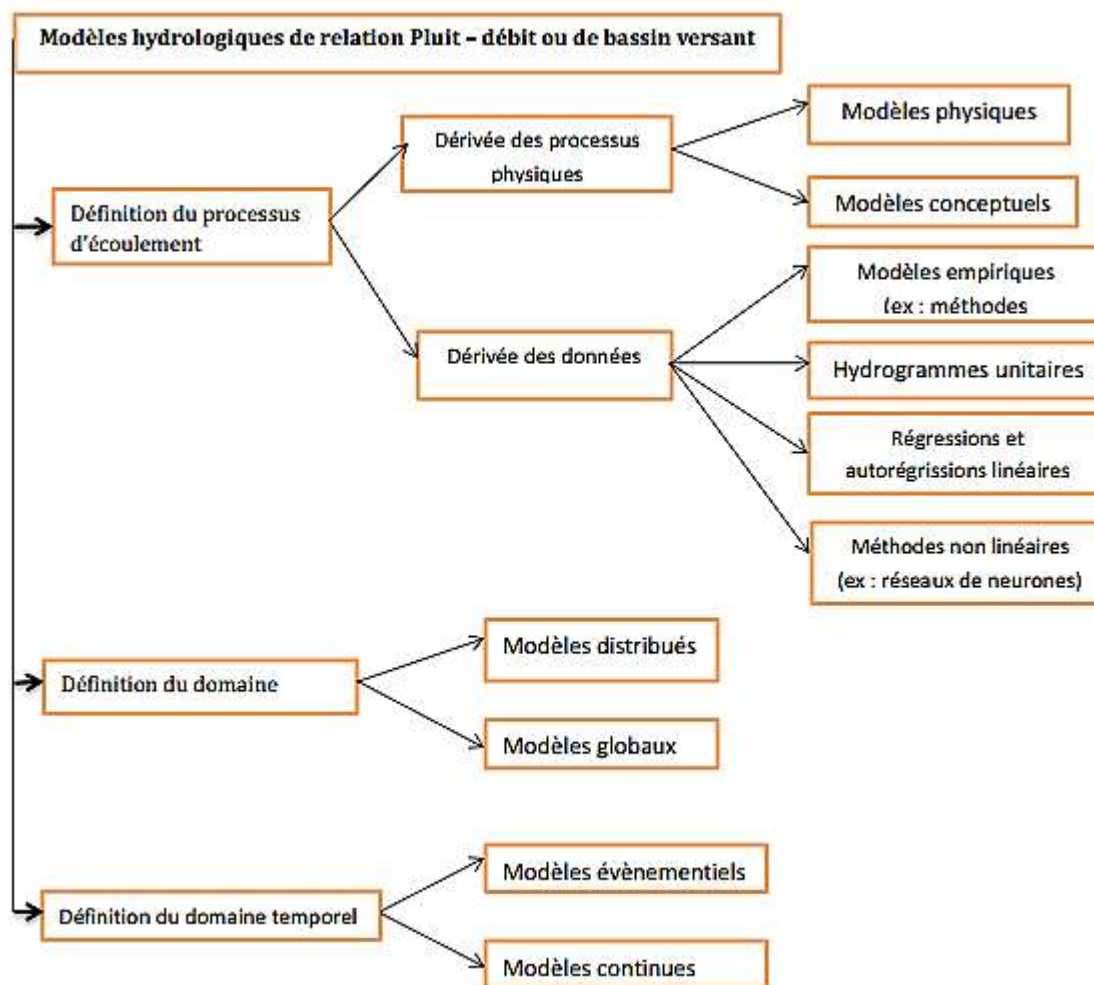


Figure 3 : Schéma de description des modèles hydrologiques (Anctil et al. 2005).

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

i. Les modèles empiriques :

Utilisent les séries de données chronologiques disponibles pour en déduire la structure du modèle ainsi que les valeurs des paramètres correspondants. Ils sont alors basés sur les informations rapportées des données et n'incluent aucune connaissance a priori sur le comportement du bassin versant et des processus physiques de l'écoulement. Ces modèles portent aussi le nom de boîtes noires (black box). Des exemples de ce type de modèles sont les réseaux de neurones artificiels (Artificial Neural Networks) (Hsu et al, 1995), les modèles GR (Edijando et Michel, 1989, Loumagne, 1988), le modèle SCS. Ces modèles considèrent généralement le bassin versant comme une entité unique. Les réseaux de neurones artificiels nécessitent une phase d'apprentissage et ne peuvent être utilisés sur les bassins non jaugés. Les modèles GR et SCS ont une structure simple et le rôle de leurs paramètres est bien identifié. A partir d'un travail de régionalisation des paramètres, il peut être envisageable de les appliquer à des bassins non jaugés.

ii. Les modèles conceptuels (conceptual, grey box) :

Utilisent des éléments de stockage Ou réservoirs comme composants principaux. Ces réservoirs se remplissent par des Flux : précipitation, infiltration ou percolation et se vident par évapotranspiration, Ruissellement, drainage etc. Contrairement aux modèles empiriques, la structure des Modèles conceptuels est déterminée avant leur utilisation. Elle est définie par la Compréhension du système hydrologique du modélisateur. Cependant, ces modèles Reposent également sur des séries temporelles de données de la sortie du système Pour la détermination des valeurs des paramètres dans un processus de calibration. Les paramètres décrivent la taille des réservoirs ou la répartition des écoulements entre eux. Un seul paramètre peut décrire plusieurs processus et ne peut alors pas être directement déduit des mesures de terrain. La plupart de ces modèles Considèrent le bassin comme une unité homogène (modèles globaux). Cependant, L'approche semi distribuée consiste à diviser le bassin versant en plusieurs sous bassins (Boyle et al. 2001) et tient compte de la variabilité spatiale à travers des classes ayant des comportements hydrologiques similaires. La plupart des modèles Utilisés en pratique sont des modèles conceptuels. Le modèle TOPMODEL, modèle Conceptuel distribué (Beven et Kirkby, 1979 ; Obled, 2003) est une illustration de ce Type de modèles. Ils ne sont pas directement applicables à des bassins non gaugés du fait 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 basins non jaugés (Burn and Boorman, 1992 ; Sefton and Howarth, 1998).

iii. Les modèles à base physique (physically-based, white box) (Freeze et Harlan,1969 ; Beven, 1989 ; Beven, 2002) :

Sont fondés sur les principes mécanistes de Conservation de la masse, du moment et de l'énergie. Concrètement, les équations qui génèrent ces modèles sont issues des lois de la mécanique des fluides ou de la Physique des écoulements d'eau dans les sols (loi de Richards en milieu non saturé, Loi de Darcy en milieu saturé et loi de Barré Saint-Venant pour le ruissellement de Surface). Leur utilisation pratique date des années 1980 grâce aux progrès de L'informatique.

iv. Les modèles continus et événementiels :*Les modèles continus :*

Tournent tout au long de l'année. Ils utilisent une représentation complète des différents composants du cycle de l'eau. Ces modèles ne nécessitent pas d'initialisation, ce qui est avantageux d'un point de vue opérationnel.

Les modèles événementiels :

Ne fonctionnent que lorsqu'un événement pluvieux se Produit. Certains phénomènes sont considérés comme prépondérants dans la représentation de ces modèles tandis que d'autres phénomènes peuvent être négligés. Par exemple pour la prévision des crues éclair, seule la génération du Ruissellement de surface et la décrue peuvent être représentées ; les processus plus lents comme l'évapotranspiration et la redistribution des eaux dans les sols sont Généralement négligés. Contrairement aux modèles continus, les modèles événementiels doivent être initialisés.

1.1.3 Définition de critères de performance objectifs :

Une simple analyse visuelle des résultats d'une simulation n'est pas une évaluation objective du modèle. En effet, l'œil humain n'est pas capable de voir toutes les différences qui peuvent exister entre deux courbes d'allure générale similaire. Ainsi nous avons besoin de nous doter de critères objectifs pour comparer les simulations aux observations et pour hiérarchiser des simulations qui « ont l'air » équivalentes. Plusieurs critères objectifs mathématiques existent pour quantifier la distance entre les observations et la simulation.

La plus répandue de ces fonctions objectives est le critère de Nash-Sutcliffe (Nash et Sutcliffe, ou efficacité E :

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

Où Y_{mod} est la variable simulée, Y_{obs} est la variable observée, \bar{Y}_{obs} est la moyenne des observations et n_{obs} le nombre d'observations. Ce critère quantifie la fraction de la variance observée qui est prise en compte par le modèle. Il prend des valeurs entre $-\infty$ et 1. Plus l'efficacité est proche de 1, meilleure est l'accord entre la modélisation et l'observation. Notons qu'une efficacité négative signifie que les valeurs simulées conduisent à de moins bons résultats que si la valeur moyenne des observations était utilisée comme prédicteur. Ce critère présente tout de même l'inconvénient de donner beaucoup de poids aux valeurs Fortes. Nous pourrions alors utiliser la même formulation sur le logarithme de la variable (si celle-ci ne prend pas de valeur nulle) ou sur la racine de la variable afin d'augmenter le poids des valeurs faibles. Par exemple, dans le cas d'une application sur le débit, pour représenter correctement les pics de crues, on utilise l'efficacité classique. Dans le cas où on s'intéresse plutôt au débit d'étiage, on utilisera de préférence l'efficacité sur les logarithmes ou sur les racines afin de diminuer le poids des fortes valeurs de débit.

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

NS	Evaluation de la performance
très bonne	$0.75 < NS \leq 1.00$
Bonne	$0.65 < NS \leq 0.75$
Satisfaisante	$0.50 < NS \leq 0.65$
Non satisfaisante	$NS \leq 0.50$

La mesure de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est aussi un critère souvent utilisé pour mesurer l'écart entre la simulation et l'observation, en donnant notamment une idée de la dispersion entre les deux. Plus elle sera faible et plus l'écart entre la simulation et les observations sera faible.

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

De la même façon qu'avec l'efficacité, ce critère peut être utilisé sur les logarithmes ou les racines des variables puisque ce critère a tendance à donner beaucoup de poids à la bonne représentation des fortes valeurs et donc à biaiser par exemple les simulations des récessions de crues (Boyle et al. 2000). En s'appuyant sur la corrélation entre la série simulée et la série observée, nous pourrions aussi chercher à maximiser le coefficient de détermination R^2 :

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

Des bonnes valeurs d'efficacité ou d'erreur quadratique n'attestent pas de l'absence d'une Erreur systématique. Pour s'affranchir de cela, il est possible d'utiliser le critère de biais **B** qui permet de mesurer la tendance du modèle à sous-estimer ou surestimer les observations :

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

Comme pour l'erreur quadratique ce critère devra être minimisé.

Le RSR (RMSE-observations standard déviation ratio) est l'indice d'erreur le plus utilisé (Chu and Shirmohammadi, 2004; Singh et al., 2004; Vasquez-Amábile and Engel, 2005) . Le modèle est plus performant quand la valeur du RMSE est petite.

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

Le RSR incorpore les avantages d'un indice d'erreur statistique et d'un facteur de normalisation pour qu'il soit applicable aux différentes variables, en accordant le même poids à tous les débits.

Il varie de la valeur optimale « 0 » qui indique une variation résiduelle nulle et donc un modèle de simulation parfait, à des valeurs positives très grandes.

1.1.4 Conclusion :

Il s'avère que la description des processus qui entrent en jeu dans la réponse hydrologique d'un bassin versant n'est pas une tâche aussi facile, cette description demande la connaissance et la maîtrise d'une variété de facteurs et de paramètre. des renseignements suffisants sur ces données ne sont pas toujours disponibles pour tous les bassins versants, d'où la nécessité de s'investir d'avantage dans l'étude de détermination de ces données pour développer des modèles qui représentent le mieux la réponse hydrologique du bassin versant.

1.2 Le modèle SWAT : Présentation et Application Au bassin des Issers :

Le bassin versant est l'unité de gestion du territoire pertinente d'un point de vue hydrologique, écologique et géomorphologique (Chorley, 1969). Il est le cadre analytique à considérer pour toute prise de décision en matière d'aménagement. C'est pourquoi les gestionnaires et les décideurs réclament des outils opérationnels adaptés à cette échelle. Mais le bassin versant est une unité complexe : l'ensemble des composantes du cycle hydrologique y est représenté et des facteurs anthropiques perturbateurs s'y ajoutent souvent. Rares sont les outils qui prennent en compte tous ces aspects de façon spatialisée, répondant ainsi aux attentes des gestionnaires.

Le Soil and Water Assessment Tool (SWAT) a été développé par Jeff Arnold pour l'USDA Agriculture research service en 1993 pour répondre à cette demande. C'est un modèle conceptuel physique semi-empirique distribué permettant de manipuler et d'analyser de nombreuses données hydrologiques et agronomiques.



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

Le couplage avec le SIG permet de gérer des données de type raster, vecteur et Alphanumériques. Il facilite et automatise la préparation des données d'entrées, il rend plus convivial la phase d'intégration, de manipulation et le paramétrage des données liées à la simulation. Le paramétrage des données numériques par l'utilisateur et la visualisation des résultats s'effectuent par le biais des formats « .Dbase ». Cependant, les fichiers de sorties sont convertis par SWAT en format ASCII possédant leurs propres structures. Plus d'une centaine de fichiers sont requis pour le bon fonctionnement du modèle : modèle numérique de terrain, pédologie, réseau hydrographique, données climatiques de températures et précipitations, occupation du sol, pratiques agricoles, etc....

1.2.1 Aspect hydrologique de SWAT :

Comme tout modèle hydrologique, SWAT reproduit le cycle de l'eau sur le bassin versant de manière simplifiée. On peut schématiser le fonctionnement du modèle par trois gros modules principaux qui communiquent entre eux par la circulation d'eau.

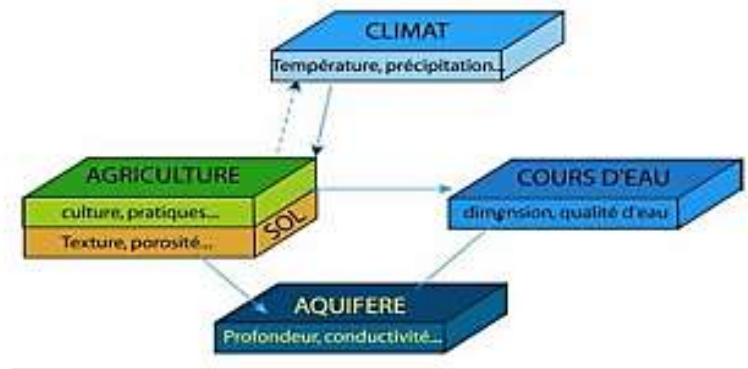


Figure 5 : Fonctionnement schématique de SWAT (DUROS 2001).

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

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day\ i} - Q_{surf\ i} - E_{a\ i} - W_{seep\ i} - Q_{gw\ i})$$

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 précipitation 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)

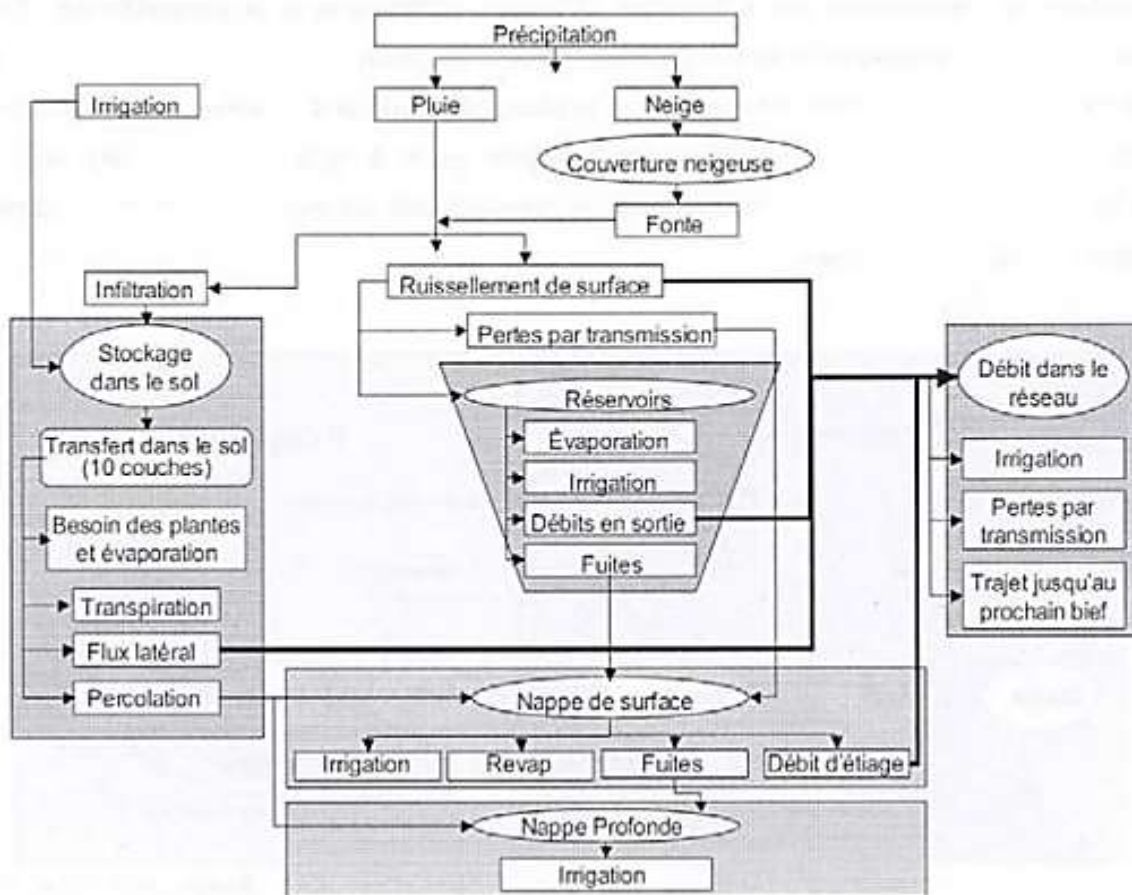


Figure 6 : Structure hydrologique de SWAT (source Eckard et Arnold 2000).

La figure qui présente la structure hydrologique de SWAT montre les différents Processus intrinsèque du bilan hydrique. Ainsi, on peut voir que l'hydrologie est modélisée en deux phases :

*Une première phase terrestre qui simule le ruissellement, l'infiltration, l'évapotranspiration (plusieurs algorithmes au choix selon les données disponibles) l'exportation et le transport de sédiments et d'éléments nutritifs vers le réseau hydrographique.

*La seconde phase est une phase de transport en rivière qui caractérise le déplacement de ces éléments depuis leur entrée dans le réseau jusqu'à l'exutoire du bassin. Certains processus décrits dans la figure 16 sont donc modélisés sur des bases déterministes, ils obéissent à des équations physiques, en revanche d'autres sont caractérisés par des relations empiriques ou des fonctions de transfert.

1.2.2 Spatialisation des processus :

Afin de prendre en compte les hétérogénéités du milieu, et mieux modéliser les différents comportements des processus, SWAT va spatialiser les types de réponses, c'est-à-dire que le modèle va calculer la valeur quantitative des différents processus sur chaque unité spatiale.

L'unité de base du calcul est la HRU (Hydrological Response Unit). Cette discrétisation spatiale en sous unités correspond à la combinaison d'un sous bassin versant d'un type de sol et d'un type d'occupation dont les paramètres vont influencer sur les phases du bilan hydrique (ruissellement, infiltration, évapotranspiration...). Une HRU aura donc un comportement hydrologique propre et homogène. Les différents flux (eaux, sédiments, phosphore) sont donc calculés sur la base de cette unité puis sommés pour fournir une valeur globale à l'exutoire du bassin.

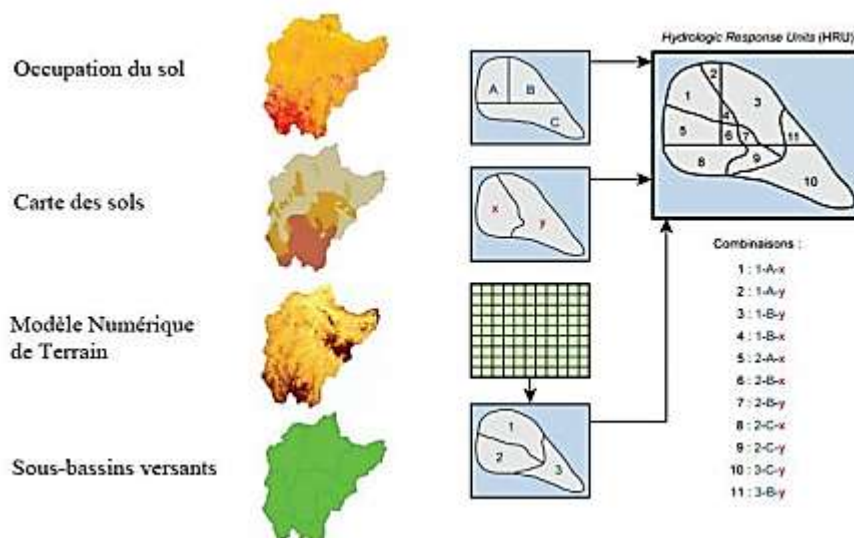


Figure 7 : Constitution des HRU dans SWAT (Ruelland et al. 2004).

1.2.3 Calage et validation du modèle :

La phase finale de modélisation consiste ensuite à calibrer le modèle, c'est à dire à modifier certains paramètres pour obtenir, dans un premier temps la meilleure corrélation possible entre les débits simulés et les débits observés dans le cas d'un modèle hydrologique, puis selon la problématique tenter de faire concorder les valeurs de débit au niveau de l'exutoire du bassin. La détermination des paramètres du modèle s'effectue par itération (tâtonnement par essais et erreurs), bien que les différentes réponses données par le modèle donnent toujours une idée des paramètres sur lesquels il faut influencer.

*Présentation de la
Zone d'étude*

2 Présentation de la Zone d'étude :

2.1 Le Bassin Bersant de L'Isser :

2.1.1 Géographie :

Le bassin des Issers est situé au Centre - Nord de l'Algérie à environ 70 Km au Sud Est d'Alger, il occupe une superficie totale de 4 149 Km², et est localisé entre les 35°90' et 36°85' Nord et les méridiens 2°88' et 3°95' Est. Il est limité à l'Est par le bassin de la Soummam, au Sud par le bassin du Hodna et à l'Ouest et au Nord par le bassin du Côtier-Algérois.

Il présente sensiblement la forme d'un quadrilatère d'orientation Sud –Ouest /Nord-Est.

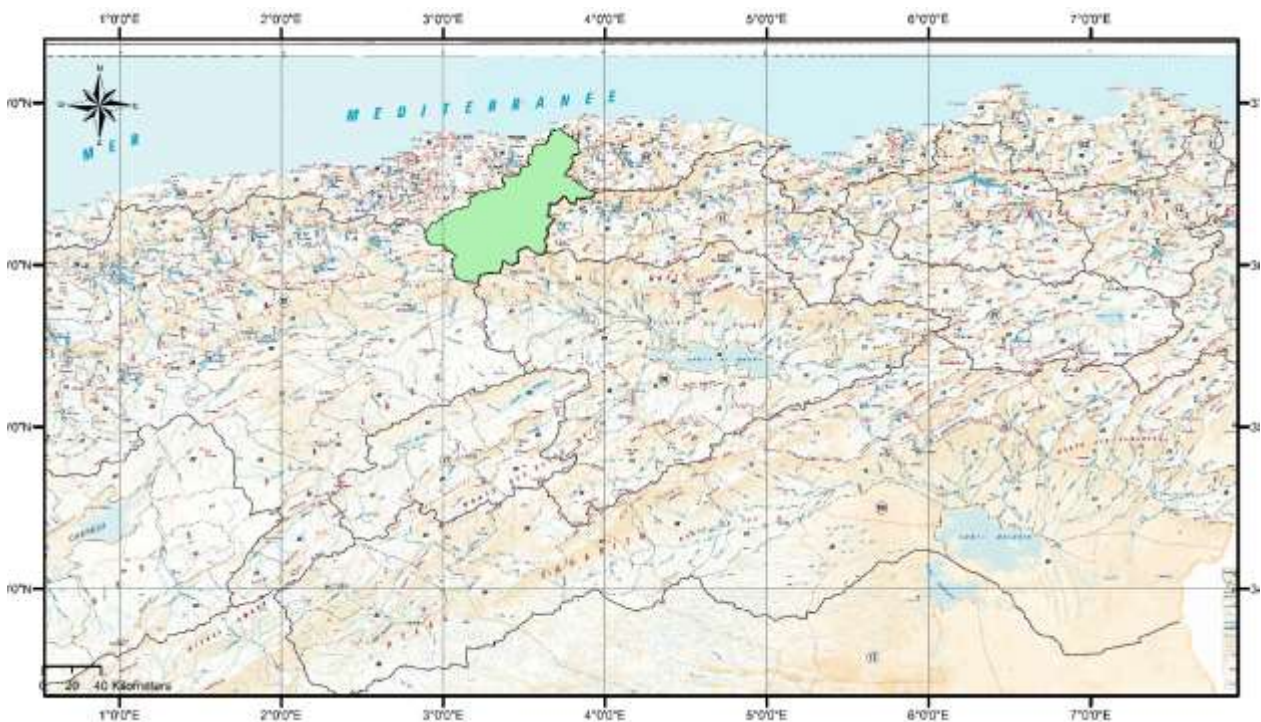


Figure 8: Situation du bassin des ISSERS(ANRH)

En relation avec le contexte géologique et structural, on distingue le Haut et Moyen Isser d'une part, et le Bas Isser d'autre part.

Le Bas Isser est situé à 60 Km à l'Est d'Alger et limité au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par le contrefort de la dorsale Kabyle et Djebel Ahmed, au Nord-Est par le Massif de Cap Djinet, à l'Est par les Massifs Raicha et Chender et à l'Ouest par les Massifs de Thénia.

La plaine du Haut et Moyen Isser est limitée au Nord par le Massif de Beni Amrane, à l'Est par l'oligocène de Drâa El Mizane et à l'Ouest par les formations oligocènes du Djebel Bou Zegza.

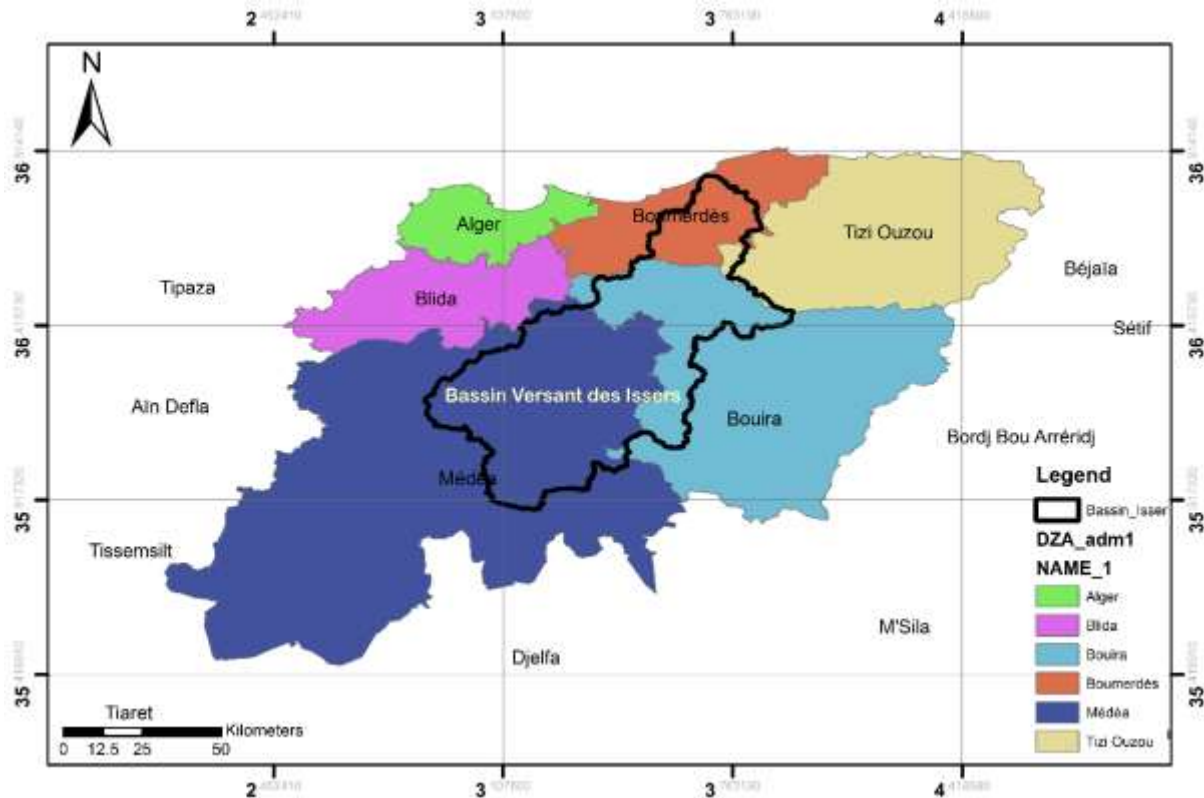


Figure 9: Localisation Administrative du Bassin Versant des Issers

2.1.2 Bassin hydrographique :

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est l'une des plus importantes caractéristiques d'un bassin versant.

Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux, que sont :

- **La géologie** : qui de par sa plus ou moins grande sensibilité à l'érosion, la nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique. La structure de la roche, sa forme, ses failles, ses plissements, forcent le courant à changer de direction.
- **Le climat** : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.
- **La pente du terrain** : elle détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à

l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

- **La présence humaine** : le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

On y trouve deux principaux cours, l'Oued MELLAH et l'Oued ISSER au niveau du Haut ISSER. L'Oued ISSER est formé par la réunion de l'Oued EL HAMMAM issu de calcaires marneux de crétacé inférieur de BERROUGHIA et de l'Oued MELLAH qui draine 1/3 de la superficie de ce bassin.

Le Moyen ISSER est drainé par les Oueds DJEMAA à l'Est, BOU-HAMMOUD à l'Ouest et ISSER au milieu. Le bas ISSER est traversé par l'Oued ISSER et quelques affluents à l'Est et à l'Ouest de celui-ci. Le réseau hydrographique est présenté sur la figure III.3. Il dispose d'un réseau hydrographique assez dense et couvrant une très grande partie du bassin. Cette caractéristique favorise le phénomène du transport solide.

La nature tendre des matériaux (marnes et argiles) et le régime hydrique irrégulier ont contribué à la formation d'un réseau hydrographique dense de type arborescent (BOUSSAID 2014).

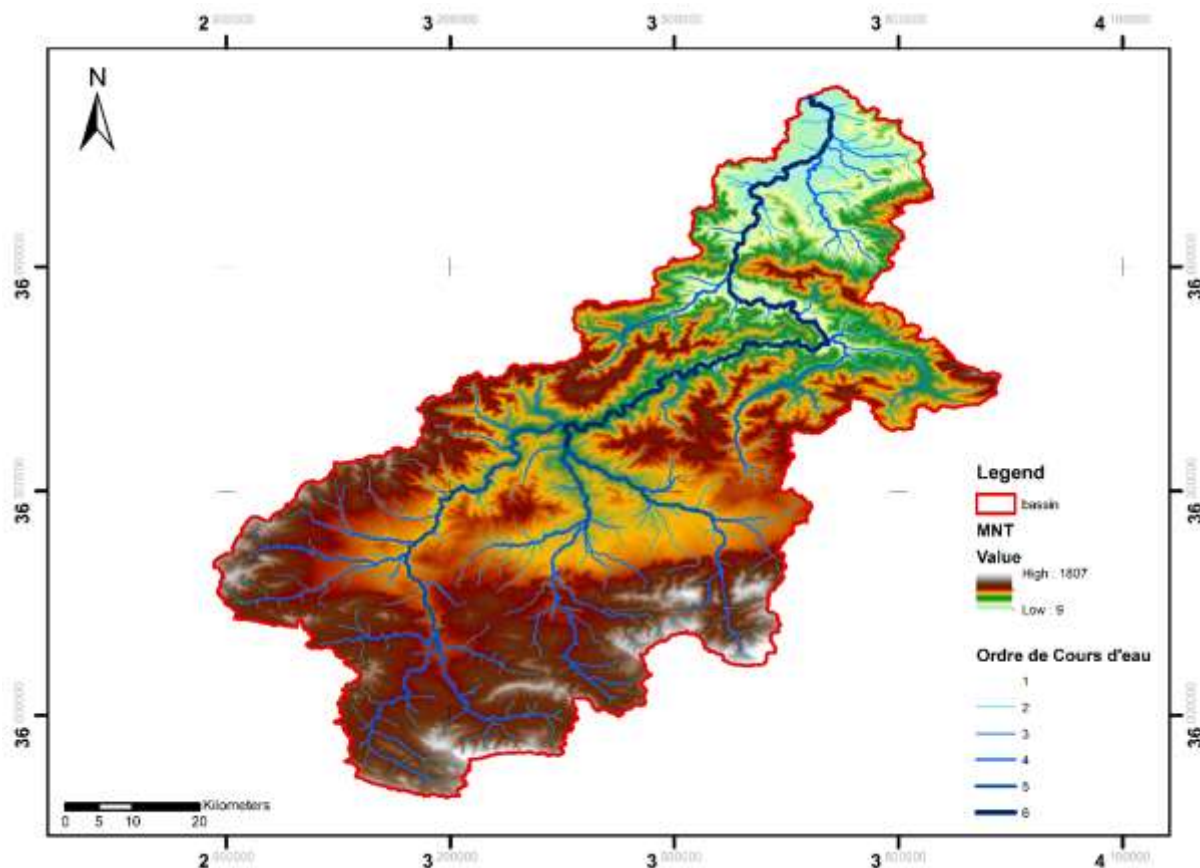


Figure 10: Réseau Hydrographique du Bassin Versant des Issers

2.1.3 Climat :

Le bassin est soumis à un climat méditerranéen intermédiaire. Entre le climat de l'Atlas Tellien de montagne pluvieux et des chutes de neige avec une amplitude thermique faible, et le climat Tellien de plaine plus sec relativement chaud et présentant de forts écarts de température. Le régime pluviométrique (entre 700 et 800 mm annuel) se caractérise par des pluies abondantes, concentrées surtout en hiver (140 mm en décembre), qui diminuent presque régulièrement au printemps et atteignent en été quelques millimètres par mois.

La température moyenne annuelle est de 17°C, pour les mois les plus froids, elle varie entre 5°C et 6°C, et entre 27°C et 31°C pour les mois chauds.

L'humidité est modérée pendant toute l'année, avec des valeurs d'environ 70% le matin et le soir en été et de 80% en hiver ; les valeurs à midi sont d'environ 57% en avril et octobre, 60% en été et 64% en hiver. L'humidité moyenne de l'air varie entre 72% en été et 80% en hiver.

Ce bassin est caractérisé par une irrégularité du régime pluviométrique et le climat y est considéré comme semi-aride.

2.1.4 Géologie :

Pour l'étude géologique, on se limitera à une description lithologique du bassin versant afin de connaître le degré d'érodabilité et de dégradation.

Le haut ISSER est constitué à 69 % de formation marneuse de la superficie totale. Ces marnes se fissurent et craquent par déshydratation pendant la saison sèche. Elles s'altèrent sur plusieurs centimètres en formant un tapis des gravillons mêlé de poussière argilo-calcaire qui partent en débâcle aux premières averses orageuses de la saison de pluie. Ces formations sont assez facilement érodables.

Les schistes argileux, les marnes grises et schisteuses avec des couches de grés occupent 70 % du moyen ISSER. Ce dernier présente en général des formations meubles, facilement érodables.

Le bas ISSER est constitué de 43.15% des formations marneuses des grés et des conglomérats, appartenant à l'oligocène marin. Le miocène inférieur marin dont les formations sont des grés et des marnes constituant 14,91% du bas ISSER. Les schistes cristallins et micacés sont respectivement des schistes à chlorite et à séricine et quartz à biotite, formant 19,84% de la superficie totale. Les alluvions de quaternaire continentales occupent 18.6 % du bas ISSER. On y trouve des granites formant 1.93 % de la superficie totale. Ces formations dures « conglomérats et granites » donnent au bas ISSER, la caractéristique du moins érodable en comparaison avec le haut ISSER. (BOUSSAID 2014), (Lefkir 2009).

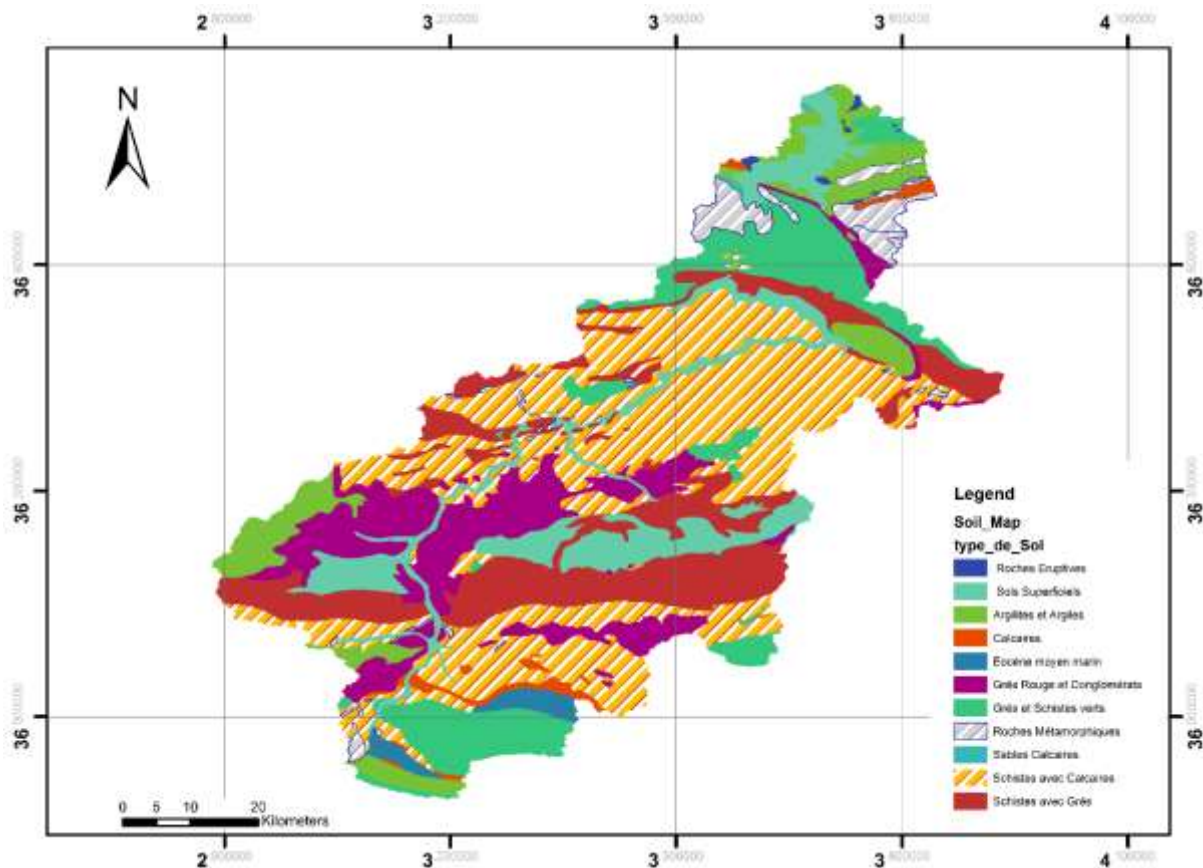


Figure 11: Carte lithologique du bassin versant des Issers

2.1.5 Végétations :

Le bassin se caractérise par un couvert végétal peu dense localisé au centre et représente 20% de la superficie totale, ce qui accélère le phénomène de l'érosion. Le reste de la surface, soit 80%, est occupé par des cultures essentiellement céréalières et fourragères. Au bas Isser, on rencontre essentiellement les cultures annuelles, et sur des superficies réduites, les cultures et l'arboriculture (LARFI Juin 2006).

Le couvert végétal (bois et broussaille) étant peu répandu et souvent dégradé, l'érosion est particulièrement active en présence de matériaux lithologiques tendres et un régime hydrique défavorable (pluies irrégulières, ruissellement). Les formes et les intensités diffèrent selon la pente, la nature lithologique des sols et l'action anthropique (déboisement, pâturage excessif, agriculture dégradante), (Rais et Abid, 1989).

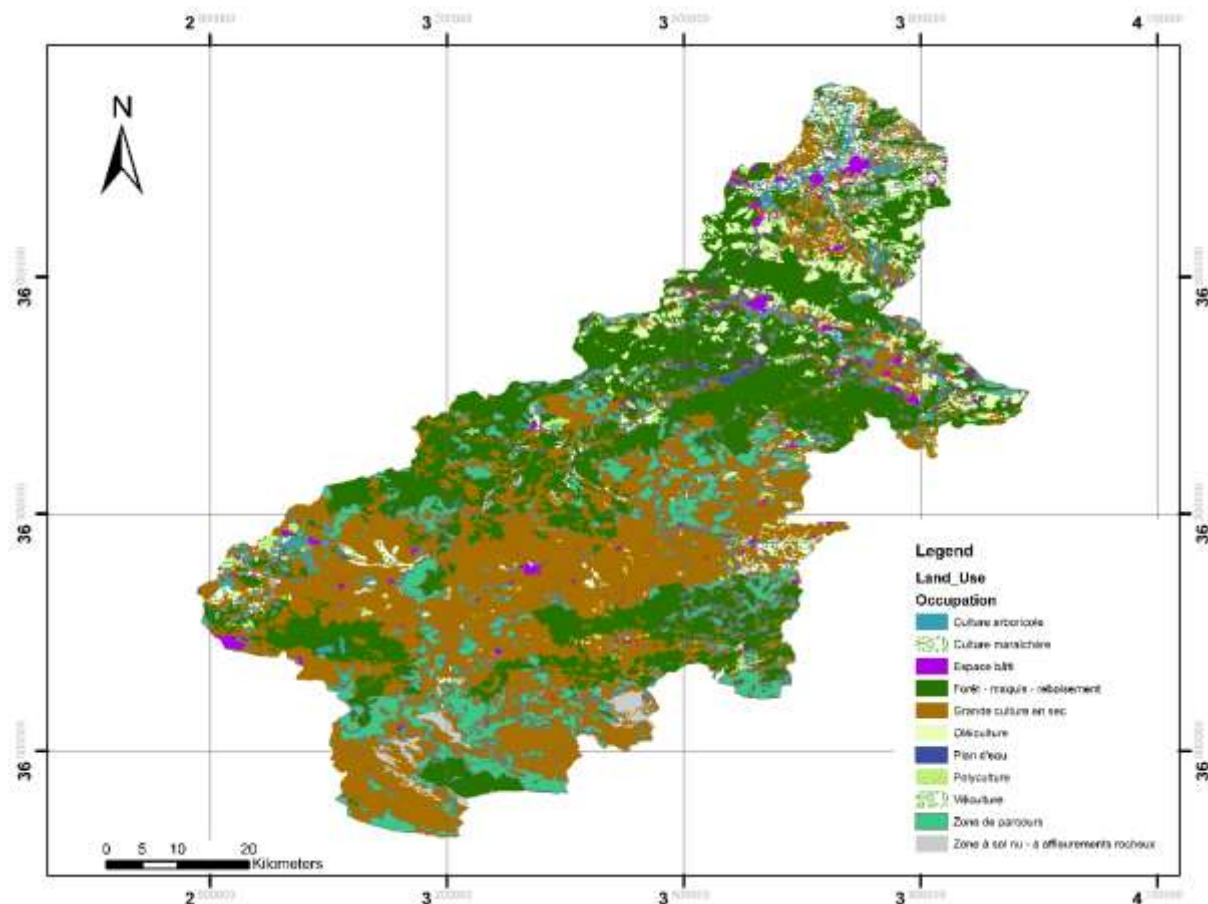


Figure 12: Carte schématique de végétation du bassin versant des Issers (B.N.E.D.E.R 2011).

2.1.6 Base de données :

Le bassin versant de l'Oued Isser contient un réseau hydrométrique implanté par l'ANRH équipé de 07 stations de jaugeage : El Omaria (091205); Dechmia (090309); Beni Slimane (090305); Mezahim (030191); Aomar Gare (090416); Pont de la traille (090408) ; Lakhdaria (090501).

Dans cette étude, nous avons utilisé les données de la station Hydrométrique de Lakhdaria (Code : 090501) qui parcourt la partie Nord-Ouest de la wilaya de Bouira et qui draine un bassin versant de 3620 km² et qui présente une qualité de mesure raisonnable.

Les données de cette station, fournies par l'ANRH, sont composées de deux séries de mesure, celle des débits moyens liquides instantanés et celle des concentrations solides instantanés s'étendant sur une période allant de 1971 à 2009, ce qui représente un bon échantillon pour la modélisation et par conséquent pour la prévision aussi, ainsi on a plus de chance pour normaliser les erreurs et valider nos modèles.

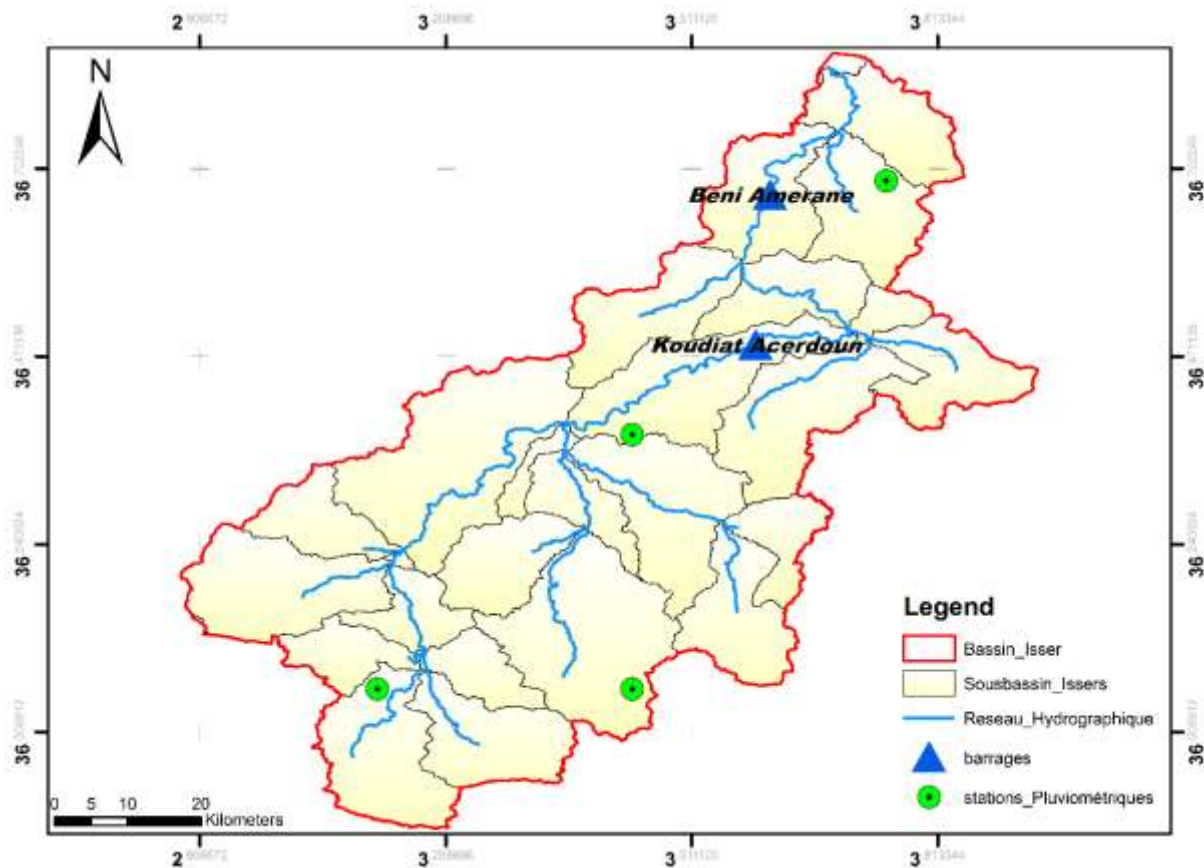


Figure 13: Situation des barrages dans le Bassin Versant des Issers.

2.1.7 Conclusion :

il s'est avéré que toutes les conditions notamment les formations géologiques, les apports pluviométriques, l'occupation du sol, les sols peu évolués, le temps de concentration, les pentes rudes, nous donnent une première idée pour pouvoir identifier quelques facteurs qui peuvent détériorer la qualité des résultats de la modélisation en l'occurrence les problèmes d'hétérogénéité spatio-temporelle des précipitations, et des critères sur le choix des événements de simulation.

*Résultats et
discussions*

3 Résultats et discussions :

Dans ce chapitre Les résultats de modélisation des débits, du transport solide seront récapitulés et discutés. Etant donnée que SWAT est un modèle fortement paramétré, les paramètres pris en compte lors des calages seront présentés par la suite.

3.1 Données :

Comme cité précédemment le Modèle Swat nécessite Certaines données pour être appliqué :

3.1.1 MNT (Le Modèle Numérique de terrain) :

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).

Puisque notre bassin versant est relativement grand on était obligé de faire fusionner 4 MNT avec le Logiciel ArcGIS par la fonction « merge » pour avoir un MNT qui couvre notre bassin versant.

3.1.2 Carte d'occupation des sols :

La carte d'occupation du sol nous a été fournie par le bureau d'étude B.N.E.D.E.R. sous format .TAB qu'on a transformée en format ESRI Shape file puis au format Raster.

3.1.3 Carte des sols :

Pour la carte des sols, après avoir digitaliser une ancienne carte provenant de l'ANRH en format JPEG on été confronté au problème de correspondance entre les types de sols de cette carte qui est faite selon une ancienne classification Françaises et les types de sols dans la base de données SWAT qui utilise une classification Américaine, et c'était quasiment impossible de faire des correspondances même approchées.

Après des semaines et des semaines de recherche on a trouvé enfin une ouverture ; on a utilisé la carte mondiale des sols téléchargée à partir du site de la FAO , on a extrait juste la carte de notre zone d'étude par le logiciel ArcGIS avec la fonction « EXTRACT by Mask ».

Dans les tables attribuées de cette carte il n'y avait que des codes qui ne correspondaient pas à la base de données SWAT avec 202 type de sols.

On a téléchargé le logiciel MapWindow GIS et on a installé MWSWAT qui est une version de Swat interfacé sous MapWindow GIS, et on a mis à jour la base de données ArcSWAT.mdb par la base de données MWSWAT.mdb qui contient environ 5000 type de sols.

Enfin les codes des types de sols de notre carte existaient dans la base de données.

Pour les pentes SWAT extrait les données des pentes automatiquement à partir du MNT.

3.1.4 Données pluviométriques :

Pour les données pluviométrique (Précipitation ; Températures min et max ; Vitesses des vents et L'Insolation), une série de donnée de 35 ans (1979_2014) Pour quatre stations ont été téléchargées à partir du site de SWAT pour les données Climatiques.

3.2 Périodes de simulation et conditions climatiques :

La performance du modèle dépend de la longueur des périodes de simulation, des conditions climatiques et des saisons considérées.

La période choisie pour la simulation s'étale de 1993 à 2002 et correspond à la période qui présente le moins de lacunes dans les données Hydrométrique (débits liquide, débits solides) ; Dans cette période on est dans un cycle Humide.

3.3 Processus internes du modèle

L'obtention d'une bonne performance peut également être limitée par les processus modélisés par SWAT, étant donné qu'ils constituent encore une représentation simplifiée de la réalité ou du manque de compréhension scientifique du processus (Gassman et al. 2007).

Par exemple, SWAT évalue le ruissellement de surface grâce à la méthode des numéros de courbes du Soil Conservation Service (SCS-CN). Elle a été prouvée avec succès sur de nombreux cas. Néanmoins, les événements extrêmes sont sous-estimés à cause de sa faiblesse à estimer le ruissellement de surface durant ces événements (Fohrer et al. 2002 ; Chanasyk et al. 2003 ; Bosch et al. 2004 ; Chu et al. 2004 ; Du et al. 2005). Cette méthode tend aussi à surestimer le ruissellement, particulièrement lorsqu'il y a présence de

drainage agricole (Michaud et al. 2008a). Elle peut conduire également à des mauvais résultats selon les conditions du milieu (ex : Ponce et Hawkins 1996 ; Agnew et al. 2006 ; Bryant et al. 2006 ; Garen et Moore 2005). De meilleures prévisions hydrologiques peuvent être potentiellement obtenues par des modifications dans la méthodologie du numéro de courbe et/ou l'incorporation de routines plus complexes (Gassman et al. 2007).

3.4 Calage et Validation :

Plusieurs simulations ont été réalisées et plusieurs essais de calibration ont été effectués. Cette procédure est un travail de longue durée et demande beaucoup de temps. Beaucoup de paramètres (seuils, délais) contrôlent l'écoulement de l'eau, et plusieurs combinaisons de facteurs doivent être essayés.

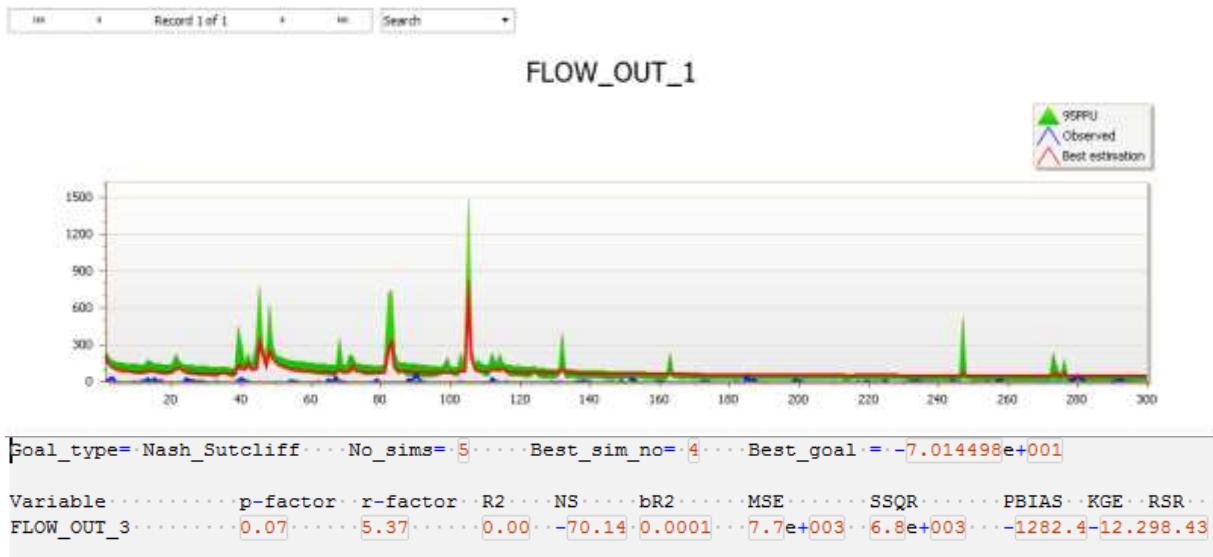
La simulation a été effectuée au pas de temps journalier puis au pas de temps mensuel.

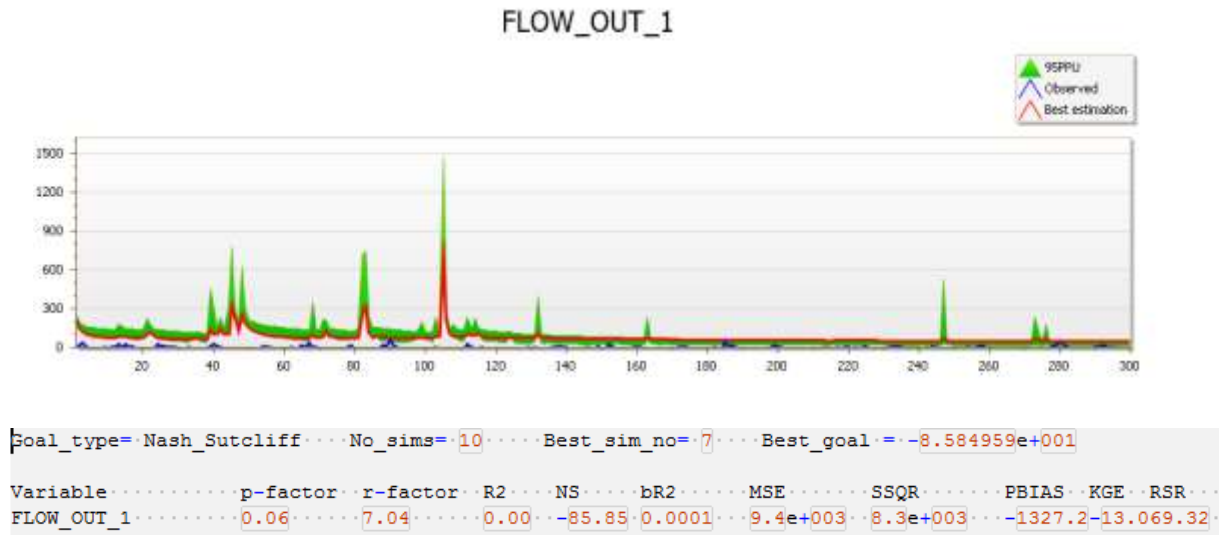
Les publications sur SWAT fournissent rarement des détails sur les procédures de calage. Qui peut être manuel ou automatique, Uni-Objectif ou Multi-Objectif ;

3.5 Résultats

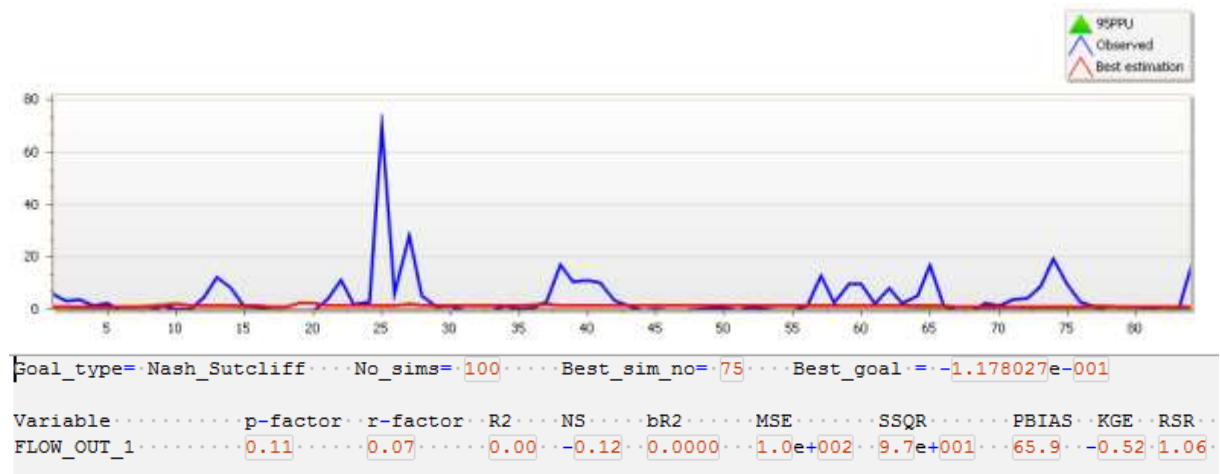
Plusieurs simulations ont été lancées, on a essayé de faire varier la fonction objectif et les périodes de simulation ;

Avec une fonction objectif qui a pour but d'Optimiser le Nash Sutcliff et avec 5 itérations on a obtenu les résultats suivants :

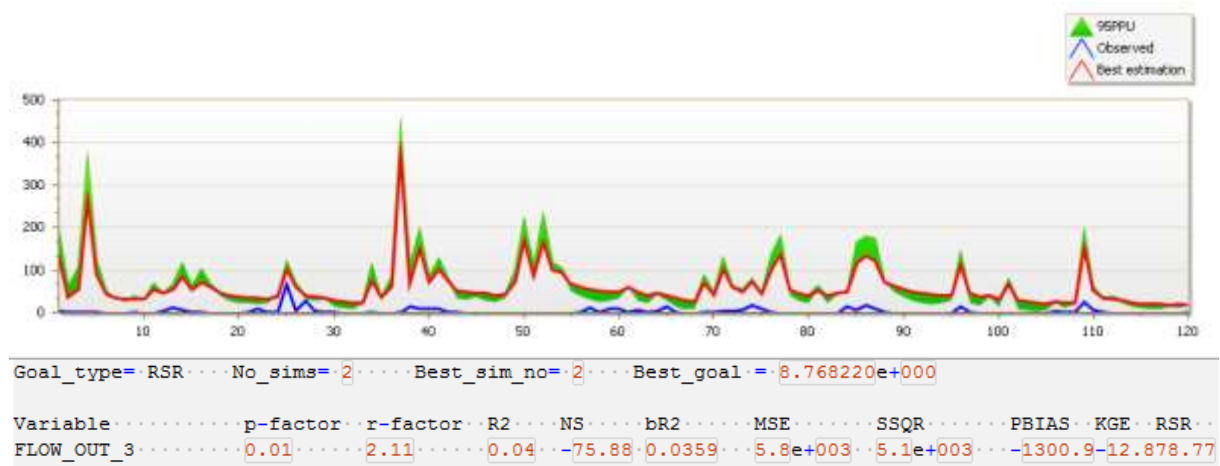




Meme pour une centaine d'itération il n'ya aucune amélioration.



Après on a essayé de changer le but de la fonction objectif et on a choisi d'améliorer le RSR et les résultats sont les mêmes , il n'ya aucune Amélioration.



3.6 Justifications des Résultats :

Ces mauvais résultats obtenus lors de notre étude c'est la conséquence de plusieurs raisons :

❖ Evolution de l'Occupation des Sols :

Etant un modèle directement affecté par les changements d'état de surface du bassin en l'occurrence l'occupation du sol et les types de sol, le modèle SWAT requiert un certain degré de stabilité de ces deux propriétés entre les événements de calibration et de validation. En effet, la carte d'occupation du sol élaborée reflète celle du bassin des années 2010-2011, et donc la fourchette d'années de choix ne doit pas s'éloigner de celles-ci, et plus on en fait, pire seront les résultats du modèle. Alors que nous on est en train de simuler dans la période 1993_2002 ,

On a essayé de faire l'effort de prendre en considération cette évolution par superposition de la carte des sols dans google earth Pro et Voir l'évolution au cours des années précédentes mais malheureusement ça n'a pas abouti car les images satellitaires disponible sur l'Outil google earth pro commencent à partir de l'année 2003.

❖ Précision de données de sol :

Dans notre cas, nous ne possédons pas de données mesurées sur le terrain. Nous avons du estimer les paramètres de sol qu'on doit fournir au modèle. Et pour cela On a utilisé les données de la FAO (une carte au 1/ 500000) , mais vue la faible résolution de la carte, classée hydrologiquement (selon l'infiltrabilité) elle ne donne que deux types de Sols (C et D) pour un bassin de 4149 km² !!!

❖ Périodes de simulation et conditions climatiques :

De plus comme on a dit précédemment dans la période de simulation 1993_2002 c'est un cycle humide tandis que les résultats de Govender et Everson (2005) sur la simulation des débits ont meilleurs en année sèche qu'humide, et Chu et Shirmohammadi (2004) ont constaté que SWAT n'a pas été en mesure de simuler une année extrêmement humide

❖ Incertitude et manque des données :

L'obtention d'une bonne performance de simulation est premièrement conditionnée par une bonne qualité des données, permettant de diminuer les sources d'incertitude.

Vue l'immense hétérogénéité spatio-temporelle des précipitations évoquée, la mise en œuvre des données pluviométriques et les données hydrométriques mesurées d'une seule station et la considérer comme représentative et homogène sur toute la surface du bassin est loin d'être assimilable,

.En effet on dispose d'une série de données avec environ 4000 mesures et 10000 valeurs manquante voir des années complètes il n'a pas eu de mesure certainement une série de données pareil n'est pas fiable et ne va conduire qu'au résultats Obtenus.

3.7 Vers une amélioration de la précision du modèle

La qualité de la simulation avec un tel modèle est intimement liée à la précision et la fiabilité des données qui vont y être intégrées .La précision des données climatiques peut être améliorées. En effet il serait intéressant d'obtenir les données climatiques d'autres stations en amont et en aval de barrage ;

L'extraction d'un réseau à partir d'un MNT est un vaste sujet de recherche qui a donné lieu à différentes techniques, car bien souvent l'extraction est partiellement faussée. La procédure mise en place étant automatisée, l'extraction est utilisée malgré ses limites. Les méthodes consistant à modifier le MNT sont là pour améliorer cette extraction. C'est le cas dans SWAT avec le « burning ».

La mise en place d'un suivi hydrogéologique à l'aide de piézomètres permettrait de connaître un peu mieux le fonctionnement des nappes sur le bassin afin d'estimer la contribution réelle des écoulements souterrains. L'ajustement des paramètres de la nappe serait alors plus efficace et moins intuitif.

Il pourrait également être intéressant de Faire une étude de télédétection sur le bassin des Issers , pour évaluer le taux de changement de l'occupation du sol qui va nous servir soit à élargir ou à restreindre l'intervalle de présélection des événements. Ceci nous aidera à nous débarrasser des erreurs de calibration de paramètres liées au changement d'occupation du s

Conclusion générale :

L'utilisation de la modélisation comme outil pour la compréhension du fonctionnement hydrologique des bassins versants, et d'aide à la décision est l'une des meilleures méthodes reconnues à la fois comme simple et fructueuse.

L'étape de la modélisation est précédée par la digitalisation de cartes d'occupation du sol et de type de sols conformes aux prescriptions du SWAT. Une fois de type de sols fini, on a commencé nos premières calibrations et On a essayé d'en déduire le jeu de paramètres optimisés par différentes méthodes mais en vain. Pour la plupart des jeux de paramètres, les volumes et les débits de base sont toujours surestimés lors de la validation.

L'objectif global de ce travail a été d'identifier le fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'Isser en vue de sa modélisation, cet objectif global se décline en deux objectifs :

- Mieux comprendre le fonctionnement hydrologique de la zone d'étude.
- Évaluer la pertinence de l'outil SWAT dans le contexte spécifique de l'étude pour la Simulation du débit mais aussi des processus hydrologiques intermédiaires.

Les premières étapes du projet consistaient à mettre en place les premières couches de données nécessaires au fonctionnement de SWAT, ces dernières ont été réalisées avec succès.

Le bassin versant a été ainsi découpé en plus de 1000 HRU, chacune possédant une combinaison sol/occupation/pente propre. Chacune d'entre elles possède également un scénario de pratiques agricoles spécifiques.

Une calibration et un ajustement préliminaire du bilan hydrique ont été réalisés, celui-ci, loin d'être parfait va demander quelques efforts supplémentaires de calibration et un temps de travail plus conséquent. De nombreuses combinaisons de valeurs des variables de sol et d'écoulements souterrains doivent encore être testées afin d'approcher au plus près les comportements observés. Les estimations de débit et de ruissellement apparaissent tout de même réalistes et ces premiers résultats sont encourageants. Ceci témoigne de la potentialité du modèle à prédire le comportement du bassin (débit à l'exutoire, charge de sédiments et transferts de phosphore) En fonctions des conditions climatiques fournies.

Une des originalités de ce travail vient du choix de l'approche SWAT, version du modèle journalier distribué surparamétré à base semi physique qui a déjà montré sa capacité à représenter d'une façon globale les débits à travers le monde et qui peuvent être améliorées en intégrant plus de données, météorologiques, du sol ...etc.

Par ailleurs, la réalisation de cette étude a été contrariée par des obstacles qui entravaient la bonne continuité. Quelques uns ont pu être surpassés comme le cas des données cartographiques (MNT, Sol), et climatiques (précipitations, Température.....) d'autres non comme le cas d'absence de données hydrométriques (une seule station hydrométrique pour tout le bassin) qui nous ont obligé à choisir une modélisation événementielle globale des écoulements. En effet, si on arrive à écarter ces obstacles ou bien à les réduire, on peut s'attendre à des résultats beaucoup plus fructueux que ceux obtenus.

Bibliographie :

1. **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.
2. **ARNOLD, J. G. et FOHRER, N. (2005).** "SWAT2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling." *Hydrol. Process.* 19, 563-572.
3. **BONN, F. (2003).** "Ecologie physique des bassins versants, CEMAGREF, <http://www.cemagref.fr/informations/ex-rechr/methodo-modeles/faure/faure-exemple.htm>
4. **BOUDHRAA H. (2007).** "Modélisation pluie-débit à base géomorphologique en milieu semi-aride rural tunisien" thèse Sci. Agronomique, 5,10-17.
5. **BOULAY E. (2011)** " Etude et modélisation des phénomènes karstiques du bassin versant du rognon" projet de fin d'étude de Master 2 Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie, 49 p.
6. **BOURAOU, F., BENABDALLAH, S., JRAD, A. ET BIDOGLIO, G. (2005).** "Application of the SWAT model on the Medjerda River basin (Tunisia)." *Phys. Chem. Earth*, 30(8-10), 497-507.
7. **CHAPONNIERE A. (2005).**"Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride : cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain)" *Hydrologie et télédétection*, 30-42.
8. **PERRIN C, Michel C, Vazken A. (2007)** "Modèles hydrologiques du Génie Rural (GR) "Cemagref, UR Hydrosystèmes et Bioprocédés, <http://www.cemagref.fr/webgr>.
9. **Allen, P. M. et Arnold, J. G. (2005).** "SWAT-DEG and channel restoration of urban streams." *Proc. 3e conférence internationale sur SWAT, Zurich, Suisse*, 107-113.
10. **M., Frankenberger, J. R., Engel.B.A. et Arnold, J. G. (2008).** "Representation of agricultural conservation practices with SWAT." *Hydrol. Process.*, 22, 3042-3055
11. **Arnold, J. G. et Fohrer, N. (2005).** "SWAT2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling." *Hydrol. Process.*, 19, 563-572
12. **J. E. Nash and J. V. Sutcliffe,** "River Flow Forecasting through Conceptual Models, Part I—A Discussion of Principles," *Journal of Hydrology*, Vol. 10, No. 3, 1970, pp. 282-290. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)

13. **K. C. Abbaspour, J. Yang, I. Maximov, R. Siber, K. Bogner, J. Mieleitner, J. Zobrist and R. Srinivasan**, "Spatially-Distributed Modelling of Hydrology and Water Quality in the Prealpine Alpine Thur Watershed Using SWAT," *Journal of Hydrology*, Vol. 333, No. 2-4, 2007, pp. 413-430. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.09.014>
15. **K. C. Abbaspour**, "SWAT-CUP4: SWAT Calibration and Uncertainty Programs—A User Manual," Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, 2011.
16. **S. L. Neitsch, J. G. Arnold, J. R. Kiniry and J. R. Williams**, "Soil and Water Assessment Tools Theoretical Documentation," Texas Water Resources Institute Technical Report No. 406, Texas A and M University System, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Texas, 2011, Blackland Research Center, Texas, 2005.
17. **Bouanani, A.** Hydrologie, Transport Solide et Modélisation étude de Quelques Sous Bassins de la Tafna (NW–Algérie). Ph.D. Thèse, Université Tlemcen, Tlemcen, Algérie, 2000; p. 250
18. **RASOLOMANANA S. D., LESSARD, P. et VANROLLEGHEM, P. (2012)**. "Single objective vs. multi-objective autocalibration in modelling Run off and total suspended solids <http://www.supagro.fr/ress-pepites/Opale/ProcessusEcologiques/co/.html>
19. Surface Water Resources Mobilization; Document of Algerian Ministry of Water Resources. Available online: <http://www.mree.gov.dz> (accessed on 13 March 2017)
20. National Agency of Hydrologic Resources (ANRH). Map of Potential Evapotranspiration in the North of Algeria; ANRH: Alger, Algeria, 2003.
21. **Green, W. H. and G. A. Ampt, (1911)** Studies on soil physics, 1. The flow of air and water through soils. *Journal of Agricultural Sciences* 4(11-24).
22. **Laurent, F., Ruelland, D. & Chapdelaine, M. (2007)** Simulation de l'effet de changements de pratiques agricoles sur la qualité des eaux avec le modèle SWAT. *Revue des Sciences de l'Eau* 20(4): 395–408.
23. **Santhi, C., J. G. Arnold, J. R. Williams, W. A. Dugas, R. Srinivasan and L. M. Hauck, (2001)** Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *JAWRA*, 37(5): 1169-1189.
24. **Faramarzi, M., et al., (2013)** Modelling impacts of climate change on freshwater availability in Africa. *J. Hydrol.*, [http:// dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.016](http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.016) (article in press)
25. **Vaché, K., J. Eilers and M. Santelmann, (2002)** Water Quality Modeling of Alternative Agricultural Scenarios in the US Corn Belt. *JAWRA*, 38(3): 773-787.
26. **PERRIN C. (2002)**. "Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. *La Houille Blanche*" 84-91.
27. Manuel d'utilisation de SWAT-Cup

- 28. Abbaspour, K. C. (2007)** User Manual for SWAT-CUP, SWAT Calibration and Uncertainty Analysis Programs. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Dübendorf, Switzerland.
- 29. Arnold, J. G., Muttiah, R. S., Srinivasan, R. & Allen, P. M. (2000)** Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the upper Mississippi River basin. *J. Hydrol.* 227(1), 21–40.
- 30. Tolson, B. A. & Shoemaker, C. A. (2004)** Watershed modeling of the Cannonsville basin using SWAT2000: model development, calibration and validation for the prediction of flow, sediment and phosphorus transport to the Cannonsville Reservoir. Technical Report, School of Civil and environmental Engineering, Cornell University, Ithaca, New York, USA.
- 31. Monteith, J. L. (1965)** Evaporation and environment. In: *The State and Movement of Water in Living Organisms* (ed. By G. F. Fogg), 205–234. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 32. Van Griensven, A. & Meixner, T. (2006)** Methods to quantify and identify the sources of uncertainty for river basin water quality models. *Water Sci. Technol.* 53(1), 51–59.
- 33. COMBE M. et EL HEBIL A. (1972)** "Plaine du Souss, des Chtouka et de Tiznit : Vallée du Souss". *Ressources en Eau du Maroc*, Tome 3. Ed. Service géologique du Maroc p35.
- 34. DEUSTSH et al. (2005)** "Soil and Water Assessment Tool –Input/output File Documentation Version 2005" *Arcswat guide* 662p.
- 35. ELIEUCH H. et BEN NOSRA Y., (1999)** Application du modèle CEQUEAU pour l'estimation des apports dans le bassin versant de l'oued Merguellil. *Projet de fin d'études du cycle ingénieur à l'Institut Nationale Agronomique de Tunisie*, 81 p.
- 36. EL MORJANIZ.** "Conception d'un système d'information à référence spatiale pour la gestion environnementale ; application à la sélection de sites potentiels de stockage de déchets ménagers et industriels en région semi-aride (Souss, Maroc) " *Sc. De la terre* 28-50.
- 37. IBIKUNLE A. AFOUDA A. LANHOUSSE A. (2014).** "Etude comparative d'un modèle conceptuel global Et d'un modèle semi-distribué sur le bassin versant de l'OUEME A SAVE" *Revue scientifique et technique LJEE* 7p.
- 38. LE LAY M. (2006).** " Modélisation hydrologique dans un contexte de variabilité hydroclimatique. Une approche comparative pour l'étude du cycle hydrologique au Benin" *océan, atm. Hydr.* 110-119.
- 39. NASH J.E., SUTCLIFFE J.V. 1970** "River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, *Journal of Hydrology* 10 (3), 282-290".
- 40.** Manuel d'utilisation de SWAT , Swat IO 2012
- 41.** Manuel d'utilisation de SWAT Output viewer

Annexes : Définition des paramètres dans SWAT

Paramètre	Min	Max	Valeurs par défaut	Définition	Echelle (fichier)
I.DEBIT					
Ruissellement					
<i>SURLAG</i>	0	4000	4	Temps de réponse dû au ruissellement de surface	bassin (.bsn)
<i>CN2</i>	30	98	SCS Engineering division, 1986	Numéro de courbe de ruissellement	URH(.mgt)
Evaporation					
<i>EPKO</i>	0	1	1	Facteur de compensation d'évaporation de la plante	bassin(.bsn), URH(hru)
<i>ESCO</i>	0	1	0.95	Facteur de compensation d'évaporation du sol	bassin(.bsn), URH(hru)
Infiltration, drain, écoulements souterrains et latéraux					
<i>ALPHA_BF</i>	0.001	1	Lent : 0.1-0.3 ; rapide : 0.9-1	Constante de récession de l'écoulement de base souterrain	URH(.gw)
<i>LAT_TTIME</i>	0	180	0	Temps de parcours des écoulements latéraux	URH(hru)
<i>GWQMN</i>	0.001	5000		Hauteur d'eau minimale pour qu'il y ait un transfert d'eau de l'aquifère peu profond vers le cours d'eau	URH(.gw)
<i>RCHRG_DP</i>	0.001	1	0 à 1	Fraction de l'eau qui percole de la zone racinaire et qui atteint l'aquifère profond	URH(.gw)
<i>SOL_AWC</i>	0.001	1	Variable	capacité en eau disponible de la couche de sol considérée (mm H ₂ O/mm sol)	URH(.sol)
<i>GW_DELAY</i>	0.001	365	Variable	Délai pour que l'eau souterraine qui transite par l'aquifère peu profond atteigne le cours d'eau (jours)	URH(.gw)
<i>GW_REVAP</i>	0.02	0.2	Variable	Coefficient permettant le transfert d'eau de l'aquifère vers les horizons sus-jacents et non saturés du sol	URH(.gw)
<i>REVAPMN</i>	0.001	500	Variable	Hauteur d'eau minimale dans l'aquifère peu profond pour qu'il y ait un mouvement d'eau vers le sol ("revap") ou l'aquifère profond	URH(.gw)
<i>CANMX</i>	0.001	10	Variable	Quantité d'eau maximale pouvant être retenue par le couvert végétal quand il est complètement développé (mm H ₂ O)	URH(hru)
<i>DDRAIN</i>	0	2000	0	Profondeur du drainage souterrain (mm)	URH(hru)
<i>TDRAIN</i>	0	72	0	Temps requis pour drainer le sol à la capacité au champ (h)	URH(hru)
<i>GDRAIN</i>	0	100	0	Temps de réponse du drain souterrain (h)	URH(hru)
<i>SHALLST</i>	0	1000		Profondeur initiale de l'eau dans l'aquifère peu profond (mm)	URH(.gw)
<i>DEPIMP_BSN</i>	1000	7000	6000	Profondeur de la couche imperméable (mm)	bassin (.bsn)
Paramètres de neige					
<i>SMFMN</i>	0	10	4.5	Facteur de fonte de neige le 21 décembre (mm H ₂ O /°C.j)	bassin (.bsn)
<i>TIMP</i>	0.01	1	1	Facteur de temps de réponse dû à la température du pack de neige	bassin (.bsn)
<i>SMFMX</i>	0	10	4.5	Facteur de fonte de neige le 21 juin (mm H ₂ O /°C.j)	bassin (.bsn)
<i>SFTMP</i>	0	5	1	Température de la chute de neige ou la température moyenne de l'air où la précipitation est à la frontière pluie et neige/pluie verglacante (°C)	bassin (.bsn)
<i>SMTMP</i>	0	5	0.5	Température de base de fonte de neige (°C)	bassin (.bsn)
<i>SNOCOV</i>	0	1	0.5	Fraction du volume de neige représenté par SNOCOVMX correspondant à 50% de couvert de neige	bassin (.bsn)
<i>SNOCOVX</i>	0	500	1	Contenu en eau minimum de la neige correspondant à 100% de couvert de neige (mm H ₂ O)	bassin (.bsn)

Paramètre	Min	Max	Valeurs par défaut	Définition	Echelle (fichier)
-----------	-----	-----	--------------------	------------	-------------------

2.SEDIMENTS

Erosion des sédiments au niveau du bassin /sous-bassin /URH					
ROCK	0	100	0	Pourcentage de fragments rocheux dans le sol	URH(.sol)
USLE_K	0	0.65	Variable selon l'URH	Facteur d'érodabilité du sol (0,013 t.m ² .h/m ³ .t.cm)	URH(.sol)
ADJ_PKR	0.5	2	1	Facteur d'ajustement de pointe pour le transport des sédiments dans les sous-bassins	bassin (.bsn)
HRU_SLP	0.00001	0.6	Pente moyenne (SLOPE) du sous-bassin (m/m)	Pente de l'Unité de Réponse Hydrologique	URH(.hru)
SLSUBBSN	10	150	90	Longueur de pente moyenne du sous-bassin (m)	URH(.hru)
BIOMIX	0	1	0.2	Efficacité du mixage biologique	URH(.mgt)
USLE_P	0.1	1	1	Facteur de pratique de conservation	URH(.mgt)
USLE_C	0.001	0.05	Variable selon l'occupation du territoire	Facteur de culture (végétation) et de gestion	Cultures(crop.dat)
LAT_SED	0	5000	0	Concentration de sédiments dans les écoulements souterrains et latéraux	URH(.hru)
SOL_Z	1	5000	Variable	Profondeur de la couche à partir de la surface du sol (mm)	URH(.sol)
SOL_K	0.001	500	Variable	Conductivité hydraulique à saturation (mm/h)	URH(.sol)
RSDCO	0.01	0.099	0.05	Coefficient de décomposition des résidus	bassin (.bsn)
Erosion et transport des sédiments dans la rivière					
PRF	0	2	1	Facteur d'ajustement de pointe pour le transport des sédiments dans le canal principal	bassin(.bsn)
SPCON	0	0.01	0.0001	Paramètre linéaire pour calculer la quantité maximale de sédiments pouvant être entraînés durant le transport dans le canal	bassin(.bsn)
SPEXP	1	2	1	Exposant défini pour déterminer les sédiments entraînés durant le transport dans le canal	bassin(.bsn)
CH_S2	0	1	Variable selon le sous-bassin	Pente moyenne du canal principal le long de la longueur du canal	sous-bassin (.rte)
CH_EROD	-0.05	1	0	Facteur d'érodabilité du canal	sous-bassin (.rte)
CH_COV	-0.001	1	0	Facteur de couverture végétale du canal	sous-bassin (.rte)
CH_N2	0.001	0.5	variable	Coefficient de Manning "n" du canal principal	sous-bassin (.rte)
CH_K1	0	150	variable	Conductivité hydraulique effective dans l'alluvion du canal tributaire (mm/h)	sous-bassin (.sub)
CH_K2	-0.01	150	variable	Conductivité hydraulique effective dans l'alluvion du canal principal (mm/h)	sous-bassin (.rte)
CH_S1	0.0001	10	variable	Pente moyenne du canal tributaire le long de la longueur du canal	sous-bassin (.sub)
CH_N1	0.01	30	variable	Coefficient de Manning "n" des canaux tributaires	sous-bassin (.sub)