

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMEN
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de l'Univers
Département d'écologie et environnement



MÉMOIRE

Présenté par

MEHDAOUI Rahima

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Science de la Mer

Thème

**Utilisation des données open source pour la modélisation
de la ressource en eau dans un bassin versant côtier
méditerranéen**

Soutenu le : 29/09/2022

devant le jury composé de :

| | | | |
|------------|----------------|------------|--------------------|
| Présidente | AOUAR Amaria | Professeur | Université Tlemcen |
| Encadrant | ZETTAM Amine | MCB | Université Tlemcen |
| Examineur | NEHAR Benameur | MCB | Université Tlemcen |

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier Dieu pour m'avoir inspiré la volonté et le courage d'acheminer ce travail jusqu'à la fin.

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

Mes remerciements s'adressent également à :

- Madame **AOUAR Amaria** professeure à L'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen pour avoir accepté de présider le jury.
- Monsieur **NEHAR Benameur** Maitre de Conférences à l'université AbouBekr Belkaid de Tlemcen pour l'honneur qu'il m'a fait pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Dédicace

Je tiens c'est avec plaisir que je dédie ce modeste travail :
A ma mère pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices
A la mémoire de mon père disparu trop tôt.
A mes chers sœur et frère : Rabia Yakout et Amar
A ma chère nièce et neveux : Asma Ilyess et Yassine
A mes chères cousines Halima et Naouel pour leurs énormes supports
A toute ma famille.
A toute ma promotion 5ème année science de la mer
A tous ce qui m'ont aidée et encouragée dans ce mémoire,
Même avec une bonne parole.

TABLE DE MATIERES

| | |
|-------------------------------|----|
| REMERCIEMENTS: | 1 |
| DEDICACE : | 2 |
| TABLE DES MATIERES : | 3 |
| LISTES DES FIGURES : | 6 |
| LISTE DES TABLEAUX : | 8 |
| LISTE D'ABREVIATION : | 9 |
| INTRODUCTION GENERALE : | 10 |

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

| | | |
|-------|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1 | HYDROLOGIE : | 13 |
| 1.1 | Cycle hydrologique : | 13 |
| 1.1.1 | Les étapes de cycle hydrologique : | 16 |
| 2 | NOTION DE BASSIN VERSANT | 16 |
| 3 | MODELISATION HYDROLOGIQUE : | 18 |
| 3.1 | Classification des modèles : | 18 |
| 3.1.1 | Classification selon la représentation de l'espace : | 19 |
| 3.1.2 | Classification selon la discrétisation temporelle | 19 |
| 3.1.3 | <i>Classification selon la description du processus</i> : | 20 |
| 4 | OBJECTIF DE LA MODELISATION : | 25 |
| 5 | DONNEES OPEN SOURCE : | 26 |
| 6 | SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL)..... | 27 |
| 6.1 | Le choix de modèle SWAT : | 27 |
| 6.2 | Présentation du modèle : | 27 |
| 6.2.1 | SWAT en SIG (système international géographique) : | 28 |
| 6.2.2 | Fonctionnement de modèle : | 29 |
| 6.2.3 | Equation hydrologique de SWAT : | 30 |
| 6.2.4 | Données d'entrés pour modèle SWAT : | 30 |
| 6.2.5 | Données de sorties : | 30 |

Chapitre II : Matériels et Méthodes

| | | |
|-----|-----------------------------------------|----|
| 1 | PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE : | 33 |
| 2 | OCCUPATION DE SOL : | 34 |
| 2.1 | Végétation : | 34 |
| 2.2 | Agriculture : | 34 |

TABLE DE MATIERES

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3 | Population : | 34 |
| 2.4 | Climat : | 34 |
| 3 | RESEAU HYDROGRAPHIQUE : | 35 |
| 4 | BARRAGES : | 37 |
| 4.1 | Barrage de Béni Haroun : | 37 |
| 4.2 | Barrage d'Oued Athmania : | 38 |
| 5 | GEOLOGIE DE BASSIN VERSANT KEBIR RHUMEL : | 38 |
| 5.1 | Le domaine des Hautes-Plaines sud-constantinoises (DI) : | 39 |
| 5.2 | Le bassin Néogène de Constantine-Mila (DII) : | 39 |
| 5.3 | Le domaine des nappes tectoniques de Djemila (DIII) : | 39 |
| 5.4 | Le domaine de la dorsale kabyle et des massifs gréseux numidiens (DIV): | 39 |
| 5.5 | Le domaine du socle granitique et cristallophyllien de la petite Kabyle d'El Milia (DV) : | 40 |
| 6 | TOPOGRAPHIE ET RELIEF DE BASSIN VERSANT KEBIR RHUMEL: | 41 |
| 6.1 | Relief : | 41 |
| 6.2 | Topographie : | 41 |
| 7 | PEDOLOGIE : | 41 |
| 7.1 | Classe des sols minéraux bruts : | 42 |
| 7.2 | Classe des sols peu évolués : | 42 |
| 7.2.1 | Sous-classe des sols peu évolués d'érosion : | 42 |
| 7.2.2 | Sous-classe d'apports alluviaux : | 42 |
| 7.3 | Classe des sols à sesquioxydes de fer et de Manganèse : | 42 |
| 7.4 | Classe des sols brunifiés : | 42 |
| 7.5 | Classe des vertisols : | 42 |
| 7.6 | Classe des sols hydromorphes : | 43 |
| 8 | DONNEES UTILISEES EN ENTRES POUR LA MODELISATION : | 43 |
| 8.1 | Les données topographiques : | 43 |
| 8.2 | Type du sol : | 44 |
| 8.3 | Occupation du sol : | 45 |
| 8.4 | LES DONNEES METEOROLOGIQUES : | 45 |

CHAPITRE III : Résultats et interprétations

| | | |
|---|-------------------------------------|----|
| 1 | CALIBRATION DE L'HYDROLOGIE : | 48 |
| 2 | LE BILAN HYDROLOGIQUE : | 50 |
| 3 | SPATIALISATION DES PRECIPITATIONS : | 50 |
| 4 | RUISSELLEMENT DE SURFACE : | 52 |

TABLE DE MATIERES

| | | |
|----------|-----------------------------------------------|-----------|
| 5 | HUMIDITE DU SOL : | 52 |
| 6 | EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE : | 53 |
| 7 | LE DEBIT : | 54 |

CHAPITRE IV : Discussion

| | | |
|----------|----------------------------------------|-----------|
| 8 | DISCUSSION | 57 |
| | CONCLUSION : | 59 |
| | REFERENCE BIBLIOGRAHIQUE: | 61 |
| | RESUME : | 67 |

LISTE DES FIGURES

Liste des figures :

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figure 1 : les différents états de l'eau..... | 14 |
| Figure 02 : cycle de l'eau..... | 15 |
| Figure 3 : processus de construction d'un modèle..... | 17 |
| Figure 4 : Principales caractéristiques des classes de modèles hydrologiques..... | 21 |
| Figure 5 : les variables d'un modèle hydrologique..... | 25 |
| Figure 6 : la structure du modèle SWAT et la définition des HRUs (Hydrologic Reponse Unit) | 28 |
| Figure 7 : Schéma de cycle hydrologique modélisé par SWAT..... | 29 |
| Figure 8 : données d'entrées et de sorties pour SWAT..... | 31 |
| Figure 09 : Carte de localisation de bassin versant Kébir Rhumel..... | 33 |
| Figure 10 : Profil en long de l'oued Kébir Rhumel..... | 36 |
| Figure 11 : Barrage de béni Haroun..... | 37 |
| Figure 12: barrage d'Oued Athmania..... | 38 |
| Figure 13 : Les grands domaines géologiques du bassin Kébir Rhumel..... | 40 |
| Figure 14 : Carte de modèle numérique de terrain..... | 44 |
| Figure 15 : Carte des sols de bassin versant Kébir Rhumel..... | 44 |
| Figure 16 : carte d'occupation du sol..... | 45 |
| Figure 17 : carte de localisation des stations CFSR..... | 46 |
| Figure 18 : calibration annuelle des débits observés et simulés dans le bassin versant Kébir Rhumel..... | 49 |
| Figure 19 : bilan hydrologique modélisé par SWAT model..... | 50 |
| Figure 20 : carte des précipitations moyennes annuelles de bassin versant Kébir Rhumel..... | 51 |
| Figure 21 : carte de ruissellement de surface de bassin versant Kébir Rhumel entre la période (1980-1994) | 52 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figure 22 : carte d'humidité du sol moyenne annuelle de bassin versant Kébir Rhumel entre la période (1980-1994) | 53 |
| Figure 23 : carte d'ETP de bassin versant Kébir Rhumel..... | 54 |
| Figure 24 : carte de débit du bassin versant Kébir Rhumel..... | 55 |

Liste des tableaux

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tableau 01 : Modèles de bassins versants-principales caractéristiques..... | 22 |
| Tableau 02 : Superficie de sous bassins du réseau hydrographique du Kébir Rhumel avec les ressources potentielles superficielles..... | 36 |
| Tableau 03 : les paramètres calibrés | 48 |

LISTE DES ABREVIATIONS

Liste des abréviations

FAO : Food and Agriculture Organization

MNT : Modèle Numérique de Terrain

NSE : Nash-Sutcliffe Efficiency

SWAT: Soil and Water Assessment Tool

SFCR: Climate Forecast System Reanalysis

SIG : Système International Géographique

GIS : Système International Géographique

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est la base de toute forme de vie. C'est une denrée indispensable pour tout organisme vivant. Elle demeure cependant une ressource rare et limitée. (Kouane, 2019). La gestion de l'eau est l'un des défis critiques auxquels l'humanité est confrontée en raison de la demande croissante et des ressources limitées résultant de la croissance rapide de la population, de l'urbanisme et des secteurs agricoles et industriels. La modélisation est l'une des principales solutions utilisées par les chercheurs pour estimer et surveiller la variabilité spatiale et temporelle des ressources en eau dans un bassin versant (Ait Mbarek et al, 2021).

La modélisation hydrologique permet de simuler le cycle de l'eau à l'échelle d'un bassin versant. Elle a pour objet trois fonctions : une fonction d'analyse, qui s'intéresse aux mécanismes qui produisent et à ceux qui régissent les flux entre compartiments. La seconde est une fonction de représentation du système dans un état donné et de suivi de son évolution. La troisième est une fonction de prédiction, elle fonctionne en modifiant les paramètres du système et en analysant les résultats des simulations (Andro, 2019).

La représentation d'un bassin versant mis en avant en tant que système, est dépendante de la construction du modèle. En effet, il est important de choisir un modèle adapté au domaine d'application (Gnouma, 2006). Différents modèles hydrologiques présents sur scène sont en mesure de modéliser des bassins versants de taille importante (Arnold et al. 2015), mais notre choix du modèle utilisé dans l'étude s'est porté sur SWAT, désignant littéralement "Soil and Water Assessment Tool" (Arnold et al. 1998). C'est l'outil d'analyse le plus adapté au contexte agricole qui inclue la modélisation des cultures, et à la simulation sur un laps de temps étendu. SWAT a été largement utilisé dans les régions nord africaines à petite et à grande échelle pour la modélisation hydrologique (Zettam et al, 2017 ; Briak et al, 2019 ; Mami et al, 2021).

Notre travail vise à évaluer les performances du Soil & Water Assessment Tool (SWAT) et à simuler les composantes du cycle de l'eau du bassin versant d'Oued Kébir Rhumel (8824 km²), l'un des principaux bassins de l'hydrologie du paysage en Algérie en utilisant l'ensemble des données open source. Il met en évidence la nécessité de développer de meilleurs ensembles de données d'entrée pour les modèles en Afrique, qui sont disponibles sans limite alors qu'ils sont cruciaux pour une étude détaillée des ressources en eau (Ait Mbarek et al,2021).

Le manuscrit se compose de trois grands chapitres :

INTRODUCTION GENERALE

- Dans le premier chapitre, nous présentons une étude bibliographique sur l'hydrologie, la modélisation hydrologique et le modèle SWAT avec la méthodologie de fonctionnement.
- Le chapitre II, fait une présentation de la zone d'étude d'oued Kébir Rhumel la localisation, le contexte physique et le matériel utilisé ainsi que la méthodologie adoptée pour atteindre les objectifs fixés.
- Le troisième chapitre est consacré à l'analyse des résultats obtenus qui sera effectuée suivi d'une discussion des principaux résultats et on termine par une conclusion ainsi que des perspectives et des recommandations.

CHAPITRE I :

Synthèse

Bibliographique

1 HYDROLOGIE :

L'hydrologie au sens large est la science qui étudie le cycle hydrologique globale (cycle de l'eau), elle décrit et prédit les variations spatiales et temporelles de l'eau dans ses compartiments terrestres océaniques et atmosphérique (Dingman,2002), aussi elle s'intéresse des propriétés biologiques, physiques et chimiques et de leurs interactions avec leur environnement (Hingray, 2009).

L'hydrologie comporte deux branches :

- L'hydrologie de surface ou des eaux superficielles.
- L'hydrogéologie ou hydrologie des eaux souterraines (Pines,1970)

L'hydrologie est une science appliquée, elle a de bonnes relations avec les autres sciences et exige de vastes connaissances propres aux différents autres domaines comme « climatologie, géologie, géographie et pédologie, l'hydraulique et l'hydrodynamique », tels que ses domaines d'application sont également très variés, les plus importants sont : (Laborde,2009)

- L'agriculture (drainage, irrigation...)
- L'étude des ressources en eau
- La sécurité des biens et des personnes (protection contre les inondations, Crues)
- La lutte contre la pollution : étude des débits d'étiage évacuant les effluents, les calories
- L'énergie hydraulique : La navigation.
- Le transport solide (dépôt ou érosion)
- Aménagement des cours d'eau et des bassins versants l'environnement fluviale et aquatique

1.1 Cycle hydrologique :

Le cycle de l'eau, appelé aussi cycle hydrologique, est l'ensemble des cheminements que peut suivre une particule d'eau. Ces mouvements, accompagnés de changements d'état, peuvent s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface du sol et dans le sous-sol. Chaque particule n'effectue qu'une partie de ce cycle et avec des durées très variables :

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

une goutte de pluie peut retourner à l'océan en quelques jours alors que sous forme de neige, en montagne, elle pourra mettre des dizaines d'années. (Laborde, 2009).

La terre contient d'énormes quantités d'eau sous forme de réservoirs. L'eau existe dans l'atmosphère, la lithosphère, l'hydrosphère et la biosphère. Entre tous ces segments, les masses d'eau sont en circulation continue, c'est ce qu'on appelle « **le cycle hydrologique** » il est de deux types : le cycle hydrologique terrestre et le cycle hydrologique globale. Le cycle hydrologique terrestre présente un intérêt particulier en tant que mécanisme de formation des ressources en eau sur une zone terrestre donnée, comme un bassin fluvial ou un bassin versant. Le cycle hydrologique global traite le climat global et d'autres processus géologiques et physiques. (Balasubramanian, 2017) Le cycle hydrologique est un concept qui englobe à l'échelle du système terre les phénomènes de transformation, de mouvement et de renouvellement de l'eau (Claude, 2017).

L'eau passe de l'état liquide à l'état solide, de l'état solide à l'état liquide, de l'état liquide à l'état vapeur, de la vapeur à l'état liquide et de la vapeur à l'état solide, (Balasubramanian, 2017), tel qu'il est illustré dans la figure suivante :

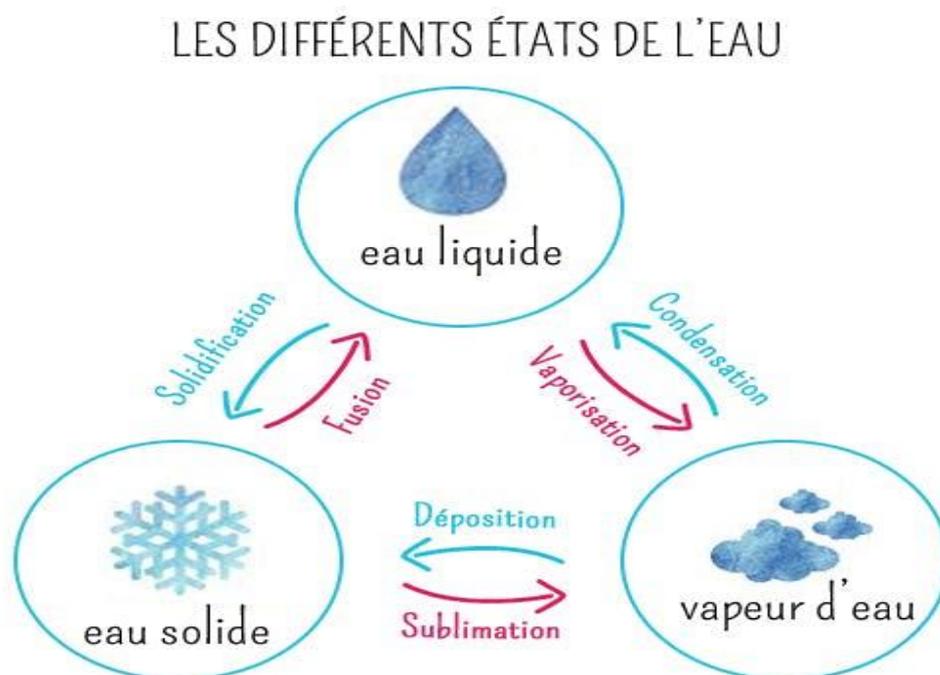


Figure 1 : les différents états de l'eau (<https://i-mom.unimedias.fr/2020/09/16/etats-eau.jpg?auto=format,compress&cs=tinyrgb>)

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

Sous l'effet de rayonnement solaire, une partie de l'eau présente sur les surfaces continentales (dans les sols sous forme d'eau libre) et dans les océans s'évapore. Des nuages prennent forme suite à la condensation de la vapeur d'eau sous forme de gouttelettes. Par la suite, cette eau sera restituée aux continents et aux océans par le biais de précipitations. Elles peuvent être liquides (pluie) ou solides (neige ou grêle) suivant les conditions de température, de pression et d'humidité de l'air.

Une partie de la pluie qui tombe peut-être interceptée par les végétaux puis être partiellement restituée sous forme de vapeur à l'atmosphère. La pluie non interceptée atteint le sol. Suivant les conditions données, elle peut alors s'évaporer directement du sol, s'écouler en surface jusqu'aux cours d'eau (ruissellement de surface) ou encore s'infiltrer dans le sol. Une fois que l'eau souterraine s'est écoulée dans une rivière, un lac ou un océan, la surface de la masse d'eau est exposée à l'évaporation, ce qui entraîne l'accumulation et la concentration de l'humidité. L'humidité s'accumule et se concentre dans l'atmosphère, pour finalement retourner à la terre sous forme de précipitation, le cycle recommençant. (Musy,2005)

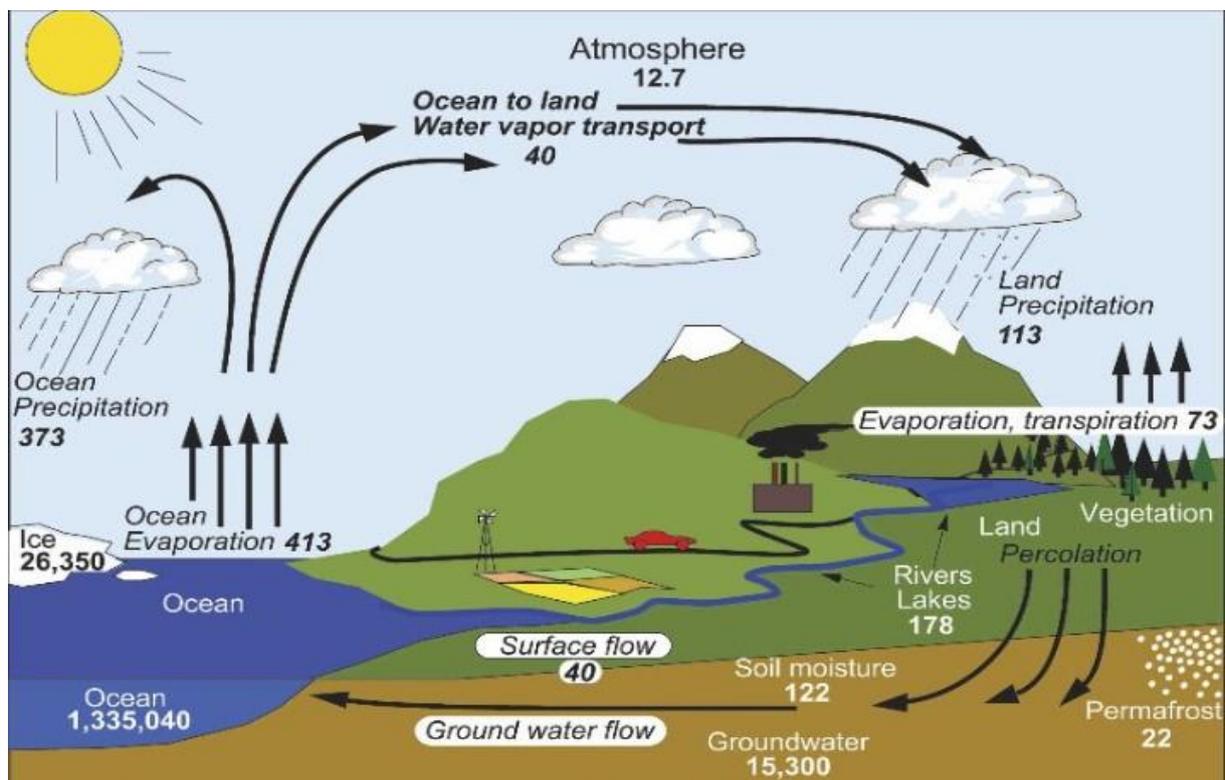


Figure 02 : cycle de l'eau (source : <https://sciences-de-la-terre.narkive.fr/34pe4T65/quel-est-le-pourcentage-du-cycle-global-de-l-eau-evaporation-precipitations-qui-se-produit-au:i.3.full>)

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

1.1.1 Les étapes de cycle hydrologique : il est composé de plusieurs phases : (Beniis,2009)

1.1.1.1 L'évaporation : sous l'effet de la chaleur du Soleil l'eau des océans, des mers, des lacs, des rivières et s'évapore et monte dans l'atmosphère. Les végétaux et les êtres vivants transpirent et rejettent eux aussi de la vapeur. (Ferrah,2017)

1.1.1.2 La condensation : En altitude, l'air froid fait condenser la vapeur d'eau qui se transforme en petites gouttelettes, en formant les nuages. (Ferrah,2017)

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

1.1.1.4 L'infiltration : Une partie de l'eau des précipitations pénètre dans la terre, formant ainsi des réserves d'eau souterraines, les nappes phréatiques. (Ferrah,2017)

1.1.1.5 Le ruissellement : L'excédent des précipitations qui ne s'est pas infiltré ou évaporé ou n'a pas été intercepté par la végétation va s'écouler selon la pente du terrain. C'est le ruissellement de surface qui alimente les rivières et les fleuves se déchargeant dans les mers et océans. On estime qu'annuellement seulement 320mm des 800 mm tombant sur les terres retournent aux océans sous forme de ruissellement de surface. La balance (480mm/an) constitue le déficit d'écoulement. (Bennis,2009)

2 NOTION DE BASSIN VERSANT

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval Les différents paramètres du bassin versant (forme, altitude, pente, relief...etc) interviennent dans les différents écoulements (Laborde,2009).

3 MODELISATION HYDROLOGIQUE :

Un modèle peut être défini comme « une représentation simplifiée d'un système mathématique donné et des différents processus explicatifs de son fonctionnement » (Hingray et al. 2009 in Labbas,2015). La modélisation permet d'estimer la véracité d'hypothèses émises pour simplifier le monde réel ou de prédire son comportement à partir de la connaissance de certains phénomènes naturels (Beven, 1989 in Labbas, 2015).

De nombreux modèles hydrologiques ont été développés depuis la fin des années 1960. Le choix du type de modèle à utiliser dépend généralement de l'objectif de modélisation ainsi que des données d'entrées disponibles (Ferrah, 2017)

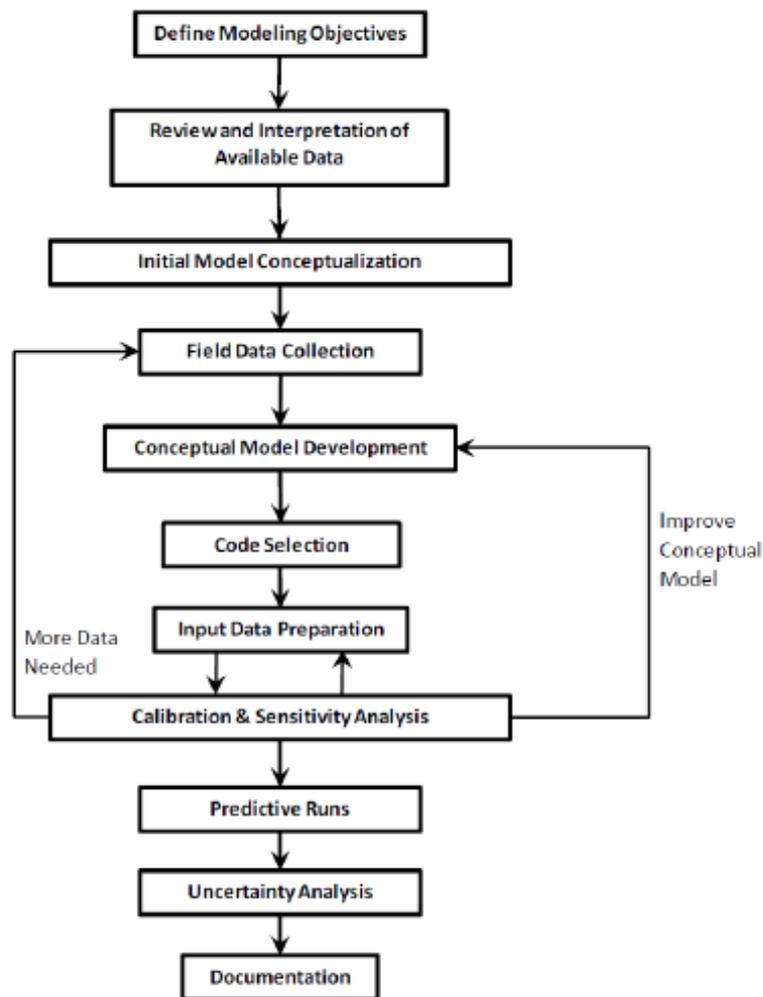


Figure 3 : processus de construction d'un modèle (wels,2012 in Kessasra,2017)

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

- Le système observé et sa discrétisation spatiale et temporelle, qui en définissent

l'objet et ses limites (spatiales ou temporelles).

- Le modèle est construit pour être un outil de représentation, un instrument de connaissance et pour répondre à l'objectif de modélisation.
- Le choix de la formulation de la réalité la plus satisfaisante relativement aux objectifs fixés.

3-1 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 restreinte. Et c'est en termes de discrétisation spatiale que cette différenciation se repose : les modèles sont soit globaux ou bien distribués. Quant aux représentations temporelles, elle se diffèrent par leurs aspect continu ou évènementiels. Et pour finir, c'est suivant l'aspect de l'expression des phénomènes hydrologiques qu'on retrouve des différences, liées à des équations empiriques, à des équations physiques, ou bien à une simplification plus accentuée de ces équations physiques pour donner lieu à des approches conceptuelles.

Selon (Singh,1995) et (Payraudeau,2002), la classification des modèles se penche sur des critères qui reposent principalement sur la représentation de l'espace, du temps et des processus décrits. Mais il se trouve que certaines classifications distinguent encore les modèles déterministes ou stochastiques, souligne ainsi (Singh,1995) et (Ambroise,1998). On en déduit en effet que la diversité des approches mène à la coexistence de nombreuses classifications, dont les limites sont floues et susceptibles d'interprétation personnelle (Payraudeau, 2002). Dans cette perspective, une classification simple se puise par (Todini,1988) et (Singh,1995).

Dans cette perspective, une classification simple se puise par (Todini,1988) et (Singh,1995)

- La modélisation physique basée (ou chaque phénomène du cycle hydrologique est modélisé sur base de paramètres physiques).
- La modélisation conceptuelle (ou les paramètres empiriques peuvent être par voie itérative ou estimés, le cycle hydrologique restant la base de la conception du modèle)
- La modélisation statistique, qui fait appel à l'analyse statistique ou aux réseaux neuronaux.

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

3.1.1 Classification selon la représentation de l'espace :

3.1.1.1 Les modèles globaux :

Les modèles globaux offrent à l'utilisateur un choix très attractif, car il présente une structure très simplifiée, il ne demande pas trop de données, faciles à utiliser et à calibrer. La représentation du processus hydrologique est très simplifiée. Il peut souvent mener à des résultats satisfaisants, et spécialement si l'objectif majeur est la prévision d'une crue. Deux exemples de ce type de modèle, le modèle IHRACRES. (Identification of unit Hydrographs And Component flows from Rainfall, Evaporation and Stream flow data) et le modèle GR (génie rural). (Harik,2021)

3.1.1.2 Les modèles distribués :

Permettent une discrétisation en sous-bassins, en mailles ou éléments finis. Les modèles distribués sont en général plus performants, mais les données nécessaires ne sont pas toujours disponibles et la mise-en-œuvre peut-être plus fastidieuse (Furusho, 2011). Dans la majorité des cas, les modèles ne sont pas totalement distribués étant donné que certains composants du système peuvent être globalisés. Les modèles sont alors de type semi distribués qui tiennent compte de la variabilité spatiale à travers des classes ayant des comportements hydrologiques supposés similaires (Gnouma, 2006).

3.1.1.3 Les modèles semi-distribués

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

3.1.2 Classification selon la discrétisation temporelle

3.1.2.1 Les modèles événementiels

Ces modèles visent à reproduire la réponse du bassin en termes de débit lors des épisodes pluvieux. Ce genre de modèles, qui n'est activé qu'au moment des pluies, nécessite

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

de préciser l'état initial du bassin en fonction des conditions climatiques antécédentes (Gnouma,2006).

3.1.2.2 Les modèles continus

Ils sont capables de calculer les sorties (débit, teneur en eau...) tant qu'ils sont alimentés par des données (précipitation, températures...). A cette échelle temporelle, les écoulements lents et l'évapotranspiration jouent un rôle important. Du fait d'afficher des longues périodes de débits, les modèles continus peuvent révéler une variété d'effets des changements environnementaux (climat, occupation du sol, etc) (Furusho, 2011).

3.1.3 Classification selon la description du processus :

3.1.3.1 Le modèle empirique :

Les modèles empiriques sont considérés comme 'une boîte noire' Ils tiennent compte des variables d'entrées et de sorties d'un bassin, sans donner d'importance à sa nature physique. Ils sont simples à mettre en oeuvre. Ils donnent des simulations avec un nombre réduit de paramètres. Néanmoins ils ne permettent pas l'analyse du fonctionnement interne d'un bassin (Ambroise, 1991).

3.1.3.2 Les modèles conceptuels :

Les modèles conceptuels considèrent généralement le bassin versant comme étant un ensemble de réservoirs interconnectés, après quelques simplifications du cycle de l'eau. Un modèle hydrologique conceptuel tente de reproduire la réponse hydrologique d'un bassin versant en remplaçant la réalité de l'écoulement par une idéalisation simplifiée de la situation réelle tant de la géométrie du bassin versant que de l'écoulement lui-même. Les données hydrologiques et météorologiques servent alors à faire des estimations seulement des paramètres. Les modèles hydrologiques conceptuels sont basés sur un aspect perceptuel du comportement de l'eau dans le bassin versant et sont par conséquent des modèles déductifs. (Bwira,2016)

3.1.3.3 Modèle à base physique :

Les modèles à base physique reposent sur la résolution d'un grand nombre d'équation de continuité et de quantité de mouvement liée soit au processus de transport d'eau ou des substances soit d'énergie. Ces équations doivent décrire les différents phénomènes dans d'un bassin versant (Bwira,2016)

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

3.1.3.4 Modèles stochastiques (probabilistes) :

Le terme stochastique est lié à la statistique et traduit le caractère aléatoire du modèle.

Il permet de générer, aléatoirement, des données par des lois de distributions particulières.

(Benamor et Fasi,2016)

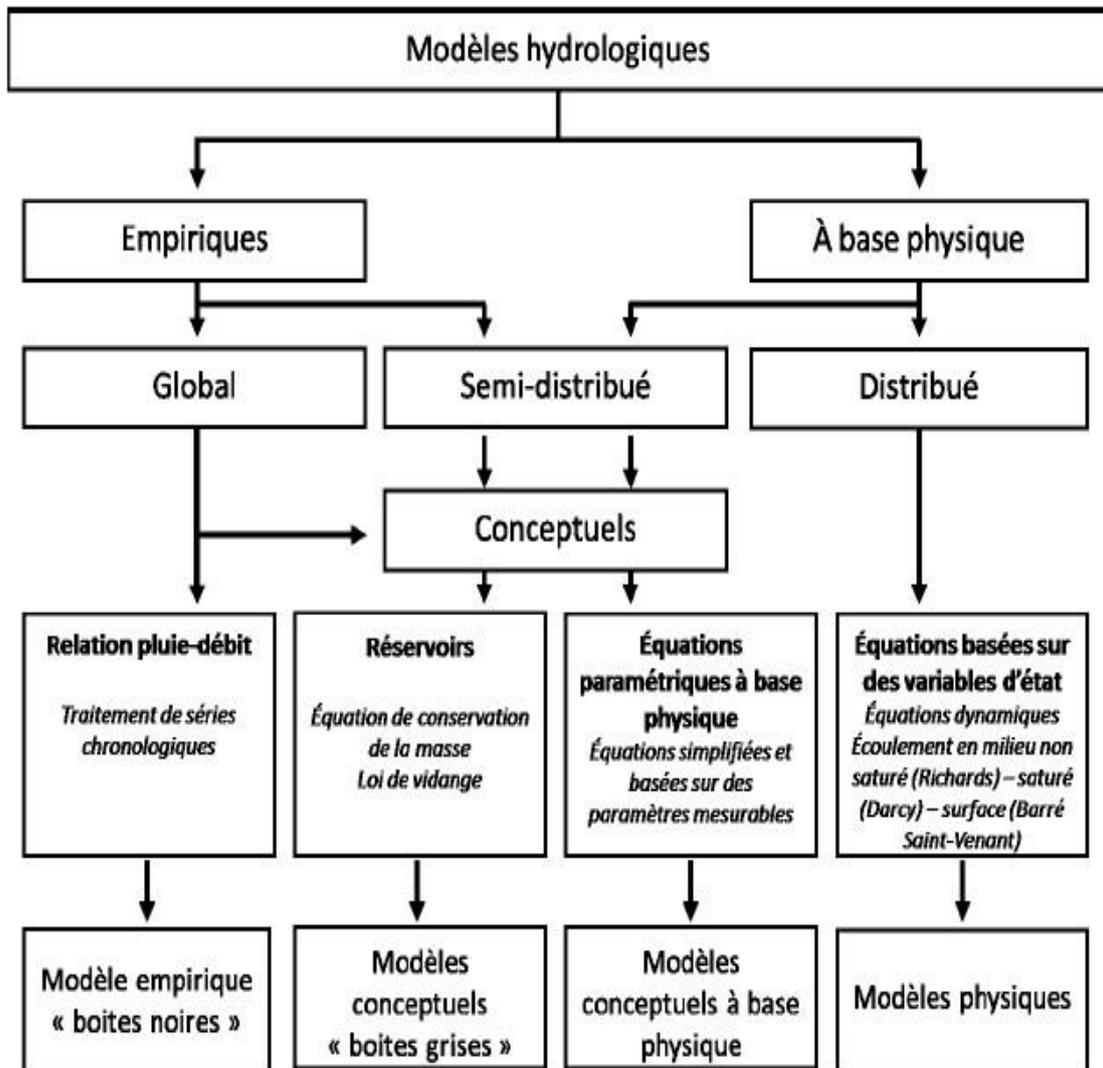


Figure 4 : Principales caractéristiques des classes de modèles hydrologiques (source :(Maxime,2016)

Plusieurs modèles ont été utilisées par les chercheurs pour comprendre les processus. Le tableau suivant présente des modèles utilisés et leurs différent caractéristiques et application dans des bassins versant selon (Daniel et al., 2011) :

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

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

| Modèle | Application | Composantes principales | Echelle temporel | Echelle spatial | Auteur |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| ANSWERS | -Bassins versants agricoles, conçu pour les bassins versant sans station de mesure | -Ruissellement -Infiltration -Drainage souterrain -Erosion du sol | Évènementiel | Distribué | Van Berkel et al |
| ANSWERS-2000 | -Bassins agricoles de taille moyenne -Bassin sans station de mesure ; évaluation des bonnes pratiques culturales ; simulation des interactions entre quatre groupes d'azote | -Ruissellement -Infiltration -Transport de nutriments | Continue | Distribué | Bouraoui et Dillaha |
| AGPNS | Bassins agricoles | Ruissellement Infiltration Transport de sédiments | évènementiel | distribué | Young et al |

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

| | | Erosion | | | |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------|--------------------|
| AnnAGPNS | Bassins agricoles Pratiques culturales | Hydrologie Transport de sédiments, de nutriments et de pesticides, MNT utilisé pour générer un réseau | continue | distribué | Giménez et al |
| GSSHA/CASC2D | -Bassins versants agricoles urbains -Capacité de modélisation dans une variété de climats avec des ensemble de données spatiales complexes | -ruissellement -l'humidité du sol -transport de sédiments -l'érosion | continue | distribué | Charles et al |
| HEC-1/HECHMS | -Bassins urbanisés - modélisation de crues | - précipitation -pertes -Flux de base -transformation et écoulement | évènementiel | Semi distribué | Pray et al |
| HSPF | Bassins agricoles et urbanisés | -qualité des eaux de ruissellement -simulation des zones perméables/imperméable | continue | Semi distribué | Hetherington Et al |

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

| | | | | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| | Qualité d'eau et sédiments | | | | |
| KINEROS2 | Bassins agricoles et urbanisés | -les apports pluviométriques distribués | Continu | Semi distribué | Goodrich et al |
| MIKE SHE | -Large gamme d'échelles spatiales et temporelles -Conception modulaire facilite l'intégration d'autres modèles -capacité avancées pour la qualité de l'eau -l'estimation des paramètres et l'analyse du bilan hydrique | -le transport des sédiments -l'infiltration -Le ruissellement de surface et l'érosion -écoulement des eaux souterraines, rivières, processus géochimique -croissance végétal -érosion des sols et irrigation | Evènementiel, Continu | Distribué | Cui et al |
| SWAT | -Bassins agricoles | -hydrologie -conditions météorologiques | Continu | Semi distribué | Arnold et al |

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

| | | | | | |
|----------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|--------------------|
| | -pratiques culturales | -sédimentation -températures et propriétés du sol -croissance des cultures, nutriments, pesticides -gestion agricole et flux de réservoirs | | | |
| PRMS/MMS | -petit bassins agricoles -érosion des sols | -hydrologie et ruissellement de surface -érosion des sols -transport des sédiments | évènementiel | distribué | Markstrom et al |

Un modèle hydrologique se distingue sur quatre types de variable (figure4) qui peuvent exister en totalité ou en partie dans chaque modèle (boudhraa,2007)

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

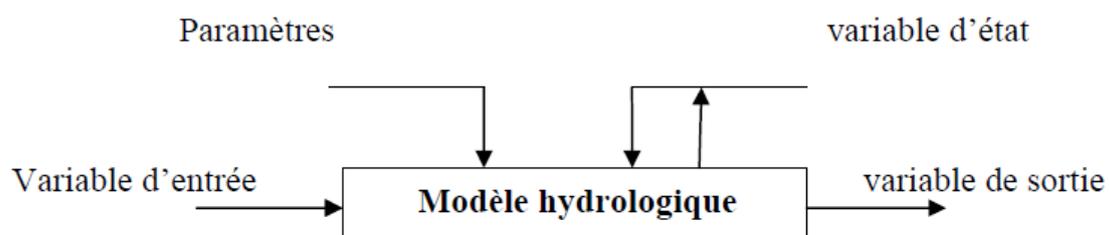


Figure 5 : les variables d'un modèle hydrologique (Gaume,2002)

4 Objectif de la modélisation :

Au long de ces dernières années, les efforts fournis dans la recherche pour la compréhension du cycle de l'eau dans les milieux naturels (bassins versants, rivières, nappes, ...) alliés au développement de l'informatique, ont abouti à l'apparition d'une multitude de modèles hydrologiques. À cet égard, nous pouvons distinguer trois objectifs essentiels d'utilisation des modèles en hydrologie (Gaume, 2002) :

- **La prévision de l'écoulement** : elle nous donne une anticipation des évolutions futures du débit d'un cours d'eau. (Ferrah,2017)
- **La simulation de débit** : pour le comblement de lacunes dans des séries de données, la reconstitution de débits historiques (les données de pluie étant souvent disponibles sur des périodes beaucoup plus longues que les débits) ou pour permettre des traitements statistiques. (Perrin,2000)
- **L'extrapolation** : Dans le cadre d'un plan de précision des risques, et dans certains cas tel la délimitation de zones inondables, il est primordial d'envisager des scénarios de crues, ou incidemment d'étiage, de période de retour concrètement supérieure à la durée du contrôle des débuts sur le site étudié. (Ferrah,2017)

5 DONNEES OPEN SOURCE :

Le terme « **open source, open data ou données ouvertes** » veut dire données auxquelles l'accès est totalement public, libre, et gratuit, et couvre tous les secteurs : **géolocalisation, finance, transport, science, climat, culture, santé, environnement etc...**

- ❖ L'open source englobe trois objectifs principaux :
 - Une meilleure clarté des données pour les utilisateurs
 - Un meilleur rendement de l'action publique et des collectivités
 - Un perfectionnement de la collaboration avec la mise à disposition de plusieurs ressources afin d'élaborer de la valeur économique et sociale.
- ❖ Et doit contenir essentiellement ses critères :
 - **La disponibilité** : les données doivent être facilement accessible

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

- **Le format de téléchargement des données doit autoriser la réutilisation et la distribution.**
- **La participation universelle**

Il existe de nombreuses sources rassemblent des « données ouvertes » et permettent de les télécharger dans plusieurs domaines comme :

- ✓ Data.gouv
- ✓ Donnéespubliques.météofrance.fr
- ✓ Data.economie. gouv
- ✓ W3s-water
- ✓ Données.banquemondiale.org
- ✓ Swat.tamu.edu

6 SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL)

6.1 Le choix de modèle SWAT :

Le choix du modèle est souvent difficile pour le chercheur car il existe de nombreux modèles. Il se fait en fonction de la disponibilité des données nécessaires, de l'objectif de la recherche et des résultats souhaités.

Suivant ces critères, notre choix s'est porté sur le modèle agro hydrologique SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (arnold et al 1998) . En effet ce modèle répond aux exigences suivantes :

- Il assure une simulation continue, à long terme des processus hydrologiques
- Il Garanti la modélisation des grands bassins versants dépassant une superficie de plusieurs milliers de Km², comme on peut l'appliquer sur des petits bassins.
- La capacité du modèle à analyser l'impact conjugué du climat et des activités anthropiques sur la réponse hydrologique globale des bassins versants.

6.2 Présentation du modèle :

SWAT est un modèle agro-hydrologique à base physique, semi distribué développé par le département américain de l'agriculture, **Agricultural Research Service (USDA-ARS) (arnold et al 1998)**. Développé à l'origine pour prédire l'impact à long terme des pratiques de gestion

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

du climat et de l'utilisation des terres sur les rendements en eau, en sédiments et en produits chimiques agricoles dans de grands bassins complexes (Malago et al, 2016)

SWAT a pour fonction de simuler les principaux mécanismes des bassins versants tel que l'hydrologie, la sédimentation, le transfert d'éléments nutritifs, la croissance des culture l'environnement et le changement climatique à l'échelle des bassins versant, pour un pas du temps journaliers. (Arnold et al, 1998).

Les bassins versants représentés dans ce modèle ont des superficies allant de quelques centaines à plusieurs milliers de km². Le modèle prend en compte l'ensemble du cycle hydrologique, représenté au niveau du bassin versant de façon spatialisée. SWAT peut analyser le bassin versant dans sa globalité ou en le subdivisant en sous-bassins versants contenant des portions homogènes appelées **Unités de Réponse Hydrologiques (HRU)**.

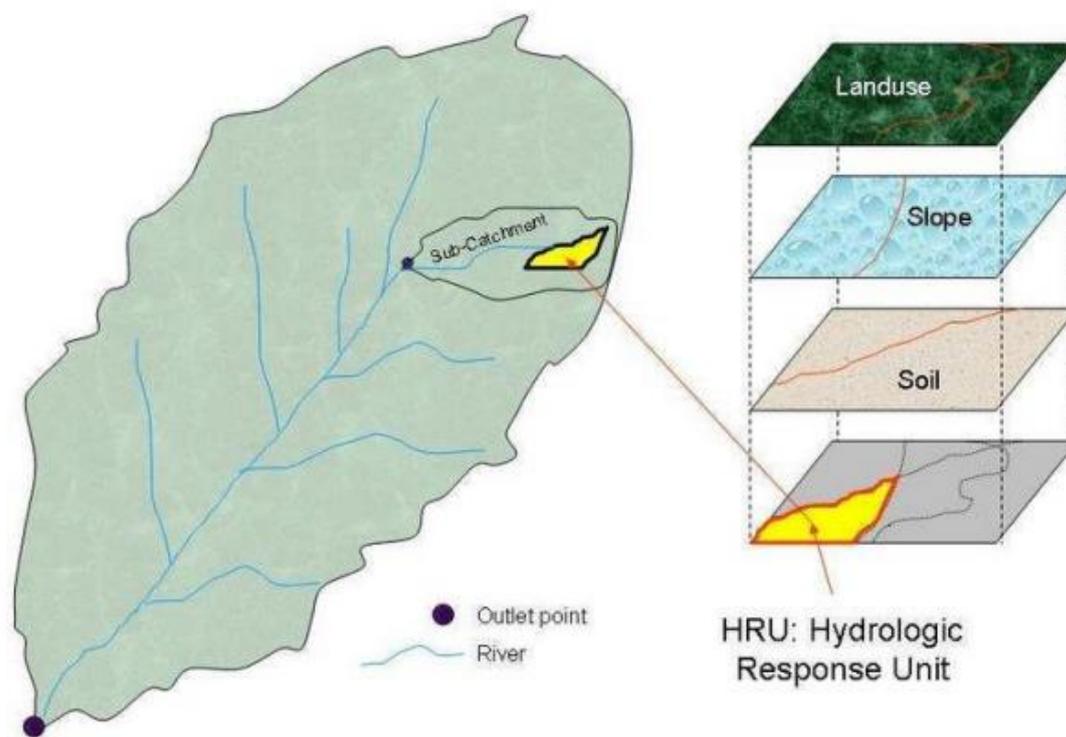


Figure 6 : la structure du modèle SWAT et la définition des HRUs (Hydrlogic Response Unit). (Boithias, 2010)

6.2.1 SWAT en SIG (système international géographique) :

Dans le but de faciliter et automatiser la préparation des données d'entrées, de rendre plus conviviale la phase d'intégration de manipulation et le paramétrage des données liées à la simulation le modèle SWAT a été couplé avec le logiciel SIG cycle (est une suite de logiciels d'information géographique développés par la société américaine Esri) (Kouane,2019). ArcGIS permet une gestion spatialisée des informations en sortie de modèle, il facilite la gestion des bassins versants, la récolte et la manipulation des phases d'incorporation et de calibrage. (Laouacheria,2017)

6.2.2 Fonctionnement de modèle :

SWAT, comme les autres modèles hydrologiques, reproduit le cycle de l'eau sur le bassin versant de manière simplifiée. La modélisation peut être séparée en deux phases :

- **phase terrestre** : qui permet de réaliser des bilans hydriques sur chaque sous-bassin, qui sont ensuite intégrés sur l'ensemble du bassin, (Neitsch et al, 2005).
- **phase aquatique** qui réalise le transfert de l'eau dans les réseaux jusqu'à l'exutoire. (Neitsch et al, 2005).

Le principe de fonctionnement de SWAT est représenté ci-dessous dans la **figure 4** :

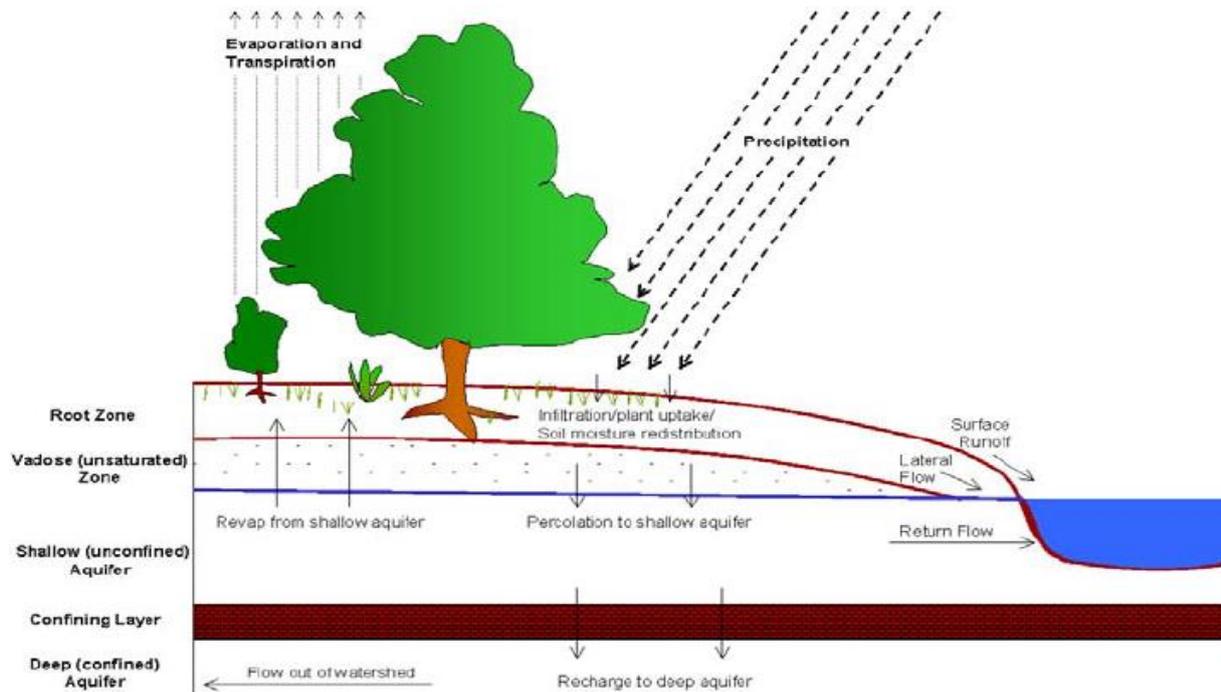


Figure 7 : Schéma de cycle hydrologique modélisé par SWAT (Neitsch et al 2005)

6.2.3 Equation hydrologique de SWAT :

Le bilan hydrique contrôle les divers processus hydrologiques qui se déroulent dans le bassin. Dans le cas de SWAT, il simule le cycle de l'eau à travers l'équation hydrologique suivante (Neitsch et al. 2005)

$$SW_t = SW_0 + \sum (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw})$$

Avec :

- SW_t = teneur en eau du sol (mm)
- SW_0 = quantité initiale d'eau disponible (mm)
- t = temps (jour)
- R_{day} = quantité de précipitation (mm)
- Q_{surf} = ruissellement de surface (mm)
- E_a = évapotranspiration (mm)
- w_{seep} = percolation (mm)

- Q_{gw} = débit de base (mm)

6.2.4 Données d'entrées pour modèle SWAT :

Pour modéliser les mouvements d'eau, de sédiments et d'éléments nutritifs dans un bassin versant SWAT a besoin des données spécifiques qui incluent la superposition spatiale de plusieurs couches d'information incluant les propriétés des sols, la topographie(mnt), l'utilisation du sol et les données météorologiques (précipitation-température-vitesse de vent-radiation solaire-humidité relative) qui prévalent dans le bassin. (Mosbahi et al,2012)

6.2.5 Données de sorties :

Les données en sorties du modèle SWAT sont données par diverses échelles de temps : **journalière-mensuelle-ou annuelle**. Qui sont :

- Hydrologie (ruissellement, interception par le couvert, évapotranspiration, drainage, percolation, retenues, marécages),
- Climat (température du sol, neige, générateur climatique),
- Croissance des cultures
- Gestion agricole
- Transfert de l'eau dans le bief principal
- Sédimentation
- Nutriments

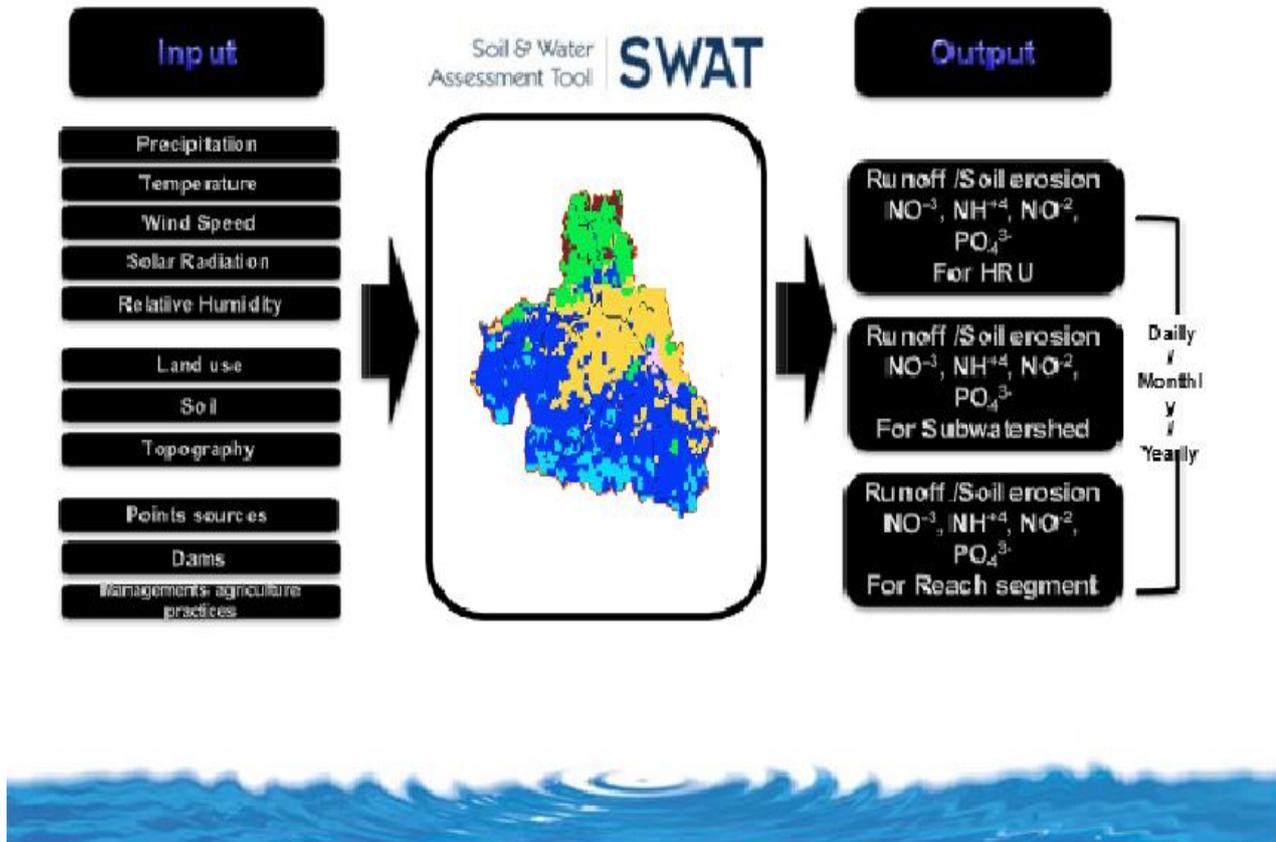


Figure 8 : données d'entrées et de sorties pour SWAT

CHAPITRE II :
MATERIELS
ET
METHODES

1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

Le grand bassin versant Kébir Rhumel est situé dans le Nord-Est Algérien (figure 08). Il est localisé dans la wilaya de Jijel et considéré comme un des plus grands et plus importants bassins d'Algérie, qui couvre une superficie de 8824km² (Zettam ,2018)(36° de latitude de Nord, 7° de longitude Est) (Toumi,2018). Il s'étend entre la mer Méditerranée au Nord et les marges septentrionales des hautes plaines des sebkhas (lacs salés) au Sud (Sahli, 2012).

Il se compose de sept sous bassins hydrographiques (Oued Déhamcha-Kébir amont, oued Kébir amont-Endja, ouedk Kébir amont, oued Rhumel Séguen, oued Bouverzoug, oued Rhumel-Smendou, oued Kébir maritime), et couvre six wilaya (Oum El Bouaghi, Skikda, Constantine, Mila, Sétif, Jijel) (Sekheri et Meskine,2020).

Le bassin d'Oued Kébir-Rhumel est limité par :

- Au nord par : les wilayas de : Skikda, Jijel, Bejaia
- A l'Est par : Ain Abid, wilaya de Guelma
- A l'ouest : Bejaia et Bordj Bou Arréridj
- Au Sud : Batna, Oum El bouaghi.

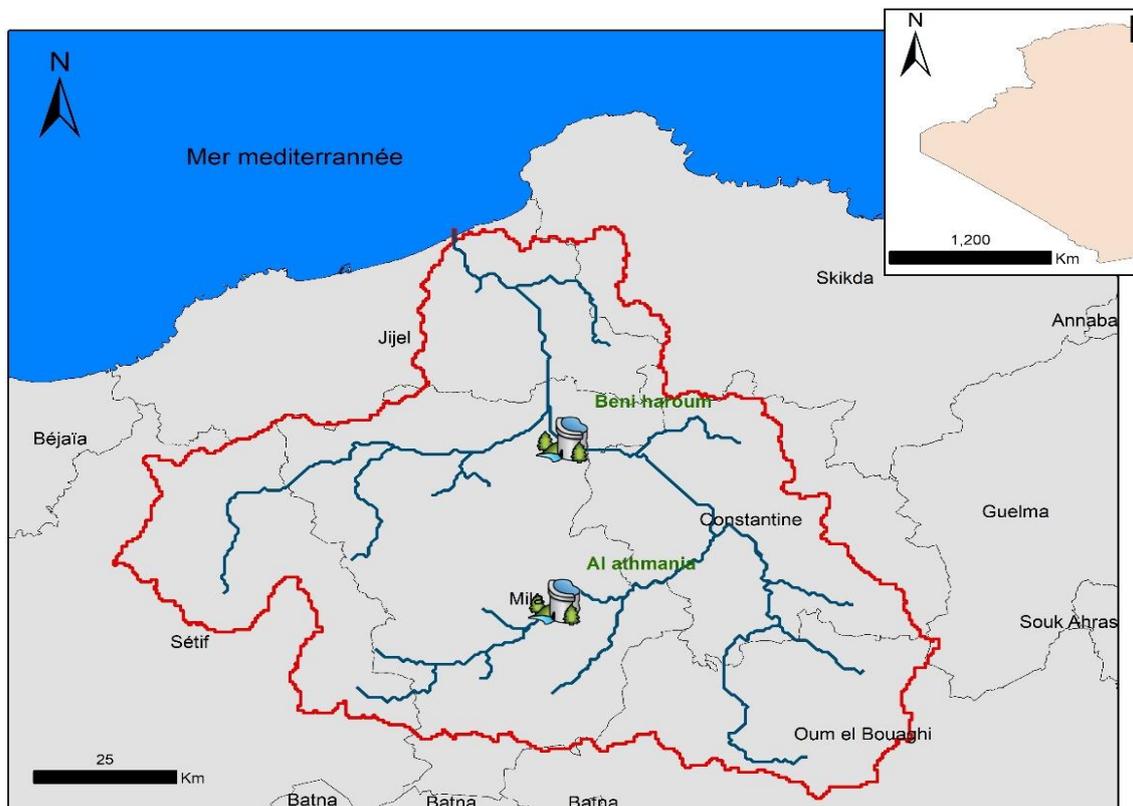


Figure 09 : Carte de localisation de bassin versant Kébir Rhumel

2 OCCUPATION DE SOL :

2.1 Végétation :

Le bassin est caractérisé par une couverture végétale discontinue, favorable à l'écoulement et à l'érosion, mis à part le bassin inférieur, où une bonne partie est recouverte par des formations arbustives efficaces. Par contre, la flore est généralement pauvre dans la zone semi-aride compte tenu de la qualité saline de ses sols. (El heddaf el okki,2016). On distingue sur les monts les forêts de chêne vert et de pin d'Alep (Djebels Chettaba, El-Ouahch, ...). Cependant, le domaine semi-aride à hiver frais, le plus répandu dans les Hautes Plaines, portées à 800 ou 1 000 m d'altitude, se caractérise par l'omniprésence de la céréaliculture, souvent pratiquée avec de la jachère (El heddaf el okki, 2016).

2.2 Agriculture :

Le bassin est caractérisé par une activité agricole, le blé, l'orge et les cultures fourragères. La partie nord est couverte de forêts de chênes et de liège, tandis que la végétation diminue dans la partie sud. Cette végétation relativement basse a affecté le phénomène d'érosion du sol (Zeghmar, 2022).

2.3 Population :

Plus de 2.500.000 habitants selon l'estimation de 2002, répartis-en 90 communes et 6 Wilayas. 57 communes sont entièrement incluses dans le bassin et 33 partiellement.

L'agglomération de Constantine avec 921.893 habitants selon l'estimation de 2008, regroupe 22.5% de la population totale du bassin (Melghit, 2010).

2.4 Climat :

L'Est algérien est limité au Nord par la méditerranée, au Sud par le Sahara, constituant le secteur le plus varié de l'Algérie. Le bassin du Rhumel est soumis à deux climats différents :

- ✓ un climat subhumide dans la partie Nord, on se rapprochant de la chaîne numidique,

CHAPITRE II : Matériels et Méthodes

- ✓ un climat semi-aride dans la partie Sud des Hautes Plaines (Aidat, 2010). Il est caractérisé par un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec avec une forte variabilité inter-mensuelle et interannuelle de la pluie avec une nette décroissance de la pluviosité au Nord (450 mm/an en moyenne) au Sud (320 mm/an), (Sahli,2012). Les températures hivernales varient entre -5 et 15°C. Les températures grimpent à 35°C au mois de mai pour atteindre une moyenne de 38°C à 47°C en juillet et août (Manchar, 2021).

3 RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

Le réseau hydrographique c'est l'ensemble des cours d'eau naturels permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et déplace vers un point de vidange du bassin versant (exutoire) (Bougherioune et Toumi ,2018).

Le bassin Kébir Rhumel regroupe un réseau de plus de 4200 Km, il présente un chevelu hydrographique très dense dont quarante oueds ont une longueur supérieure à 10 km Ce bassin naît de la jonction de deux cours d'eau importants : l'oued Rhumel et l'oued Endja, couvrant respectivement une superficie de 5315 km² et 2160 km² et dont la confluence donne naissance à l'oued Kebir (Mebarki, 1982).

Traverse d'abord une direction Sud-Nord et franchit énergiquement la chaîne numidique, bien exposée aux vents pluvieux provenant de la Méditerranée. Ensuite, en traçant une orientation Sud Est-Nord-Ouest, il traverse les massifs très arrosés de la petite Kabylie d'El Milia, avant de s'écouler dans une large vallée vers la mer. Dans cette partie de son cheminement, l'Oued El Kébir côtoie en rive droite, l'Oued Bou Siaba et en rive gauche l'Oued Irdjana (Mebarki,1982).

- **Oued Rhumel** : d'un linéaire de plus de 123 Km, c'est l'oued le plus important du Kébir-Rhumel. Il prend naissance dans les hautes plaines sétifiennes, entaille les gorges de Constantine jusqu'à la confluence de l'Oued Endja et prend ensuite le nom d'El Kébir. (Melghit,2012)
- **Oued Enndja** : d'un linéaire de 15 Km, il naît à la confluence de l'Oued El Kébir et de El'Oued Redjas. Son lit possède une forme lithologique très intéressante du point de vue hydrogéologique ce qui explique le réseau hydrologique dense du barrage Béni Haroun. (Melghit ,2012)
- **Oued El Kébir** : prend sa naissance des deux oueds précédents, Rhumel et Endja,d'un

CHAPITRE II : Matériels et Méthodes

linéaire de 56 Km et se déverse dans la mer.(Melghit ,2012)

Les sous bassins dans le grand bassin Kebir-Rhumel représenté dans le tableau 02 :

Tableau (02) : Superficie des sous bassins du réseau hydrographique du Kebir-Rhumel avec les ressources potentielles superficielles (Sekhiri et Meskine, 2019).

| Code de sous bassin | Superficie (Km ²) | Nom de sous bassin |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 10-01 | 1067 | Oued Déhamcha-Kébir amont |
| 10-02 | 1102 | oued Kébir amont-Endja |
| 10-03 | 1230 | Oued Kébir amont |
| 10-04 | 1150 | Oued Rhumel-Séguen |
| 10-05 | 1832 | Oued Boumerzoug |
| 10-06 | 1091 | Oued Rhumel-Smendou |
| 10-07 | 1339 | Oued Kébir maritime |

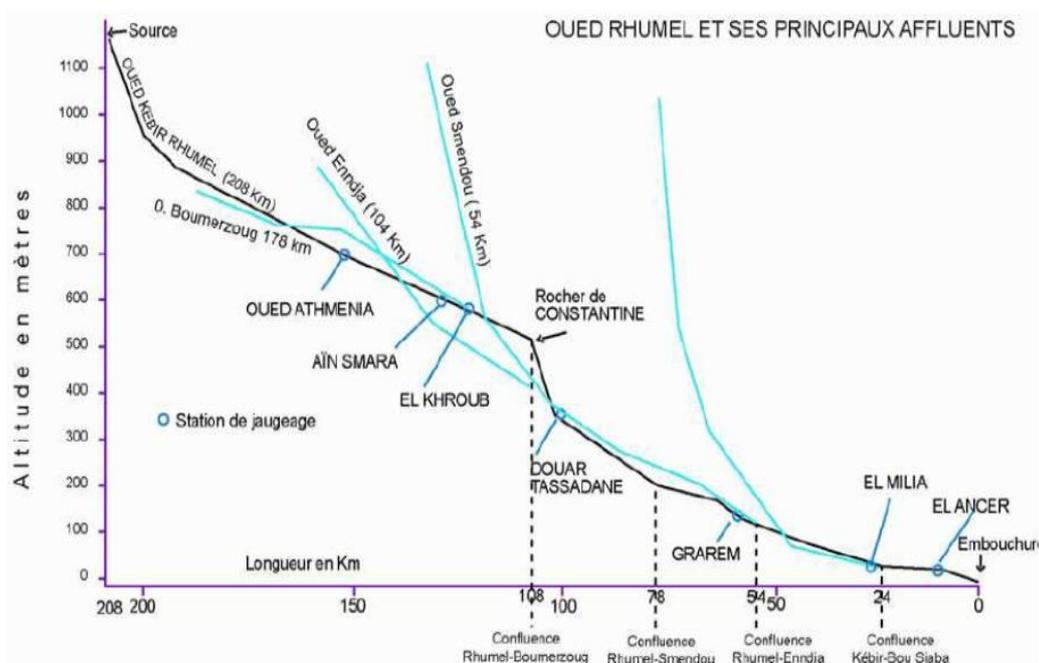


Figure 10 : Profil en long de l'oued Kébir-Rhumel (Mebarki, 1982).

4 BARRAGES :

Le bassin du Kébir-Rhumel compte actuellement deux barrages en exploitation : Beni Haroun et Oued Athmania. (Melghit,2012)

4.1 Barrage de Béni Haroun :

Le barrage de Béni Haroun est le plus grand barrage dans l'Algérie, se situe à 40 km au Nord-Est de la ville de Constantine sur l'Oued Kébir (bassin du Kébir Rhumel), avec une capacité de 960 millions de m³, construit en béton compacté au rouleau (BCR), il s'appuie sur une fondation rocheuse calcaire avec une surface totale de 7725km². (Boutouatou,2020)

Il a été mis en exploitation en 2003 destiné à l'alimentation en eau potable de quatre millions d'habitants, répartis sur les wilayas de Constantine, Mila, Batna, Oum El Bouaghi, et Khenchela, ainsi qu'à l'irrigation de plus de 400.000 hectares de terre agricole. (Chebli et Djamai,2016)



Figure 11 : Barrage de béni Haroun source (Chebli et Djamai,2016)

4.2 Barrage d'Oued Athmania :

Situé à environ 30km au Nord-Ouest de la province de Constantine, le réservoir du barrage est situé dans l'Est de l'Algérie avec une capacité totale de stockage de 33,6hm³ et un volume utile de 25hm³. (Mebarki et al,2008). Le réservoir du barrage d'Oued Athmania est formé par une digue de 35m (Marouf,2012). Il a été mis en exploitation en 2007 destiné à l'alimentation en eau potable et l'irrigation. (Zettam,2018).



Figure 12: barrage d'Oued Athmania source (Mebarki,2008)

5 GEOLOGIE DE BASSIN VERSANT KEBIR RHUMEL :

L'oued Kébir-Rhumel, long de 200 km, draine plusieurs domaines géologiques et Hydrogéologiques très différents. Il va de soi que cette hétérogénéité du bassin versant provoque des influences différentes sur le régime des cours d'eau conjointement à celles dues à la répartition des précipitations.

De la source à la mer, on rencontre schématiquement 5 grands domaines géologiques et Hydrogéologiques (Mebarki et Thomas,1988)

CHAPITRE II : Matériels et Méthodes

5.1 Le domaine des Hautes-Plaines sud-constantinoises (DI) :

Constitué de deux grandes unités :

Lithologiques : les massifs carbonatés du Néritique constantinois et les plaines Plio quaternaires d'une part et d'autre part les massifs de calcaires jurassiques et crétacés (Mebarki et Thomas,1988)

5.2 Le bassin Néogène de Constantine-Mila (DII) :

D'âge Mio-pliocène et à dominance argileuse, à l'exception de quelques affleurements de calcaires lacustres. Par ailleurs, émergent de nombreux horsts de calcaires néritiques d'âge jurassique-crétacé donnant lieu à des aquifères karstiques hydrothermaux tel le système de Hamma Bouziane-Constantine (Mebarki et Thomas,1988).

5.3 Le domaine des nappes tectoniques de Djemila (DIII) :

À l'ouest de Ferjioua, en position occidentale par rapport au domaine (DII). Elles sont formées d'une alternance de marnes et de calcaires marneux (Jurassique-Crétacé-Eocène)(Mebarki et Thomas,1988)

5.4 Le domaine de la dorsale kabyle et des massifs gréseux numidiens (DIV):

Ce domaine, localisé au niveau de la confluence de l'oued Endja et de l'oued Rhumel au nord de Grarem, est constitué essentiellement de grès numidiens sous lesquels apparaissent des calcaires jurassiques très tectonisés de la dorsale kabyle. Ces calcaires donnent naissance à des émergences dont le débit n'est pas négligeable (Mebarki et thomas,1988)

5.5 Le domaine du socle granitique et cristallophyllien de la petite Kabyle d'El Milia (DV) :

Au sud d'El Milia, la vallée du Kébir s'encaisse dans les formations du socle. Large de 1 à 2 km, cette vallée renferme des graviers et sables alluviaux abondants. Le secteur étudié se trouve

CHAPITRE II : Matériels et Méthodes

dans la partie nord du bassin de Mila –Constantine (DII) au pied du massif de M'cid Aicha (Chebli et Djamai,2016).

Recouverts par endroits par le charriage du socle kabyle (une portion du djebel Sidi Driss),

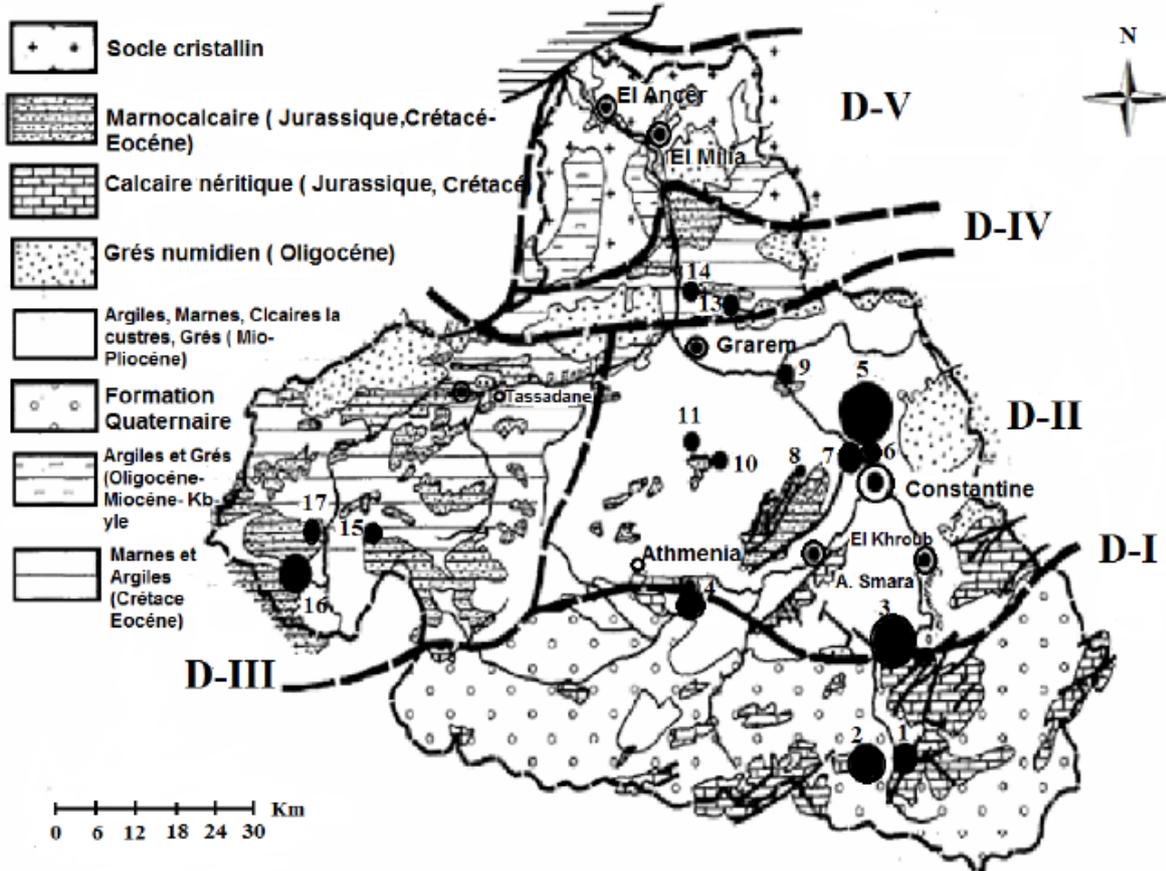


Figure 13 : Les grands domaines géologiques du bassin Kébir-Rhumel(Mebarki et Thomas, 1988 in Sahli, 2012)

DI : le domaine des *Hautes-Plaines sud-constantinoises*

DII : le bassin néogène de *Constantine-Mila*

DIII : le domaine des « *nappes* » tectoniques de *Djemila*

DIV : le domaine de la dorsale kabyle et des massifs gréseux numidiens

DV : le domaine du socle granitique et cristallophylien de la petite Kabyle d'El Milia.

6 TOPOGRAPHIE ET RELIEF DE BASSIN VERSANT KEBIR RHUMEL :

6.1 Relief :

Faisant partie du grand tell oriental Algérien : la zone d'étude présente un relief montagneux très complexe dans sa structure et dans sa morphologie : elle se distingue par un grand massif montagneux, par un ensemble collinaire et par des étendues de plaines cotières et de vallée (Zaabat et Lecheheb,2020).

6.2 Topographie :

L'analyse topographique du bassin versant d'Oued Kébir maritime, nous a permis de distinguer deux unités topographiques qui sont :

- **La plaine alluviale d'Oued Kébir** occupant la partie aval du bassin qui est caractérisée par une topographie sub-plane à des pentes relativement faible, matérialisée par le sens de l'écoulement superficiel. Cette plaine est étagée par différents niveaux de terrasses quaternaires caractérisées par de nombreux petits ravins, ces derniers avec les dépressions fermés ou marécages sont engorgés par les fortes précipitations.
- **Les zones montagneuses** plus ou moins élevées, qui occupent surtout les bordures du bassin versant correspond à la chaîne numidique séparant ainsi les hautes plaines au Sud et les plaines côtières au Nord, l'orientation est Ouest- Est. (Bougherion et Toumi, 2018)

7 PEDOLOGIE :

Selon (Anonyme, 1997), en se basant sur les études réalisées antérieurement par différents bureaux d'études et sociétés, les classes de sols dégagées par ces derniers se résument à (Boudjedjou, 2010) :

7.1 Classe des sols minéraux bruts :

On les trouve en association avec les sols peu évolués d'érosion ou les sols brunifiés, ils ne présentent aucun intérêt pour la pratique agricole. (Boudjedjou,2010)

7.2 Classe des sols peu évolués :

7.2.1 Sous-classe des sols peu évolués d'érosion :

Ils se retrouvent sur presque tous les substrats en pente forte, mais principalement sur les substrats calcaires et les flyschs même sur pentes modérées. Ce sont des sols peu épais, leur mise en culture nécessite des aménagements appropriés et devraient être réservés aux cultures permanentes ou au reboisement (Boudjedjou, 2010).

7.2.2 Sous-classe d'apports alluviaux :

Ils se localisent le long des grands Oueds occupant les différents niveaux des terrasses ainsi que dans les vallées côtières. Ce sont généralement des sols profonds de texture variable. Ils sont signalés en plaine, ils présentent sols les plus fertiles rencontrés dans la région. Ils sont favorables à une mise en culture intensive (Boudjedjou,2010).

7.3 Classe des sols à sesquioxydes de fer et de Manganèse :

Leur extension est localisée et leur aptitude à l'utilisation agricole est bonne à moyenne (Boudjedjou,2010).

7.4 Classe des sols brunifiés :

Les sols de cette classe couvrent plus de 50% de la superficie de la wilaya. Leur aptitude est moyenne à faible à cause de leur situation dans le paysage, souvent en topographie accidentée. Leur mise en valeur agricole ne peut être qu'extensive (Boudjedjou,2010).

7.5 Classe des vertisols :

Leur localisation est limitée à cause du substrat et la situation topographique non favorable à leur extension (Boudjedjou,2010).

7.6 Classe des sols hydromorphes :

Les sols de cette classe constituent les basses terrasses des grands Oueds. Les sols hydromorphes se développent sur des formations alluviales, ils sont soumis à des phénomènes d'engorgement en hiver, et de dessiccation en été. Leur problème essentiel est celui des eaux excédentaires qui proviennent des précipitations pluvieuses et des écoulements fluviales de la bordure montagneuse dont l'évacuation ne peut être assurée du fait de la faible pente topographique et de la nature de la roche mère de ces sols (Boudjedjou,2010)

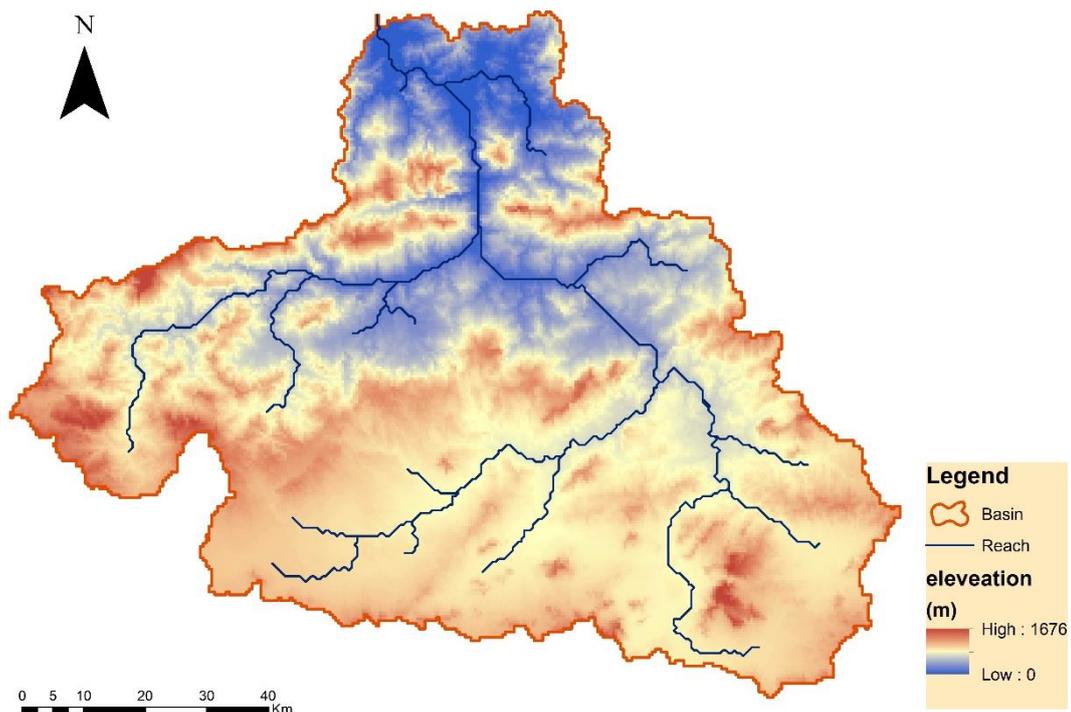
8 DONNEES UTILISEES EN ENTRES POUR LA MODELISATION :

Les données d'entrée requises pour le bon fonctionnement de SWAT concernent :

- Modèle numérique de terrain (MNT),
- Occupation du sol
- Type de sol
- Données climatiques

8.1 Les données topographiques :

Un modèle numérique de terrain (MNT) est de type aster de résolution 90mètres.



CHAPITRE II : Matériels et Méthodes

Figure 14 : Carte de modèle numérique de terrain ([Coverage map viewfinderpanoramas.org](http://Coverage.map.viewfinderpanoramas.org))

8.2 Type du sol :

Le bassin versant de kébir rhumel est composé de trois types différents du sols qui sont :

- Luvisols
- Calcisols
- Solonchaks

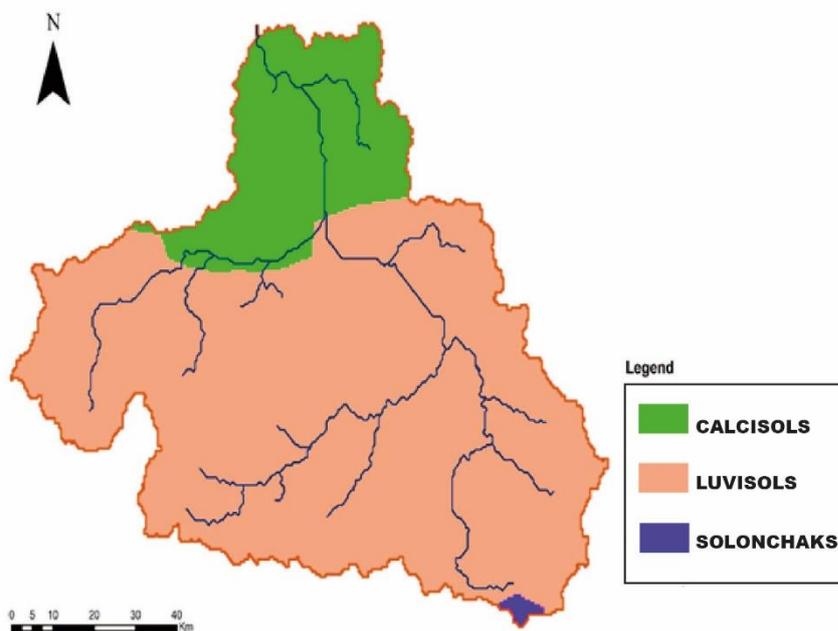


Figure 15 : Carte des sols de bassin versant kébir rhumel (FAO-UNESCO global soil map)

8.3 Occupation du sol :

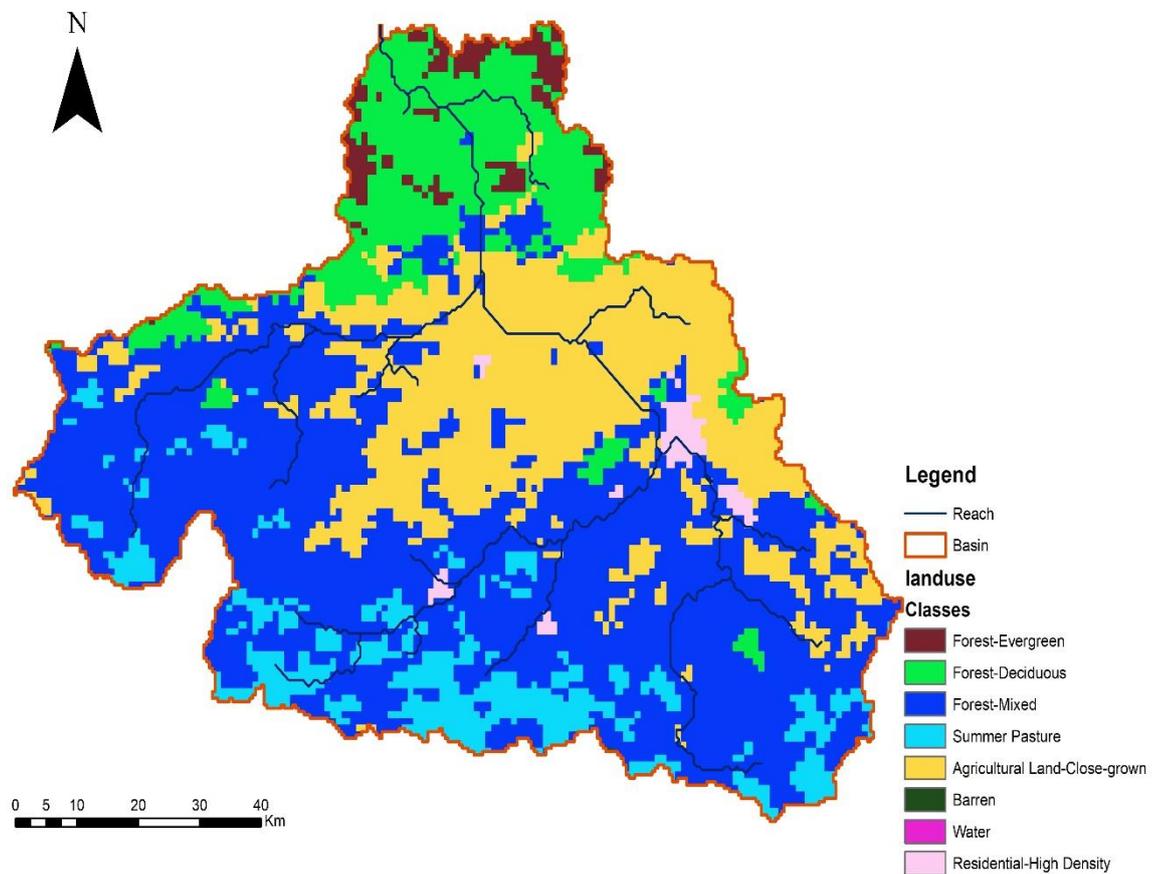


Figure 16 : carte d'occupation du sol (modifiée de <http://ionia1.esrin.esa.int/> 2009)

8.4 LES DONNEES METEOROLOGIQUES :

Dans notre étude nous nous sommes servis des données météorologiques du **SFSR** pour **SWAT** entre la période 1998-2000. Le **CFSR** a été conçu et exécuté comme un système mondial couplé atmosphère-océan-terre-glace de mer couplé à haute résolution afin de fournir une meilleure estimation de l'état de ces domaines couplés au cours de cette période. (Dile,2014) et (Fuka et al,2013)

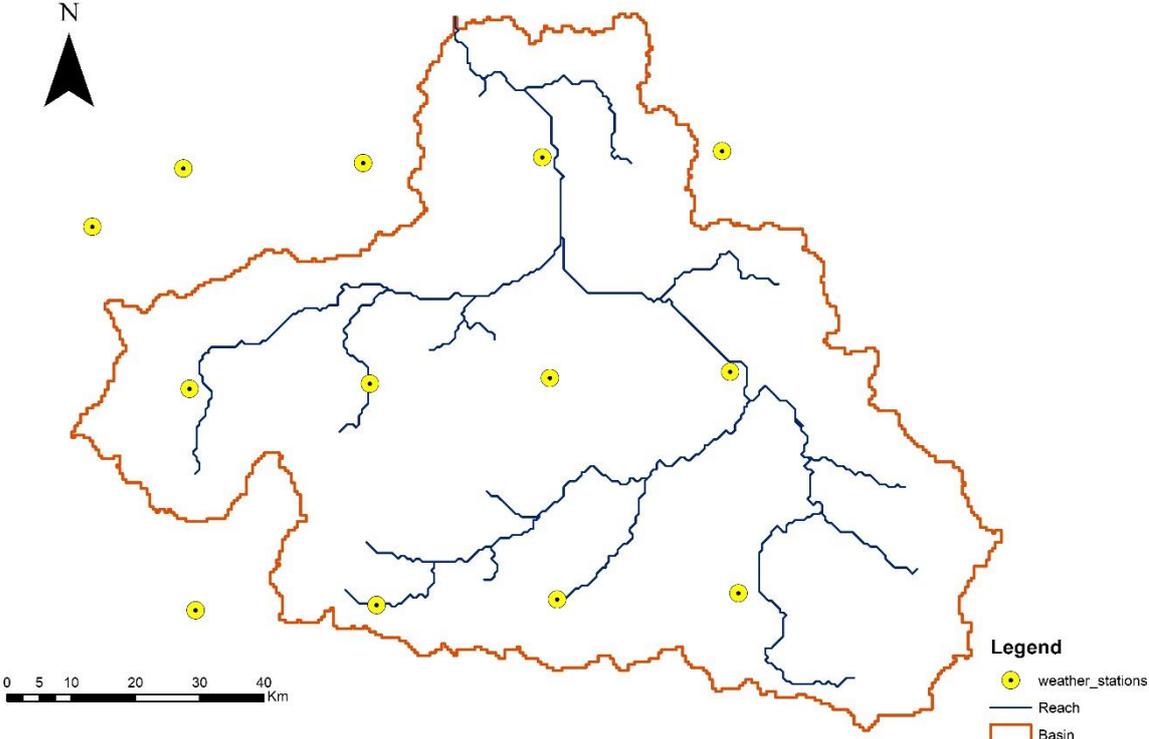


Figure 17 : carte de localisation des stations CFSR

CHAPITRE III :

RESULTATS

ET

INTERPRETATION

CHAPITRES III : Résultats et Interprétation

1 Calibration de l'hydrologie :

Le tableau suivant présente les 15 paramètres qu'on a choisis pour la calibration.

Tableau 03 : les paramètres calibrés

| Paramètres | Définitions | Unité | Valeur par défaut | Valeur calibré |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|
| CN2.mgt | Numéro de la courbe de ruissellement initiale du SCS pour la condition d'humidité II | jour | 35-98 | -20% |
| GW.DELAY.gw | Délai de recharge de l'aquifère | | 31 | 100 |
| GW.REVAP.gw | Coefficient d'évaporation à partir de la nappe souterraine | | 0.02 | 0.18 |
| GWQMN.gw | Profondeur seuil de l'eau dans l'aquifère peu profond nécessaire pour que le débit de retour se produise (mm) | | 0.7-900 | 13000 |
| ALPHA-BF.gw | Coefficient d'évaporation à partir de la nappe souterraine | jour | 0.048 | 0.65 |
| RCHRG-DP.gw | Coefficient de percolation vers la nappe profonde | | 0.05 | 0.73 |
| REVAPMN.gw | Profondeur d'eau seuil dans l'aquifère peu profond pour qu'un "revap" se produise | mm | 0-1000 | 790 |
| CH-K2.rte | Perméabilité des berges des canaux principaux | mm.h ⁻¹ | 0 | 52 |

CHAPITRES III : Résultats et Interprétation

| | | | | |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--|---------|------|
| CH-N2.rte | Coefficient de Maning des canaux principaux | | 0.014 | 0.08 |
| ESCO.hru | Facteur sol d'évaporation du sol en fonction de la profondeur | | 0-1 | 0.85 |
| EPCO.hru | Facteur d'ajustement d'évaporation de la rivière | | 1 | 0.67 |
| SURLAG.bsn | Coefficient de retard de l'écoulement de surface | | 0-1 | 6.61 |
| OV-N.hru | Coefficient de Manning d'ensemble du réseau hydrographique | | 0.01-30 | 0.21 |
| EVRCH.bsn | Reach evaporation adjustment factor | | 0.5-1 | 0.85 |
| TRNRCH.bsn | Fraction des pertes du chenal principal qui pénètrent dans l'aquifère profond | | 0-1 | 0.15 |

le résultat de calibration est montré dans la figure 13 ou les débits simulés et observés sont dans le même intervalle. Le NSE varie entre 0.42 - 0.55 et R^2 varie entre 0.53-0.65

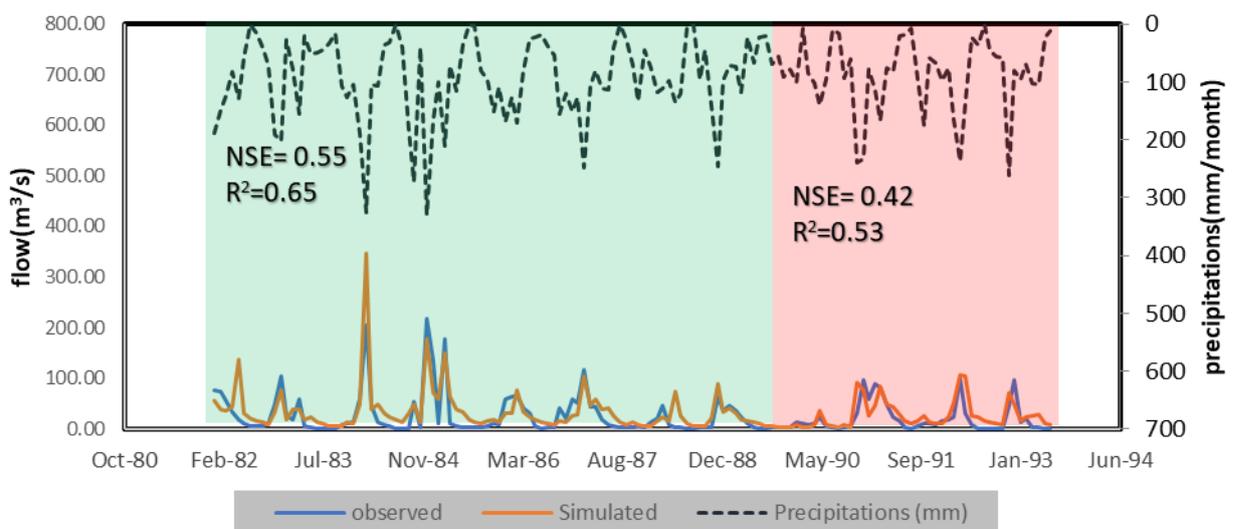


Figure 18 : calibration annuelle des débits observés et simulés dans le bassin versant Kébir Rhumel (Janvier1982-Décembre1993)

2 Le bilan hydrologique :

La figure 19 présente le bilan hydrologique modélisé par le modèle swat

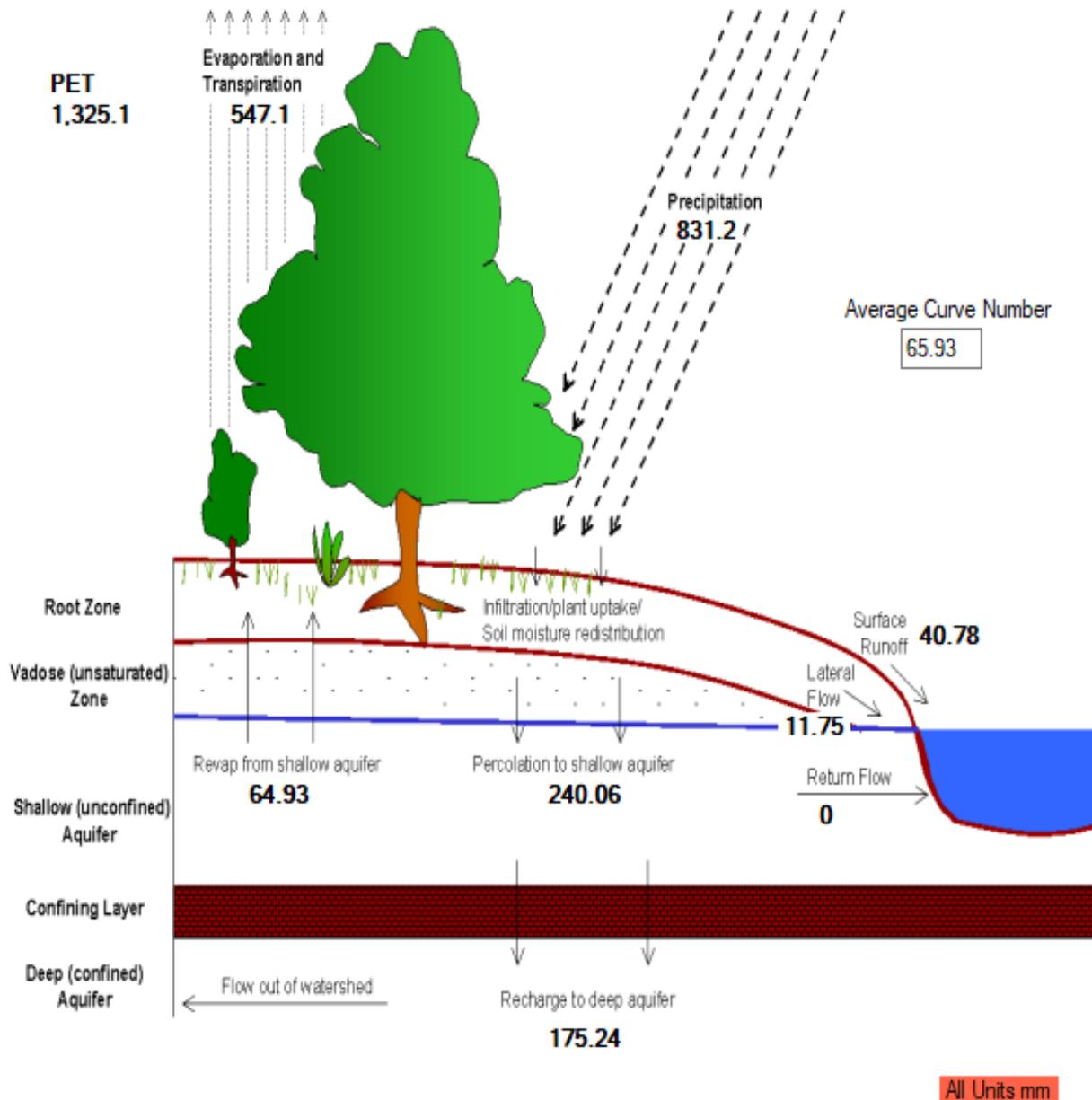


Figure 19 : bilan hydrologique modélisé par SWAT model

3 Spatialisation des précipitations :

La figure 14 présente une carte de précipitation dans le bassin versant de Oued Kébir Rhumel ou valeurs varient entre 513 et 1100mm par an. Les quantités de précipitations se décomposent en quatre zones, la première zone située en aval est la plus pluvieuse allant de 910 à 1100mm

CHAPITRES III : Résultats et Interprétation

par an et la deuxième zone représente une pluviométrie moins que la première (701 à 900mm), alors que les valeurs de la troisième varient entre 601 à 700mm/an. Enfin, la quatrième zone révèle une quantité de précipitation variant entre 513 à 600mm par an.

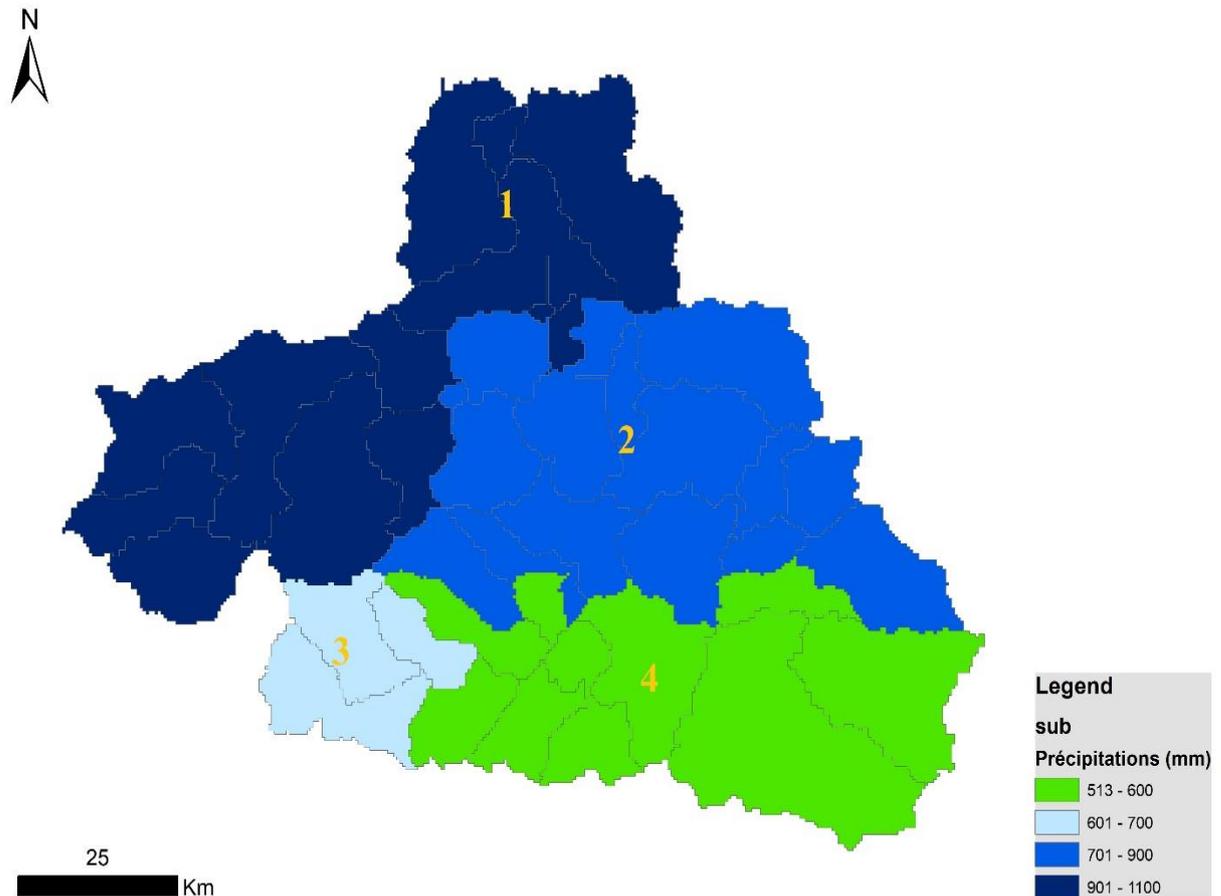


Figure 20 : carte des précipitations moyennes annuelles de bassin versant Kébir Rhumel

4 Ruissellement de surface :

Dans le bassin de Kébir Rhumel, le ruissellement varie entre 10 à 153mm en quatre zones comme la montre la figure 15. Les valeurs les plus élevées sont localisées dans la quatrième zone (101-153mm), et la troisième zone (51-100mm), tandis que les valeurs les plus faibles se trouvent dans la première zone (10-20mm) et la deuxième zone (21-50mm) par an.

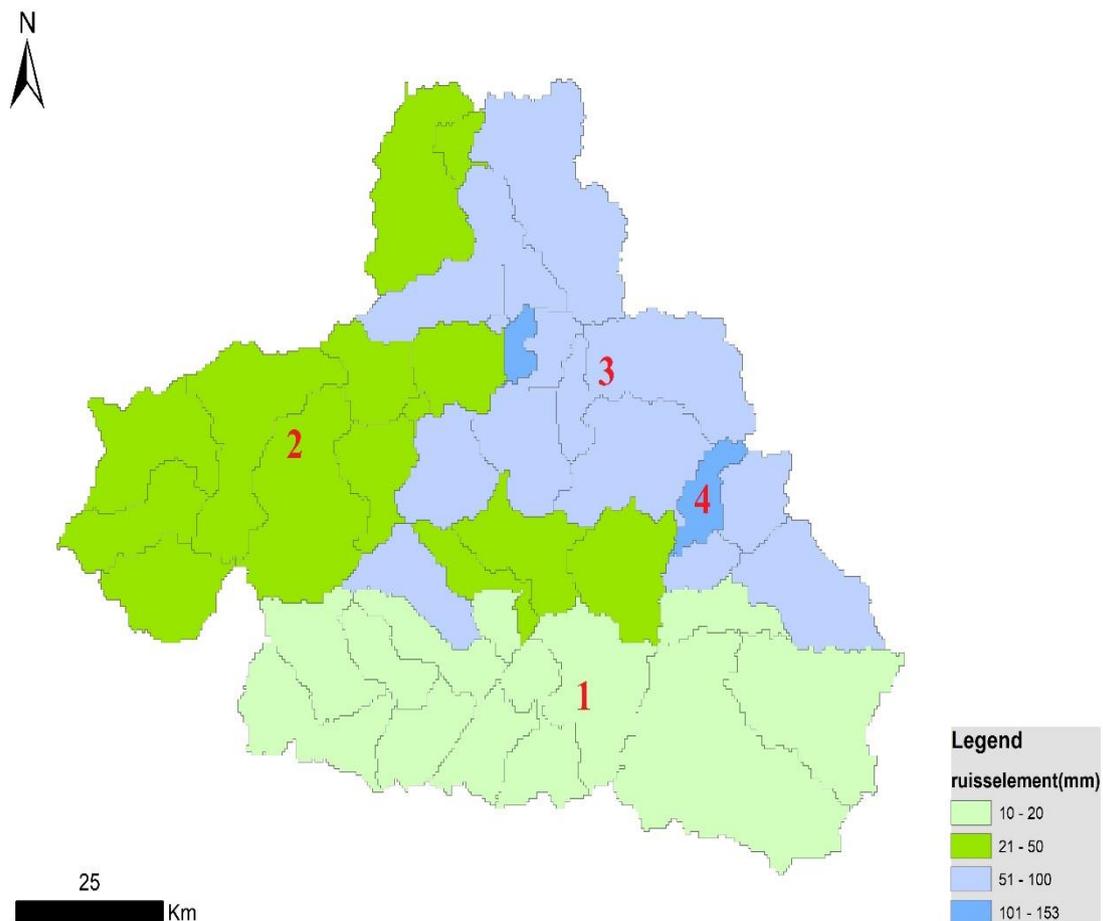


Figure 21 : carte de ruissellement de surface de bassin versant Kébir Rhumel entre la période (1980-1994)

5 Humidité du sol :

L'humidité du sol du bassin varie entre 48 à 154 mm par an (figure 16). La valeur la plus élevée sont dans la partie aval de la zone d'étude (zone 3) avec une humidité allant de 98 à 154 mm. La valeur la plus faible se trouve dans la partie amont (zone 1) avec une humidité du sol varie de 48 à 57 mm/an.

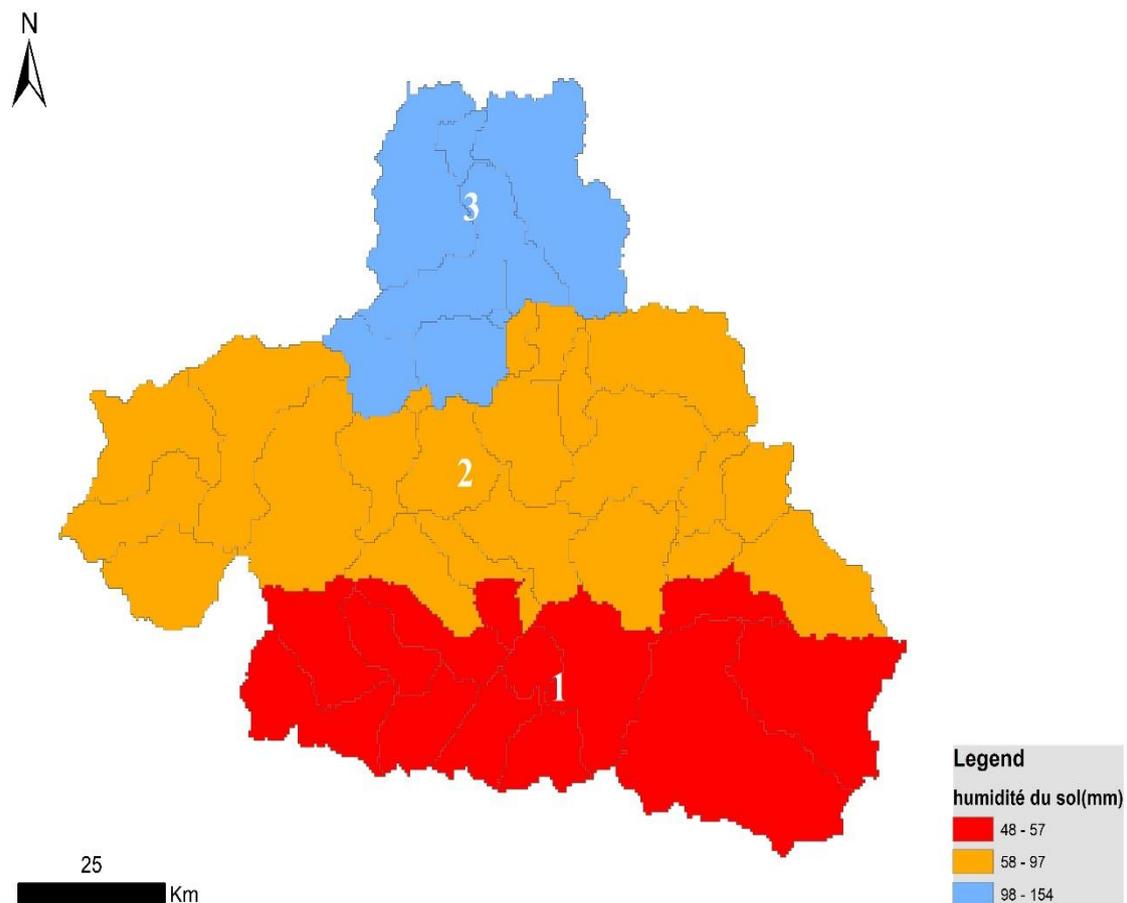


Figure 22 : carte d'humidité du sol moyenne annuelle de bassin versant Kébir Rhumel entre la période (1980-1994)

6 Évapotranspiration potentielle :

Dans notre bassin versant, l'évapotranspiration varie entre 1169 à 1362mm/an.

La quantité la plus élevée est localisée dans la troisième partie avec une ET variant de 1301 à 1362mm/an, la deuxième partie relève une quantité d'EP entre 1201 à 1300mm/AN. Finalement, la première partie qui contient la quantité d'EP la plus faible avec une quantité qui varie entre 1169 à 1200mm/an.

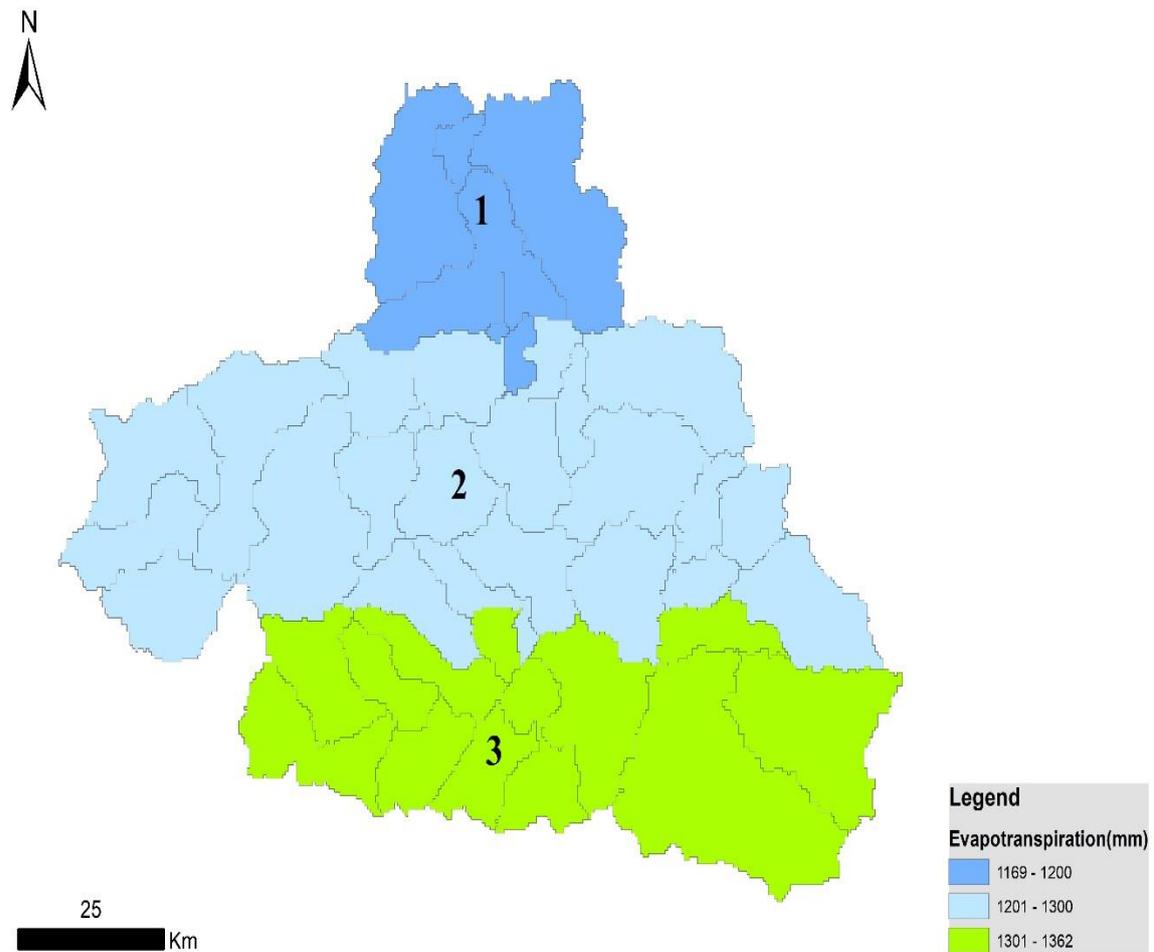


Figure 23 : carte d'ETP de bassin versant Kébir Rhumel

7 Le débit :

Le débit de notre site d'étude varie entre $0,3\text{m}^3/\text{s}$ à $26,1\text{m}^3/\text{s}$. les valeurs les plus élevés sont à l'aval du bassin ($14,8$ à $26,1\text{m}^3/\text{s}$), et les valeurs les plus faibles sont à l'amont du bassin ($0,3$ à $1,6\text{m}^3/\text{s}$).

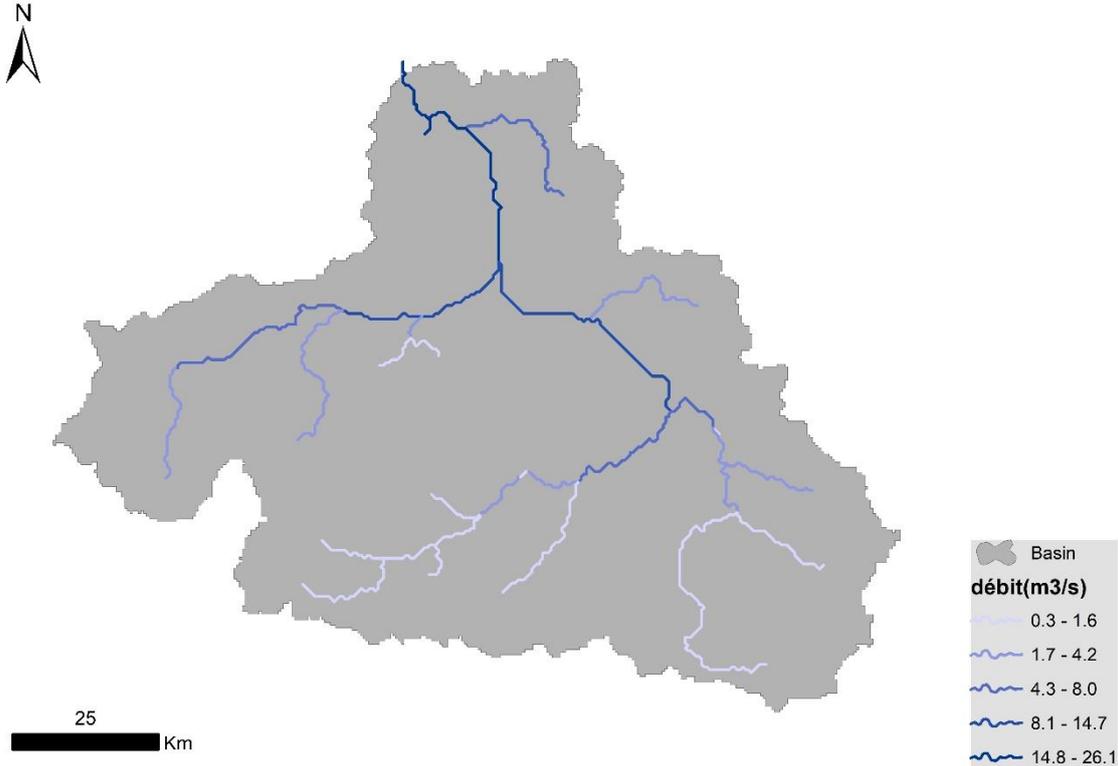


Figure 24 : carte de débit du bassin versant Kébir rhumel

CHAPITRE IV :

Discussion

Discussion :

La rareté des données a constitué un énorme problème dans la modélisation du cycle de l'eau dans la région africaine. Les données open sources constituent une solution pour la valorisation de la ressource en eau largement utilisées par plusieurs chercheurs (Milewski et al 2019 ; Mararakanye et al 2020; Bouslihim et al 2020). Cette étude présente une démarche pour utiliser l'ensemble de données open source CFSR (climate forecast système reanalysis) (SWAT-mnt- carte sols de la FAO- carte d'occupation du sol)

Nous avons exploité ces données pour la simulation du cycle de l'eau dans l'un des plus importants bassins versant côtier méditerranéen de l'Algérie (Oued Kébir Rhumel) durant la période de 1982 à 1993. Nous avons calibré quinze paramètres manuellement (tableau 1) :

- ✓ **CN2.mgt** (Numéro de la courbe de ruissellement initiale du SCS pour la condition d'humidité),
- ✓ **GW.DELAY.gw** (Délai de recharge de l'aquifère),
- ✓ **GW.REVAP.gw** (Coefficient d'évaporation à partir de la nappe souterraine),
- ✓ **GWQMN.gw** (Profondeur seuil de l'eau dans l'aquifère peu profond nécessaire pour que le débit de retour se produise mm),
- ✓ **ALPHA-BF.gw** (Coefficient d'évaporation à partir de la nappe souterraine),
- ✓ **RCHRG-DP.gw** (Coefficient de percolation vers la nappe profonde),
- ✓ **REVAPMN.gw** (Profondeur d'eau seuil dans l'aquifère peu profond pour qu'un "revap" se produise),
- ✓ **CH-K2.rte** (Perméabilité des berges des canaux principaux),
- ✓ **CH-N2.rte** (Coefficient de Manning des canaux principaux),
- ✓ **ESCO.hru** (Facteur sol d'évaporation du sol en fonction de la profondeur),
- ✓ **EPCO.hru** (Facteur végétal d'évaporation du sol en fonction de la profondeur),
- ✓ **SURLAG.bsn** (Coefficient de retard de l'écoulement de surface),
- ✓ **OV-N.hru** (Coefficient de Manning d'ensemble du réseau hydrographique),
- ✓ **EVRCH.bsn** (Reach evaporation adjustment factor),
- ✓ **TRNRCH.bsn** (Fraction des pertes du chenal principal qui pénètrent dans l'aquifère profond).

Alors que (Sallami et al,2008) ont calibrés 17 paramètres en Tunisie dans le bassin de Medjerda. (23,700 km²), (Briak et al, 2016) au nord du Maroc ont calibrés 16 paramètres dans le bassin versant de kalaya (3838 ha), (Ouallali,et al 2020) ont calibrés 11 paramètres au nord-ouest du Maroc dans le bassin de Arbaa Ayacha (18,854 ha), (Zettam et al,2020) en Algérie ont calibrés 16 paramètres dans le bassin semi-aride de la Tafna(7200 km²).

La calibration de modèle SWAT a bien reproduit le cycle de l'eau dans la zone d'étude, les débits mensuels ont été corrélés de manière satisfaisante avec les observations pour les

CHAPITRE IV : Discussion

périodes de calibration et de validation avec un NSE variant entre 0,42 et 0,55 et R^2 entre 0,53 et 0,65 (Moriassi et al., 2007 ; Moriassi, Gitau, Pai, & Daggupati, 2015 ; Samimi et al., 2020). Milewes et al, (2019) au Maroc dans le bassin de Souss (localisation+ surface) ont trouvés NSE=0,55 et $R^2=0,74$, (M'barek et al,2012) au Maroc ont trouvés NSE varie entre 0,80 à 0,82 et $R^2=0,80$ à 0,82, Alors que Zettam et al., (2020) au Algérie dans le bassin semi-aride da Tafna ont trouvé le NSE entre 0.42 et 0.75 et le R^2 comprise entre 0.25 et 0.84, (Hamza et al,2016) ont trouvé le NSE entre 0.67 et 0.76 et le R^2 entre 0.68 et 0.77 dans le bassin de kalaya situé au nord du Maroc.

Ce travail confirme les travaux de plusieurs auteurs qui montrent que SWAT est un outil très efficace pour la gestion de la ressource en eau dans les zones arides et semi arides de l'Afrique du nord (Mosbahi et al., 2011 ; Kateb et al., 2020 ; Hosseini et al., 2020).

Les précipitations utilisées du CFSR ont une valeur moyenne inter annuelle de 831,2mm/an, elles varient entre 513 à 1100 mm/an, tandis que (Mebarki ;1988) a estimé une variance de 400 à 1800 mm/an. L'écoulement a été estimé à 52,53 mm/an et l'évapotranspiration potentielle 1325,1mm/an. Les précipitations modélisées par SWAT varient entre. Le débit mesuré dans notre étude varie entre 0.3 à 26,1 m³/s, quant à celui marqué dans l'étude de (Mebarki ;2015) est de 0,11 à 26m³/s. Le ruissellement varie entre 10 à 153mm/an et selon (Mebarki ; 1988) il varie de 11 à 99 mm/an. L'évapotranspiration potentielle obtenue par SWAT est de 1169 à 1362 mm/an et (Boutouatou ;2020) a marqué une valeur qui varie de 1100 à 1400mm/an.

CONCLUSION

CONCLUSION

Le travail que nous avons réalisé nous a permis de tester et d'appliquer la modélisation hydrologique à l'échelle d'un bassin versant méditerranéen semi-aride nord-africain (Oued Kébir Rhumel). Le modèle hydro-agro-environnemental (SWAT) utilisé dans notre étude a été calibré et validé avec succès dans le bassin versant de Oued Kébir Rhumel durant la période (1982-1993). La démarche adoptée a mis en œuvre un nombre de paramètres importants de calibration ajustés manuellement, La modélisation a été réalisée sur une période de 11 ans (6ans calibration) et (4 ans validation). Le coefficient de détermination (R^2) l'efficacité de Nash-Sutcliffe (NSE) ont été utilisés pour évaluer la performance de modèle, les résultats montrent que la calibration et la validation sont considérées comme satisfaisantes avec $R^2=0,65$ et $NSE=0,55$ ce qui indique une bonne performance de modèle. En effet les valeurs simulées sont dans le même intervalle que les valeurs observées ce qui signifie une bonne simulation du modèle, Elle a permis de mettre en avant l'aptitude du modèle à reproduire de manière adéquate la série de débit à l'échelle mensuelle. Cette simulation aboutit à des résultats qui montrent que le modèle simule de manière appropriée l'hydrologie d'oued Kébir Rhumel.

Les résultats que nous avons obtenus émanent d'une longue étape de collecte et de structuration des données à l'échelle spatio-temporelle à l'aide de système d'information géographique (arc-gis). Nous avons aussi réussi à la spatialisation de débit dans les différentes parties du réseau hydrographique, les précipitations, le ruissèlement de surface, l'humidité du sol, l'évaporation, l'évapotranspiration au niveau du bassin d'étude.

Enfin notre étude a appuyé a montré l'efficacité des données open source pour fournir de bons résultats de simulation en Afrique du nord, de proposer des directions de recherche futures principalement pour les modélisateurs qui souhaitent étudier les zones où il y a un manque de données. Elle a ainsi montré que ces données sont des outils convenables, bien adaptés à la modélisation et à la compréhension du fonctionnement hydrologique et de gestion dans les bassins versants en milieux semi-aride.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- Aidat, A. (2010). Topologie de rapports entre la ville de Constantine et son Rhumel-boumerzoug. Diplôme de Magister Option Projet urbain. Université Mentouri Constantine. 180p
- Ait M'barek, S., Rochdi, A., Bouslihim, Y., Miftah, A. (2021). Multi-site calibration and validation of SWAT model for hydrologic modeling and soil erosion estimation: A case study in El Grou watershed. Morocco. Ecological Engineering and Environmental Technology 2021,22(6),45-52
- Ambroise, B. (1991). Hydrologie des petits bassins versants ruraux en milieu tempéré-Processus et modèles. Séminaire « Les Flux dans les Volumes Pédologiques et à leurs Limites : Approches à l'Échelle Spatiale du Bassin Versant » du Conseil Scientifique du département « Science du Sol» de l'INRA . Dijon, 26-27/03/1991. CEREG. Strasbourg. 53 p.
- Ambroise, B. (1998). Genèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu tempéré.2 : modélisation systémique et dynamique. Rev; Sci. Eau, 12 (1), 123-153.
- Andro, L . (2019). Modélisation hydrologique SWAT du bassin versant de la Charente du traitement des données au calage du modèle. Sciences de l'environnement. 2019. fahal-02609674f .31p
- Arnold, J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., Williams J.R. (1998). Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Modèle development. J. Am. Water Res. Assoc.34, 73–89;
- Aziz, A .(2009) .Hydrological modeling in a data-poor mediterranean catchment (Merguellil,Tunisia) Assesing scenarios of land management and climate. 228p
- Beven ,1989 in Abbas.M, 2015. Modélisation hydrologique de bassins versants périurbains et influence de l'occupation du sol et de la gestion des eaux pluviales. Doctorat. Spécialité Océan, Atmosphère, Hydrologie. Université de Grenoble. 389p
- Boudjedjou, L. (2010). Etude de la flore adventice des cultures de la région de Jijel. Mémoire de Magister spécialité Biologie et Physiologie Végétale. Université Ferhat-Abbas Sétif. 155p
- Boithias, L., 2011, Modélisation des transferts de pesticides à l'échelle des bassins versants en période de crue, Thèse de Doctorat, Université Toulouse III Paul Sabatier, 220 p.
- Bougherioune, Z., Toumi, M. (2018). Évaluation de la qualité des eaux de surfaces dans la partie aval d'oued Kébir (Jijel N. E Algérien). Master académique en

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Géologie Option Eau et Environnement. Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel .64p
- Bouraoui, F., Benabdallah, S., Jrad, A., Bidoglio, G. (2005). Application of the SWAT model on the Medjerda river basin (Tunisia). *Physics and chemistry of the earth* 30(2005) 497-507. 11p
 - Boutouatou, F. (2020). Les Barrages en exploitation dans l'est Algérien : fonctionnement hydrologique et aménagement. Etude de cas. Thèse de doctorat spécialité Hydrologie et gestion des hydrosystèmes. Université Frères Mentouri Constantine. 286p
 - Briak, H., Mrabet, R., Moussadek, R., & Aboumaria, K. (2019). Use of a calibrated SWAT model to evaluate the effects of agricultural BMPs on sediments of the Kalaya River basin (North of Morocco). *International Soil and Water Conservation Research*, 7(2), 176-183;
 - Chebli, S., Djamai, K. (2016). Qualité physicochimique des eaux du barrage de Béni Haroun et ses affluents (Wilaya de Mila, NE Algérien). Master Académique en Géologie Option Eau et Environnement. Université Mohammed Seddik Benyahia -Jijel. 116p
 - Claude, P. (2017). Théorie et pratique de la géotechnique, outils pour la conception des ouvrages Tome 1. 2eme édition
 - Dingman, S. (2002). Physical hydrology. 2 ème Edition
 - El-Hadef-El-Okki, M. (2016). Etude des relations Lumbricidae-élément traces métalliques en conditions naturelles et contrôlées. Thèse de doctorat option Pollution et Ecotoxicologie. Université Frère Mentouri Constantine. 272p
 - Ferrah, N. (2017). Simulation des écoulements mensuels par le modèle GR2M Cas du bassin de l'Isser. Master en Hydraulique option alimentation en eau potable. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. 60p
 - Furusho, C., (2011). Modélisation hydrologique des bassins versants périurbains. Thèse de doctorat. École centrale de Nantes .235p
 - Hingray, A, L 2009, in Labbas, M,2015. Modélisation hydrologique de bassins versants périurbains et influence de l'occupation du sol et de la gestion des eaux pluviales. Doctorat. Spécialité Océan, Atmosphère, Hydrologie. Université de Grenoble. 389p
 - Kessasra, F. (2017). Cours modélisation en hydrologie et hydrogéologie, université de Jijel

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Kouane, E, C, G. (2019). Application du modèle SWAT pour la modélisation de l'écoulement dans un bassin versant peu jauge en zone Soudano-Sahélienne (Burkina-Faso). Diplôme de master. Spécialité infrastructure et réseaux hydrauliques. Institut International d'Ingénierie Burkina-Faso. 95p
- Krika, A. (2014). Etude de la distribution des métaux lourds dans les ripisylves de l'oued Rhumel. Thèse de doctorat. Université Constantine1 ; 184p
- Kriot, N., Mezmaze, A. (2021). Variabilité de quelques paramètres biotiques et abiotiques dans les eaux du Kébir Rhumel. Mémoire de Master Spécialité Protection des écosystèmes. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila. 84p
- Maarouf, N. (2012). Etude de la qualité des eaux et de transport solide dans le barrage de Béni-Haroun (Mila), son impact sur l'environnement de la région. Thèse de doctorat spécialité sciences hydrauliques. Université Mohamed Khider Biskra. 242p
- Malago, A., Efstathiou, D., Baraoui, F., Nikolaos., Franchini, M., Bidoglio, G., Kristotakis, M. (2016). regional scale hydrologic modeling of a karst-dominant geomorphology: the case study of the island of crete, journal of hydrology 540(2016)64-81
- Mami, A., Raimonet, M., Yebdri, D., Sauvage, S., Zettam, A., & Sánchez-Pérez, J. M. (2021). Future climatic and hydrologic changes estimated by bias-adjusted regional climate model outputs of the Cordex-Africa project: case of the Tafna basin (North-Western Africa). *International Journal of Global Warming*, 23(1), 58-90;
- Manchar, N. (2021). Processus gravitaires et évaluation de la Stabilité des pentes : approche géomorphologique, géologique, et géotechnique- application dans le Constantinois. Thèse de doctorat. Spécialité géosciences marines. Université de Bretagne Occidentale. 217p
- Maxime, F. (2016). Contribution à un cadre de modélisation hydrologique des milieux humides des Basses-terres du Saint-Laurent : fonctionnement, dynamique et impacts en contexte de changement climatique. Thèse du grade de Philosophie. Spécialité sciences de l'eau. Université du Québec. 223p
- Mebarki, A. (1982). Le bassin du Kébir-Rhumel (Algérie). Hydrologie de surface et Aménagement des ressources en eau. Thèse doctorat de 3ème cycle. Université de Nancy II. 304p.
- Mebarki, A., Thomas, C. (1988) Mebarki, A., Thomas, C. (1988) Analyse des relations entre écoulements superficiels et souterrains à partir des hydrogrammes des cours d'eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Application au bassin du Kebir Rhumel dans le Constantinois (Algérie). *Hydro. Continent.*, 3, 2 : 89-103.
- Melghit, M. (2012). Qualité physico-chimique pollution organique et métallique des compartiments eau/sédiments de l'Oued Rhumel et des barrages Hammam Grouz et Beni Haroun. Diplôme de magister spécialité gestion des déchets. Université Mentouri Constantine. 175p.
 - Mosbahi, M., Benabdallah, S., Rached Boussema, M. (2012). Assesment of soil erosion risk using SWAT model, *Arab Journal Geosci* DOI 10.1007/s12517-012-0658-7
 - Neitsch, S, L., Arnold, J, G., Kiniry, J, R., Williams, J, R. (2005). "Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation, version 2005." *Grassland, Soil and Water Research Laboratory - Agricultural Research Service*. Blackland Research Center – Texas Agricultural Experiment Station. P. 494
 - Perrin, C. (2000). Vers une amélioration d'un modèle pluie-débit au travers d'une approche Comparative. Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR de l'INPG. Spécialité Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement ; amélioration d'un modèle global pluie-débit. Hydrologie. Institut National Polytechnique de Grenoble. 292p
 - Piens, B. (1970). Cour d'hydrologie ; chargé de cour à l'université de paris VI Hingray, B., Picouet, C., Musy, A. (2009) ; livre, *Hydrologie2 une science pour l'ingénieur*
 - Sahli, L. (2012). Etude du comportement de quelques espèces floristiques et faunistiques des écosystèmes aquatiques vis-à-vis des éléments traces métalliques par des bioessais Loglithostratigraphique. Thèse de doctorat. Université Frères Mentouri Constantine .286P
 - Sekheri, R., Meskine, A. (2020). Régionalisation des paramètres climatiques, cas du bassin versant Kébir-Rhumel, Nord-Est de l'Algérie. Mémoire de master spécialité hydraulique urbain. Université Abdelhafid Boussouf Mila .112p
 - Singh, V.P. (1995). Watershed modeling. In: Singh P.ed. *Computer models of watershed hydrology*. Colorado. USA. Water Resources Publications. Highlands Ranch. 1-22 p.
 - Todini, E. (1988). Rainfall-runoff modeling: past, present and future. *J of Hydrology*, 100 (1988) 341 r352. 12p

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Zaabat, R., Lecheheb, A. (2020). Caractérisation et classification géomécanique des massifs rocheux situés entre El Aouana et le Aftis wilaya de Jijel. Master académique en géologie spécialité géologie de l'ingénieur et géotechnique. Université Mohammed Seddik Benyahya Jijel ; 95p

Zettam, A., Taleb, A., Sauvage, S., Boithias, L., Belaidi, N., & Sánchez-Pérez, J. M. (2017). Modelling hydrology and sediment transport in a semi-arid and anthropized catchment using the SWAT model: The case of the Tafna river (northwest Algeria). *Water*, 9(3), 216

الملخص

الهدف من هذا العمل هو المحاكاة الهيدرولوجية وإنجاز الحوصلة المائية لحوض واد كبير الرمل (8824 كم²) الواقع في شمال شرق الجزائر باستخدام جميع البيانات المفتوحة المصدر و تطبيق النموذج البيئي المائي الزراعي سواط (أداة تقييم التربة و المياه). تم تنفيذ النمذجة على مدى 11 عام، بما في ذلك 6 سنوات للمعايرة وأربع سنوات للتحقق من الصحة. تم استخدام معامل التحديد (R²) ومعامل الكفاءة Nash-Sutcliffe (NSE) استخدام معامل التحديد لتقييم أداء النموذج. كانت المعاييرة والتحقق من الصحة مرضيين (يتراوح معدل R² بين 0.53 و 0.65 و يتراوح NSE بين 0.42 و 0.55)، وقد أتاحت النتائج التي تم الحصول عليها أولا و قبل كل شيء إنشاء و فهم توازن المياه بمقاييسه المكانية و الزمانية المختلفة التي متوسط هطول الأمطار السنوي فيها خلال الفترة التي تمت الدراسة فيها بين 513 و 1100 ملم في السنة، و الجريان السطحي من 10 إلى 153 ملم، و رطوبة التربة بين 48 إلى 154 ملم في السنة، و التبخر بين 1169 إلى 1362 ملم في السنة، والتدفق الذي يتراوح بين 0.3 م³/ثا إلى 26.1 م³/ثا .

الكلمات المفتاحية: النمذجة الهيدرولوجية، سواط، واد كبير الرمل، بيانات مفتوحة المصدر، شبه قاحل

Abstract:

The objective of this work is the hydrological modeling and the realization of the water balance of the Oued Kébir Rhumel watershed (8824 km²) located in the north-east of Algeria by using the open source data set and by applying the hydro-agro-environmental model SWAT (Soil and Water Assessment Tool) The modeling was performed over a period of 11 years, including 6 years for calibration and 4 years for validation. The coefficient of determination (R²), the Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) were used to evaluate the model performance. The calibration and validation were satisfactory (R² varies between 0.53 and 0.65 and NSE varies between 0.42 and 0.55), the results obtained allowed first of all to establish and understand the water balance at its different spatio-temporal scales of which the average annual precipitation during the study period varies between 513 and 1100 mm per year, the run off between 10 and 153mm, soil moisture between 48 and 154mm per year, potential evapotranspiration between 1169 and 1362mm/year, and the discharge which varies between 0.3m³/s and 26.1m³/s.

Key words: SWAT, hydrological modeling, Kébir Rhumel river, semi-arid, open-source data

Résumé

L'objectif de ce travail est la modélisation hydrologique et la réalisation du bilan hydrique du bassin versant Oued Kébir Rhumel (8824km²) situé dans le nord-est Algérien en utilisant l'ensemble des données open source et en appliquant le modèle hydro-agro environnemental SWAT (Soil and Water Assessment Tool). La modélisation a été réalisée sur une période de 11ans dont 6ans pour la calibration et 4ans pour la validation. Le coefficient de détermination (R²), l'efficacité de Nash-Sutcliffe (NSE) ont été utilisés pour évaluer les performances du modèle. La calibration et la validation ont été satisfaisante (R² varie entre 0.53 et 0,65 et NSE varie entre 0.42 et 0,55), les résultats obtenus ont permis tout d'abord d'établir et de comprendre le bilan hydrique à ses différentes échelles spatio-temporelles dont les précipitations annuelles moyennes durant la période d'étude varient entre 513 et 1100mm par an, le ruissellement de 10 à 153mm, humidité du sol entre 48 à 154 mm par an, évapotranspiration potentielle entre 1169 à 1362mm/an, et le débit qui varie entre 0.3m³/s à 26.1m³/s.

Mots clés : Modélisation hydrologique ; SWAT ; Oued Kébir Rhumel ; Semi-aride ; Données open source