

# **INFLUENCE DES DONNEES D'ENTREE DU MODELE SWAT SUR LA QUANTIFICATION DES PERTES EN SOL DANS UN BASSIN VERSANT SEMI ARIDE EN TUNISIE**

## **IMPACT OF SWAT INPUT DATA ON SOIL EROSION IN A SEMI-ARID CATCHMENT**

**Mosbahi M.** LTSIRS, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Tunis Belvédère, Tunisie

**Benabdallah S.** Centre de Recherches et de Technologies des Eaux ; BP. 273 Soliman, 8020 Tunisie, sihem.benabdallah@certe.rnrt.tn

**Boussema M.R.** LTSIRS, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Tunis Belvédère, Tunisie

**Résumé :** L'érosion hydrique est un phénomène complexe et largement répandu dans les pays semi-arides à cause de la nature torrentielle des pluies, leur variabilité spatiale, l'hétérogénéité des sols ainsi que l'impact défavorable des activités humaines. Devant l'aggravation des dégâts observés au cours de ces vingt dernières années, plusieurs modèles d'érosion ont été développés mais la nécessité de décrire l'hétérogénéité des systèmes naturels rend leur application difficile. L'objectif de ce travail vise étudier le modèle d'érosion hydrique SWAT, un modèle à base physique et distribué développé à l'USDA - Agricultural Research Service, sur le bassin versant de l'oued Sarrath localisé au nord-ouest de la Tunisie et couvrant une superficie de 1520km<sup>2</sup>. Un barrage est planifié sur ce bassin versant. L'application de ce modèle nécessite la préparation d'une banque de données spatiales renfermant le modèle numérique de terrain, les couches pédologique et occupation du sol et des données météorologiques journalières. Les simulations effectuées par le modèle se basent sur une discrétisation du bassin versant en unités de réponse hydrologique (URH) obtenues par la combinaison des couches cartographiques de sol, d'usage de sol et de la topographie. Provenant d'informations ponctuelles et spatialisées, l'ensemble des données d'entrée peut influencer la cohérence et la précision des résultats obtenues par modélisation. Ainsi, on s'intéresse dans cet article à évaluer l'impact de deux paramètres clé sur les simulations des pertes en sols. Il s'agit du nombre et de l'emplacement des URH ainsi que la variabilité spatiale de la pluviométrie dans le bassin versant étudié. L'étude du premier paramètre consiste à changer le mode de discrétisation en sous bassins et en URH ce qui induit une influence sur les longueurs des cours d'eau, la variation du temps de concentration et par conséquent sur le calcul de l'apport en sédiment. Quant à la pluviométrie, on montre que l'usage de différents scénarios de répartition de postes pluviométriques sur la détermination des pertes en sol.

**Mots clés :** SWAT, érosion, données d'entrée

**Abstract :** Erosion is a complex and largely widespread phenomenon in the semi-

arid countries because of the torrential nature of its rain, their spatial heterogeneity of soils as well as the impact of the human activities. In front of the aggravation observed during the twenty last years, several models of erosion were developed but the need for describing the heterogeneity natural systems makes their application difficult. The main objective of this work aims to study the model of erosion SWAT, a physically based and distributed model developed by the USDA - Agricultural Research Service, applied to the Sarrath Wadi located in the North-West of Tunisia over an area of 1520km<sup>2</sup>. A dam is planned on this catchment. Application of this model requires the preparation of a database containing the digital elevation model, the soil and land occupation layers along with daily weather data. The simulations carried out by the model are based on subdividing the catchment area in units of hydrological response (HRUs) obtained by the combination of the different prepared cartographic layers. The input data can influence the coherence and the precision of the results obtained by modelling. Thus, we are interested in this article to evaluate the impact of two key input parameters on simulation of the sediment yield. These are the number of HRUs as well as the spatial variability of rainfall. The study of the first parameter consists in changing the mode of dividing the area into sub-basins and HRUs which induced an influence on the lengths of the water courses, on the variation of time of concentration and consequently on sediment yields. As for rainfall, we showed that the use of various scenarios of rain gages distribution influenced the determination of the soil losses.

**Keywords:** SWAT, erosion, input data

## INTRODUCTION

Depuis plusieurs dizaines d'années, les zones rurales notamment les terres agricoles en contexte aride et semi-aride de la Tunisie ont commencé à poser de vraies problématiques hydrologiques. L'érosion hydrique reste le processus le plus menaçant dans la dégradation des sols. Selon les études de la FAO, 45% de la superficie totale du pays est menacée par l'érosion (Boussema, 1996). Les conséquences de l'érosion sont désastreuses et spectaculaires offrant un paysage nu sillonné par un ravinement intense particulièrement dans les hautes terres à réseau d'écoulement dense.

Compte tenu de la complexité de ce phénomène naturel dans le bassin versant de l'Oued Sarrath au Nord-Ouest de la Tunisie, liée à une importante hétérogénéité des sols, à un couvert végétal épars et par endroit inexistant et à une pluviométrie mal répartie aussi bien dans l'espace que dans le temps, on a essayé d'y appliquer un modèle d'érosion hydrique distribué, il s'agit du modèle SWAT acronyme du Soil and Water Assessment Tool (Arnold et al, 1993, 1998).

Provenant d'informations ponctuelles et spatialisées, l'ensemble des données de départ peut influencer la cohérence et la précision des résultats obtenues par modélisation. Ainsi, on s'intéresse dans cet article à évaluer l'impact de deux paramètres d'entrée clé sur les simulations des pertes en sols. Il s'agit du

nombre et de l'emplacement des URH ainsi que la variabilité spatiale de la pluviométrie dans le bassin versant étudié.

## MATERIEL ET METHODES

### Site d'étude

Le modèle SWAT est mis en œuvre sur un bassin versant semi-aride. Il s'agit du bassin versant de l'oued Sarrath qui occupe une situation particulière en Tunisie sur le versant nord de la chaîne dorsale, coïncé entre le bassin versant de la Medjerda au Nord et celui de l'Oued Zeroud au Sud. S'étendant sur 1520 km<sup>2</sup>, il est drainé par l'oued Sarrath qui prend sa source en Algérie au Djebel Khouif (Fig 1). Il se trouve à une altitude comprise entre 573 m et 1350 m avec un relief assez fort.

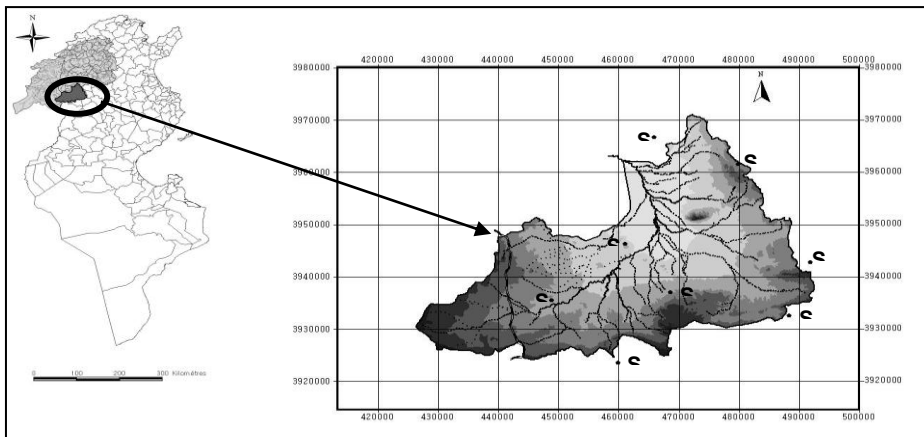


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude est située dans l'étage bioclimatique semi-aride supérieur constituant ainsi une des régions les plus méridionales. Les normales climatiques de 1995 à 2003 de 8 stations pluviométriques situées à l'intérieur et à la périphérie du bassin étudié indiquent des précipitations moyennes annuelles allant de 259 mm à 594 mm avec une extrême variabilité annuelle et interannuelle, une température moyenne annuelle de 16°C avec un maximum durant le mois de Août qui peut atteindre 39°C et un minimum de -0.3°C pendant le mois de Janvier.

Le bassin versant de l'Oued Sarrath est dénudé en plusieurs parties. Le couvert végétal qu'on y rencontre se réduit à quelques forêts très dégradées et aux broussailles relativement denses sur les hauteurs et les collines. Les cultures céréalières représentent 32 % de la superficie totale du bassin versant. L'arboriculture n'est représentée que par quelques plantations éparses d'oliviers et de pommiers qui couvrent de faibles superficies. La répartition des différentes

entités pédologiques montre que le paysage du bassin versant est dominé simultanément par les sols bruns calcaires (33 %), les complexes de sols (30 %) et les sols peu évolués (29 %).

### **Présentation du modèle SWAT et données de base**

C'est un modèle à base physique, distribué qui fonctionne sur une base continue avec un pas de temps journalier. Il a été développé à l'USDA Agricultural Research Service permettant de prédire l'effet des pratiques de gestion alternative sur la production de sédiments et d'éléments nutritifs avec une précision raisonnables sur des bassins versants ruraux non jaugés sur la qualité des eaux, charges polluantes et la production des sédiments sur des bassins versants ruraux (Srinivasan et al, 1998).

Le bassin versant est discrétisé en sous bassins contenant chacun un bief principal. A l'intérieur des sous bassins, une combinaison unique d'occupations de territoire, de pratiques culturales et de types et de propriétés de sol forme des unités homogènes de calcul nommées Unités de Réponse Hydrologique (URH). C'est à cette échelle spatiale que sont calculés les bilans en eau, en sédiments et en nutriments. Les apports de chacune de ces URH se sont ensuite acheminés au bief principal.

Les processus actifs dans le sol sont l'infiltration, l'évapotranspiration, le prélèvement par les végétaux, l'écoulement latérale et l'écoulement vers des horizons inférieurs. Le ruissellement quotidien est modélisé à partir de la méthode de Curve Number (CN) du Soil Conservation Service développée par l'United States Department of Agriculture (USDA). Les pertes en sol sont estimées en adoptant l'équation universelle de pertes en sol modifiée (MUSLE) qui fait intervenir le ruissellement de surface, le débit de pointe, le volume d'eau ruisselé ainsi que les facteurs de l'USLE de la topographie, d'érodabilité, de la végétation et de la gestion du sol ainsi que le facteur des pratiques de conservation du sol.

Pour modéliser les mouvements d'eau, de sédiments et d'éléments nutritifs dans un bassin versant SWAT requiert la superposition spatiale de plusieurs couches d'information incluant les propriétés des sols, la topographie, l'utilisation du sol, les pratiques culturales de même que les conditions météorologiques qui prévalent dans le bassin.

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la zone d'étude a d'abord été réalisé à partir des cartes topographiques au 1/50000<sup>ème</sup>. Quant à la cartographie des sols et de l'occupation des sols, elle a été réalisée à partir des cartes agricoles numérisées également à l'échelle 1/50000<sup>ème</sup> grâce à des images satellitaires (Landsat M et Spot) et qu'on les a traité par le SIG Arcview afin d'uniformiser la nomenclature et fusionner les polygones d'information.

Comme nous l'avons signalé, l'objectif majeur de la présente étude est d'évaluer l'impact du changement de la taille de l'URH d'une part et la variabilité spatiale de la pluviométrie d'autre part sur les résultats de simulation des pertes en sol.

La méthodologie adoptée pour l'étude du premier paramètre consiste à créer une série de subdivisions du bassin versant chacune avec un nombre différent de sous

bassins et de URH et par la suite, voir leur influence sur le calcul de l'apport en sédiment.

Quant à la pluviométrie, notre approche méthodologique s'appuie sur l'usage de différents scénarios de répartitions des postes pluviométriques sur le bassin en question et l'étude de leur impact sur les résultats de simulation de l'érosion.

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

Bien que les simulations soient effectuées avec un pas de temps journalier sur la période 1995-2003, on s'est restreint dans cet article à présenter seulement les simulations d'une année sèche (1995) et d'une année humide (2003).

### Impact du mode de discrétisation du bassin versant sur les pertes en sols

Le bassin versant de l'Oued Sarrath a été subdivisé en six différents modes de discrétisation : 3, 7, 11, 33, 53 et 99 sous bassins, chaque sous bassins est à son tour subdivisé en plusieurs URH. La figure 2 récapitule les différents types de découpage ainsi que la moyenne des pertes en sols sur la période de simulation.

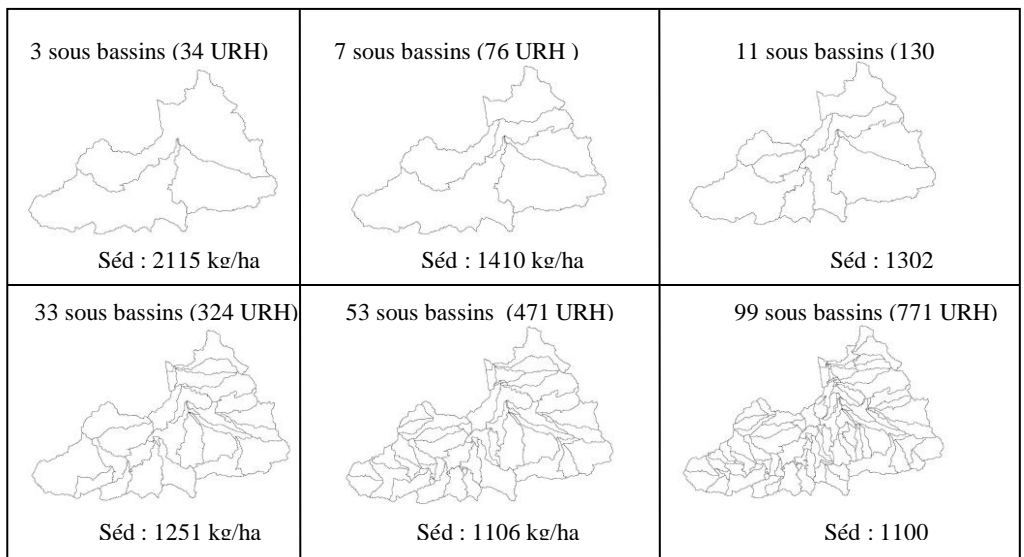


Fig. 2. Différents modes de discrétisation en URH

En changeant le mode de discrétisation du bassin versant, le nombre et la taille des URH sont affectés. De même, les longueurs du cours d'eau sont influencées par ce changement ce qui induit des variations sur le temps de concentration aboutissant à une modification de l'apport calculé en sédiment.

L'augmentation de la superficie des URH fait diminuer le temps de concentration et par conséquent augmente l'apport en sédiment. Par exemple, la division du bassin en 3 sous bassins (34 URH), engendre un apport total en

sédiments de l'ordre de 2115kg/ha, en affinant ce découpage à 99 sous bassins (771 URH), le taux de sédiment diminue jusqu'à 1100kg/ha.

Par ailleurs, le découpage en plusieurs sous bassins, permet de mieux cerner les zones qui contribuent le plus à l'apport en sol ce qui peut aider l'aménagiste à mieux planifier les ouvrages de conservation des eaux et des sols surtout que ce bassin versant fait l'objet d'un futur barrage.

### **Impact de la variabilité spatiale de la pluviométrie sur les résultats du modèle**

La pluviométrie, caractérisée par sa grande variabilité spatiale surtout dans les pays semi-arides, est un paramètre clé du modèle SWAT. Pour évaluer l'influence de ce paramètre sur les résultats de simulation, 4 scénarios de répartitions spatiales de stations pluviométriques ont été mis en jeu. Le premier scénario consiste à utiliser une seule station représentative située au centre du bassin (S2). Pour le second scénario, 3 stations ont été choisies suivant la ligne du cours d'eau (S1, S2 et S5), quand au troisième scénario, on a essayé d'utiliser 5 stations pluviométriques qui sont bien réparties (S1 à S5). Finalement, le dernier scénario consiste à ajouter à ces 5 stations 3 stations périphériques (S6 à S8) (fig. 1). La pluviométrie moyenne annuelle calculée pour chaque scénario par la méthode de Thiessen est présentée par tableau 1.

Tableau 1. Pluviométrie moyenne annuelle pour chaque scénario

Années	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
1995	608	474	407	396
1996	632	502	387	383
1997	640	524	434	427
1998	509	419	354	341
1999	582	465	411	404
2000	464	359	266	267
2001	360	295	271	260
2002	597	453	356	351
2003	915	799	742	729
Moyenne	590	477	403	395

Comme il est présenté par le tableau 1, l'utilisation de différentes combinaisons de postes pluviométriques a une grande influence sur la pluviométrie annuelle, ainsi on observe une différence de l'ordre de 33 % entre le scénario 1 et le scénario 4.

Les figures 3 et 4 représentent respectivement la réponse du modèle d'érosion pour les années 1995 et 2003. Pour l'année 1995, le maximum de l'apport en sol simulé est obtenu pour le mois de Septembre avec une valeur de 16.3 g/l pour le premier scénario en utilisant seulement la station pluviométrique S2. Cette valeur diminue respectivement pour le deuxième et le troisième scénario

(avec 3 et 5 stations pluviométriques) à 12,4g/l puis à 8,9g/l. En ajoutant des postes périphériques (scénario 4), le taux de pertes en sols est presque invariable.

Les simulations des pertes en sol pour l'année 2003 confirment les mêmes résultats trouvés pour l'année 1995 mais cette fois la différence entre les scénarios n'est pas très prononcée vu l'humidité de cette année, par exemple le pic majeur d'Avril 2003 est de 12,7g/l pour le premier scénario, il diminue légèrement à 11.1g/l puis à 9,9g/l respectivement pour les scénarios 2 et 3. En faite, chaque fois qu'on ajoute des stations, les pertes en sols diminuent jusqu'au troisième scénario. Le nombre de stations peut donc influencer les taux de pertes en sol jusqu'à une certaine limite. L'ajout des stations périphériques n'a pas trop influencé les résultats vu que la bonne répartition spatiale des stations pluviométriques est atteinte dès le troisième scénario.

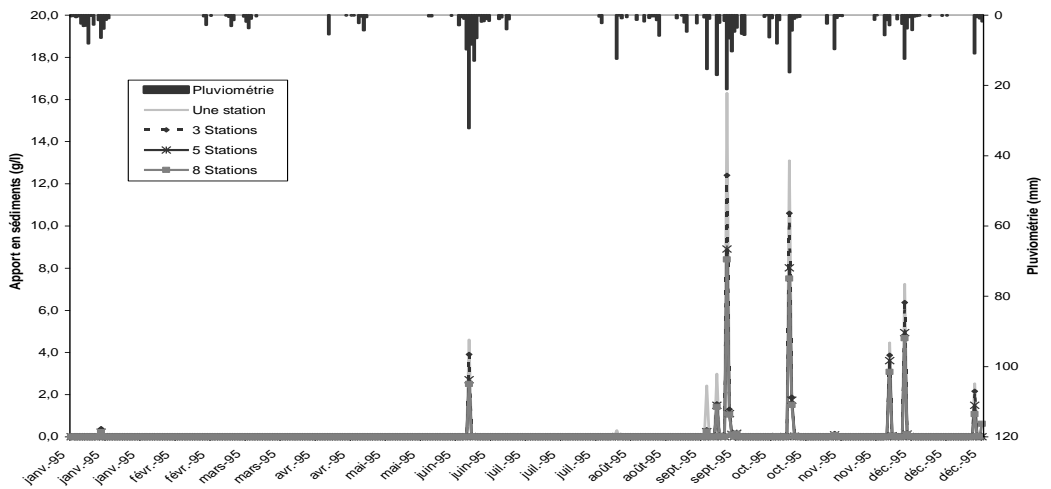


Fig. 3. Apport en sédiment journalier pour l'année 1995

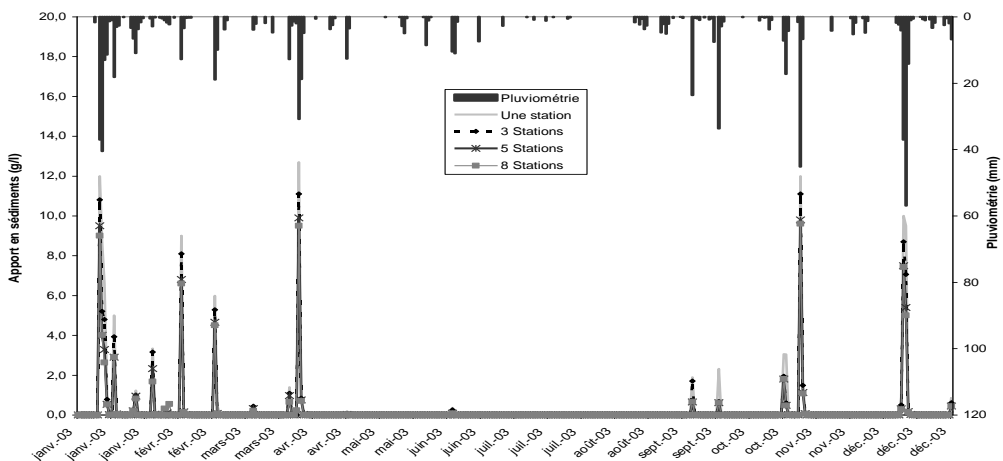


Fig. 4. Apport en sédiment journalier pour l'année 2003

## CONCLUSIONS

Les résultats de simulation des sédiments dans le bassin versant de l'Oued Sarrath montrent que la structure du modèle SWAT joue un rôle crucial dans sa réponse vis à vis la discrétisation spatiale. Le nombre et la taille des URH influencent le temps de concentration et par conséquent l'apport calculé en sédiment. Ainsi, le taux de perte en sol varie dans le même sens que la taille des URH et cette variation peut atteindre 50% en changeant le mode de discrétisation du bassin versant de 3 sous bassins à 99 sous bassins.

Le second paramètre qu'on a étudié dans cet article est la pluviométrie, sa variabilité spatiale au sein d'un même bassin versant est un problème majeur dans la simulation des pertes en sol dans un bassin semi-aride. En faite, l'augmentation du nombre des postes pluviométrique sans considération de leur répartition spatiale dans le bassin n'est pas suffisant, l'utilisation de 5 stations pluviométrique bien réparties dans le bassin (scénario 3) a donné presque le même résultat que l'utilisation de 8 stations pluviométriques (scénario 4). Par ailleurs la différence entre les scénarios est très accentuée dans cas de l'année hydrologique sèche (1995).

L'emplacement des stations pluviométriques dans le bassin versant est un paramètre qui doit porter préjudice vu son importance majeure dans la modélisation des sédiments et plus particulièrement dans les pays semi-arides.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arnold, J.G., Allen P.M., Bernhardt G., 1993 *A comprehensive surface-groundwater flow model*. Journal of Hydrology 14, pp 47-69.
- Arnold, J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., Williams J.R., 1998 *Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development*. Journal of the American Water Resources Association 34 (1), pp 73-89.
- Boussema, M.R., 1996 *Système d'information pour la conservation et la gestion des ressources naturelles*. Colloque international sur le rôle des technologies de télécommunications et de l'information en matière de protection de l'environnement, Tunis, Tunisie, 17-19 Avril 1996, pp 112-116.
- Srinivasan, R., Ramanarayanan, T.S., Arnold, J.G., Bednarz, S.T., 1998 *Large area hydrologic modeling and assessment. Part II: Model application*. Journal of American Water Resources Association 34 (1), pp 91-101.