

**EVALUATION DES RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES DANS UN
HYDROSYSTEME COMPLEXE PAR L'UTILISATION DU MODELE SWAT :
APPLICATION AU BASSIN VERSANT DE LA TAFNA**

**ASSESSMENT OF THE SURFACE WATER RESOURCES IN A COMPLEX
WATER SYSTEM USING SWAT MODEL: CASE STUDY TAFNA BASIN.**

YEBDRI Djilali, Laboratoire de l'hydrologie et des ressources en eau « Hydre » Département d'Hydraulique, USTO-MB, B.P.1505 El-M'Nouar, Oran: dyebdri@yahoo.fr

TIDJANI Abdellatif El-Bari, Laboratoire de l'hydrologie et des ressources en eau « Hydre » Département d'Hydraulique, USTO-MB, B.P.1505 El-M'Nouar, Oran: baritid@yahoo.com

ERRIH Mohamed, Laboratoire de l'hydrologie et des ressources en eau « Hydre » Département d'Hydraulique, USTO-MB, B.P.1505 El-M'Nouar, Oran: errih51@yahoo.fr

HAMLAT Abdelkader, Laboratoire de l'hydrologie et des ressources en eau « Hydre » Département d'Hydraulique, USTO-MB, B.P.1505 El-M'Nouar, Oran: hamlat2002dz@yahoo.fr

Résumé : Evaluer les ressources en eau superficielle d'un bassin versant, aussi bien dans son aspect quantitatif que qualitatif, exige qu'une certaine méthodologie soit appliquée. Cette méthodologie doit déterminer la disponibilité spatiale et temporelle de la ressource en eau, et tenir compte des caractéristiques aléatoires des paramètres hydrologiques. C'est ainsi, qu'en plus de la méthodologie classique de régionalisation, la modélisation hydrologique jouent un rôle important dans l'évaluation des ressources en eau. Le bassin de la Tafna d'une importante superficie de 7245 km² à l'exutoire représente l'hydrosystème complexe et le réservoir tampon de l'Ouest algérien. Le modèle SWAT a été appliqué dans le souci d'évaluer la ressource en eau superficielle du bassin et d'établir un bilan hydrologique permettant aux décideurs de connaître la disponibilité temporelle et spatiale de la ressource en eau afin qu'elle soit gérée d'une manière efficace et durable d'une part, et de présenter les capacités d'adaptation du modèle SWAT d'autre part.

A partir des résultats obtenus, il ressort que le modèle reproduit et génère efficacement les paramètres climatiques et assure une meilleure détermination permettant une estimation temporelle et spatiale de la ressource en eau superficielle dans le bassin.

Mots clés : Bassin versant, gestion, ressource en eau, modélisation hydrologique, modèle SWAT, Tafna, bilan hydrique

Abstract: To assess the surface water resources of a watershed, as well in its quantitative aspect as qualitative, requires the use of a certain methodology. This methodology must determine the space and temporal availability of the water resource, by taking account of the random characteristics of the hydrological parameters. It's thus, which in addition to the traditional methodology of regionalization, hydrological modelling occupies a significant place in the assessment of the water resources. The basin of Tafna, with significant surface of 7245 km², represents the complex water system and the most potential source of water of Western Algeria. SWAT model was applied with the aim of

assess the surface water resources in this watershed and to establish its water balance making it possible to the decision makers to know the temporal and space availability of the water resource so that it is managed in an effective and durable manner on the first step. To have the capacities of adaptation of SWAT model on the second step.

From the results obtained, it arises that the model reproduced and generates the climatic parameters effectively and ensures a better temporal and space assessment of the surface water resource in the basin.

Key words: Watershed, management, resource water, hydrological modelling, SWAT model, Tafna, water balance

INTRODUCTION

L'eau représente une des ressources naturelles primaires et la plus valable que la nature peut offrir. Rendre cette eau disponible en quantité et en qualité aux différents usages et aux différentes générations exige une connaissance, une évaluation et une gestion parfaites de cette ressource. A cet effet, il devient indispensable de préciser les lois et les modèles mathématiques, en relation avec les données hydrologiques disponibles, utilisés pour cette évaluation.

Le modèle SWAT (Soil and Water Assesment Tool), est l'un des modèles hydrologiques distribués les plus répandus. Il permet d'évaluer la ressource en eau dans un bassin versant d'une part, de déterminer l'impact relatif de chaque scénario que ce soit climatique ou économique, et de gérer la ressource en eau à l'intérieur du bassin d'autre part. Ce modèle américain a été appliqué à de très nombreux site à travers le monde entier. Il a été largement utilisé aux Etats-Unis et dans certains pays européens, telle que le bassin de Motueka, de 2075 Km², à la Nouvelle Zélande (Wenzi et al., 2003), le bassin Alban Hills, de 1000 km², centre de l'Italie (Eugenio et al., 2003), et le bassin de Celone Creek de 24702 Km² en Italie (Guiseppe et al., 2003). Il a été conçu pour de grands bassins versants allant de quelques centaines à plusieurs milliers de km².

Le modèle SWAT a été appliqué au bassin versant de la Tafna qui constitue le réservoir potentiel des ressources en eau de surface de toute la région Ouest de l'Algérie. Ce bassin a connu un effort d'investissement en ouvrages assez important et commence à faire l'objet d'études détaillées de son bilan hydrique. Le modèle a été appliqué, au bassin, dans le souci d'établir un bilan hydrologique permettant aux décideurs de connaître la disponibilité temporelle et spatiale de la ressource en eau afin de la gérer d'une manière efficace et durable.

METHODOLOGIE

Description du modèle SWAT

L'outil de modélisation retenu dans cette étude est le modèle SWAT, développé par l'USDA (United State Department of Agriculture). Le modèle a été développé pour prévoir l'impact des procédures de gestion des terres sur l'eau, les sédiments et le rendement chimique de l'agriculture dans des grands bassins versants, avec une utilisation des terres dans des conditions de gestion variables et sur de longues périodes (Arnold *et al.*, 1998; Neitsch *et al.*, 1999; Neitsch *et al.*, 2001 ; Neitsch *et al.*, 2002). Ce modèle agro-hydrologique a été appliqué pour la première fois, par Jeff Arnold, en 1994,

et se trouve toujours en développement et en amélioration aujourd'hui (Neitsch et al. 2002). Sa mise en œuvre nécessite une importante base de données : des séries temporelles et spatiales de données météorologiques et hydropluviométriques, des débits, la configuration du bassin versant et des cours d'eaux, les informations sur les modes d'utilisation des terres ainsi que leurs périodes et les propriétés des sols les constituant, la géométrie des aquifères, les données de la qualité de l'eau, la nature et la composition des engrais et des pesticides utilisés.

Le cycle hydrologique simulé par ce modèle se base sur l'équation suivante (Arnold *et al.*, 1998):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{perc} - Q_{gw}) \quad (1)$$

avec :

S_{wt} : la teneur en eau finale dans le sol (mm H₂O) ;

S_{w0} : la teneur en eau initiale dans le sol le jour i (mm H₂O) ;

t : le temps (jours) ;

R_{day} : la précipitation le jour i (mm H₂O) ;

Q_{surf} : l'écoulement superficiel le jour i (millimètre H₂O) ;

E_a : l'évapotranspiration le jour i (mm H₂O) ;

W_{perc} : l'infiltration dans la zone vadose du sol le jour i (mm H₂O) ;

Q_{gw} : l'écoulement de retour le jour i (mm H₂O).

Le modèle opère à l'échelle journalière. Son utilisation nécessite la disponibilité des précipitations à cette même échelle. Dans le cas où elles sont inexistantes le modèle utilise un générateur de climat afin de produire les données climatiques nécessaires à l'application. Ce générateur se base sur les chaînes de Markov du premier ordre, et permet de générer les précipitations, les températures maximales et minimales de l'air, la vitesse du vent, l'humidité relative et les radiations solaires à l'échelle journalière.

Ce modèle détermine l'écoulement superficiel par la méthode américaine du " Curve Number " du service de conservation de l'USDA tenant compte de la nature du sol et de son utilisation (Arnold *et al.*, 1998).

Parmi les nombreuses méthodes développées pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle, le modèle SWAT utilise les trois suivantes à savoir celle de Penman-Monteith, de Priestley-Taylor et de Hargreaves (Neitsch *et al.* 2002). Ces trois méthodes se distinguent dans le type de données nécessaires à l'évaluation de ce paramètre. La méthode de Penman-Monteith exige le rayonnement solaire, la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse du vent. La méthode de Priestley-Taylor exige le rayonnement solaire, la température de l'air et l'humidité relative. Quant à la méthode de Hargreaves exige uniquement la température de l'air (Neitsch *et al.* 2002).

Le bilan hydrique du bassin sera influencé par le bilan de l'eau dans le réservoir déterminé par (Neitsch *et al.* 2002):

$$V = V_{stored} + V_{flowin} - V_{flowout} + V_{pcp} - V_{evap} - V_{seep} \quad (2)$$

Où :

- V : volume de l'eau dans le réservoir à la fin de la journée ($m^3 H_2O$) ;
- V_{Stored} : volume de l'eau stocké dans le réservoir au début de la journée ($m^3 H_2O$) ;
- V_{flowin} : volume d'eau entrant le réservoir pendant la journée ($m^3 H_2O$) ;
- $V_{flowout}$: volume d'eau sortant du réservoir pendant la journée ($m^3 H_2O$) ;
- V_{pcp} : volume de précipitation tombant sur la surface d'eau du réservoir pendant la journée ($m^3 H_2O$) ;
- V_{evap} : volume d'eau évaporée du réservoir pendant la journée ($m^3 H_2O$) ;
- V_{seep} : volume de l'eau perdu du réservoir par infiltration ($m^3 H_2O$).

Description du bassin étudié

Le bassin en question dans cette étude est celui de la Tafna d'une superficie de 7245 km² à l'exutoire. C'est un bassin transfrontalier, débordant d'un tiers de sa superficie sur le territoire marocain. Il est délimité par le principal relief des Monts de Tlemcen au Sud, entre la Méditerranée et les hautes plaines oranaises, et relayé à l'Ouest par le moyen Atlas marocain, et à l'Est par les Monts de Daïa (Saida). Il est formé par une barrière montagneuse au sud (800-1400m d'altitude) axée WSW-ENE, dominant largement au Nord, les régions des plaines de Maghnia, de Hennaya et de Sidi-Abdelli (Fig. 1) (Hamlat, 2005).

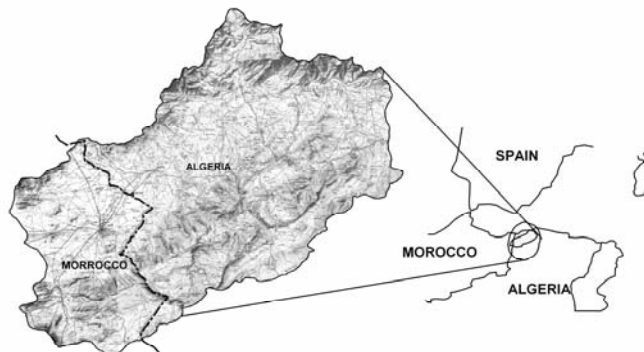


Fig. 1. Présentation du bassin de la Tafna

Ce bassin représente le réservoir tampon de l'Ouest algérien, étant donné qu'il alimente les villes d'Oran, de Sidi Bel Abbés et de Tlemcen, et que l'irrigation des larges périmètres aux alentours en est dépendante. C'est un important et complexe hydrosystème, contrôlé hydrologiquement par plusieurs stations uniformément réparties, et comportant cinq grands réservoirs en plus des importants périmètres irrigués.

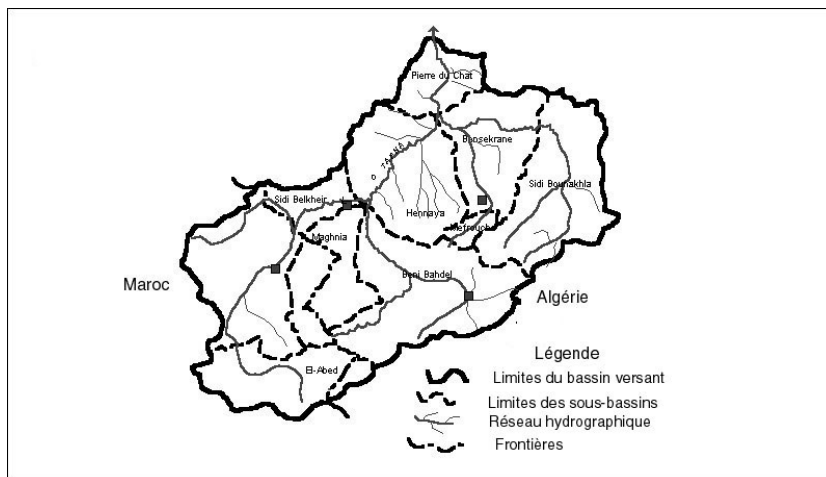


Fig. 2. Représentation des sous bassin de la Tafna

Le bassin est irrégulièrement arrosé avec une précipitation moyenne annuelle de 394.3mm avec des maxima mensuels de 45mm en novembre-décembre et de 54mm en février et mars, et un minimum de 1 à 2mm en juillet (Hamlat, 2005 ; Dakiche, 2005).

Modélisation du bassin de la TAFNA

L'application du modèle SWAT nécessite une banque de données afin qu'on puisse le caler ou calibrer et l'exploiter. C'est ainsi qu'une importante banque de donnée a été mobilisée pour le bassin de la Tafna à travers les différentes organismes concernés tels que l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH), l'agence nationale des barrages (ANB), l'office nationale de la météorologie (ONM), l'algérienne des eaux (ADE) et la direction des services agricoles (DSA).

La modélisation du bassin a été effectuée en considérant neuf (09) sous bassins et les cinq grands barrages existants à savoir ceux de Béni-Bahdel en 1952, d'El-Mefrouche en 1963, de Sidi-Abdelli en 1990, de Hammam Boughrara en 2000 et celui de Sikkak qui vient d'être achevé et qui s'exploite depuis 2005.

Application du modèle SWAT

Calage du modèle

Pour cette application du modèle SWAT, pour la première fois en Algérie dans une zone semi-aride, et afin qu'il puisse être exploité, il faut le caler. Pour ceci les résultats obtenus des précipitations, à l'échelle mensuelle et annuelle, pour le bassin et ses sous bassins ont été comparés aux valeurs mesurées (Tableau 1, et Fig. 3).

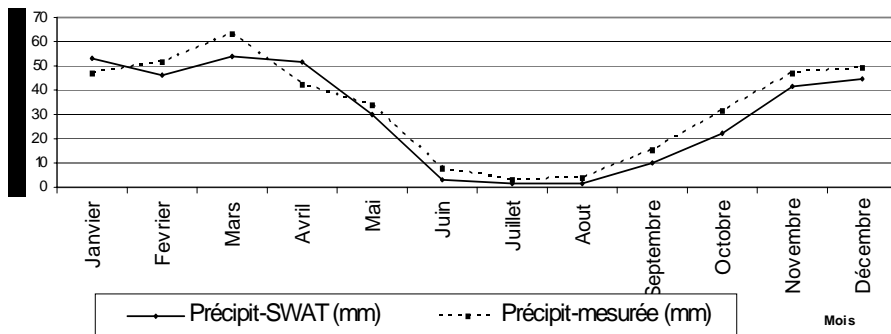


Fig. 3. La variation des précipitations moyennes mensuelles sur le bassin de la Tafna (Valeurs simulées et observées).

Tableau 1. Les précipitations mensuelles des sous bassins de la Tafna

<i>Sous bassin</i>	<i>Station hydrométrique</i>	<i>Précipitation observée</i>	<i>Précipitation simulée par SWAT</i>
<i>Sous bassin 1</i>	Elabed	308.95	315.863
<i>Sous bassin 2</i>	Sidi belkheir	260.34	283.060
<i>Sous bassin 3</i>	Maghnia	288.96	310.855
<i>Sous bassin 4</i>	Beni Bahdel Bge	452.50	483.859
<i>Sous bassin 5</i>	Hennaya	396.65	386.612
<i>Sous bassin 6</i>	Sidi bounakhla	345.62	342.029
<i>Sous bassin 7</i>	Mefrouche Bge	643.22	657.223
<i>Sous bassin 8</i>	Bensakrane	390.75	381.255
<i>Sous bassin 9</i>	Pierre du chat	320.85	328.359

Les résultats obtenus, pour les précipitations mensuelles et pour les différentes stations utilisées, étaient comparés aux valeurs mesurées et ont permis d'avoir la figure suivante (Fig. 4) pour la station de Béni-Bahdel, par exemple, (sous bassin 4).

Les valeurs simulées par le modèle SWAT pour les précipitations à l'échelle mensuelle pour le bassin et ses sous bassins sont proches des valeurs observés, ce qui permet de dire que le modèle a été bien calé pour le bassin de la Tafna.

Résultats :

Le modèle SWAT étant calé, il a été utilisé pour évaluer les potentialités hydriques du bassin étudié. Pour ceci les principaux paramètres intervenant dans le bilan hydrique ont été analysés par le modèle et les résultats suivants ont été obtenus.

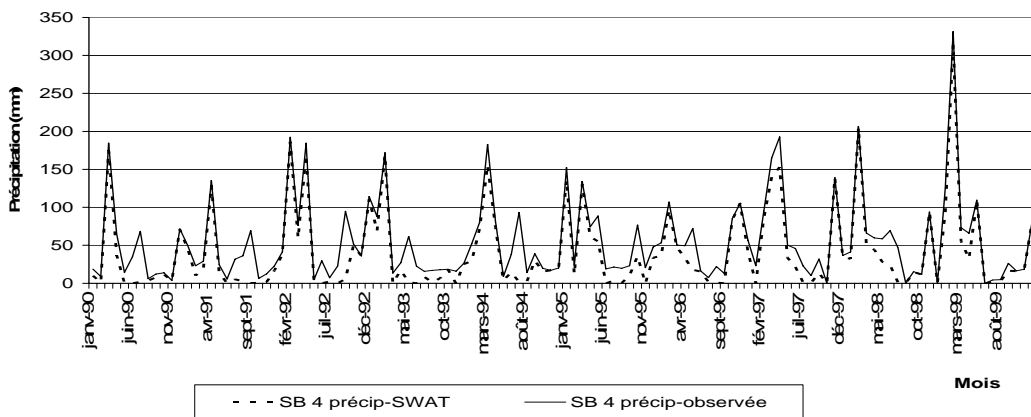


Fig. 4. Les précipitations moyennes mensuelles sur le sous bassin 4 de la Tafna (Station de Béni-Bahdel : valeurs simulées et observées).

◆ *L'évapotranspiration potentielle*

Rappelons que le modèle permet de calculer l'évapotranspiration potentielle par les trois méthodes déjà citées à savoir celle de Penman-Monteith, de Priestley-Taylor et de Hargreaves. Les résultats obtenus pour ce paramètre ont été comparés aux valeurs mesurées. C'est ainsi que, la Fig. 5 présente cette simulation au niveau de la station de Béni Bahdel (sous bassin 4).

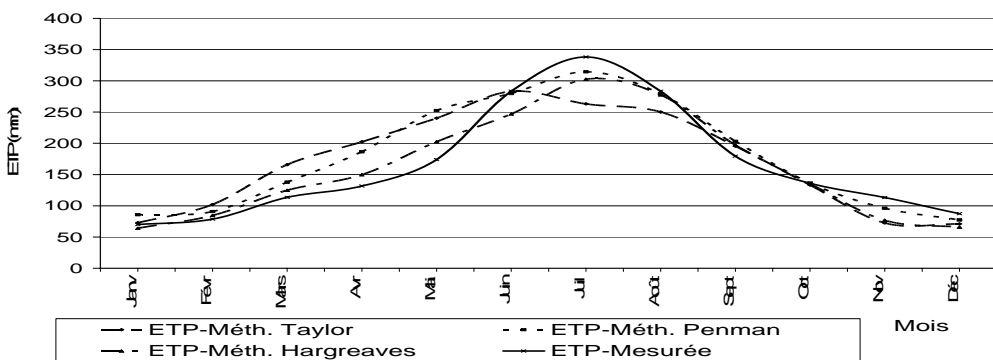


Fig. 5 : Variation de l'évapotranspiration potentielle par les trois méthodes (Station de Béni-Bahdel : valeurs simulées et mesurées).

Cette figure montre la bonne simulation des trois méthodes, intégrées au modèle SWAT, de ce paramètre du bilan hydrologique et en particulier la méthode de Hargreaves dont les résultats reproduisent assez bien la réalité du phénomène.

✦ *L'écoulement superficiel*

L'écoulement superficiel a été calé pour chaque sous bassin en ajustant son "Curve Number" jusqu'à ce que les valeurs simulées de la lame ruisselée (représenté par la variable SURQ), soient proches des valeurs réelles observées. Les valeurs simulées et observées de l'écoulement superficiel et de l'apport résultant sont regroupées dans le tableau 2.

Tableau 2. L'écoulement superficiel et les apports du bassin de la Tafna et de ses sous bassins (valeurs simulées et mesurées annuelles).

Sous Bassin	SURQ simulé (mm)	SURQ Observé (mm)	Apport Calculé (10 ⁶ m ³)	Apport observé (10 ⁶ m ³)
01	29.657	28.29	20.992	20.025
02	31.024	28.02	20.110	18.163
03	26.153	27.8	33.916	36.053
04	49.712	47.53	64.650	61.812
05	37.803	37.75	36.891	36.840
06	46.656	44.4	51.717	49.217
07	158.558	137.2	14.221	12.306
08	38.993	40	29.055	29.806
09	38.397	37.4	14.298	13.927
Bassin entier	39.46	34.7	285,887	278.148

C'est ainsi que le tableau 3 nous montre la variation des paramètres du bilan hydrologique à l'échelle annuelle pour les neuf sous bassins.

Tableau 3. Les principaux éléments du bilan hydrologique des sous bassins de la Tafna (valeurs moyennes annuelles).

Sous Bassin	Surface (KM ²)	PREC (mm)	SURQ (mm)	ETR (mm)	ETP (mm)
1	707.836	334.342	28.008	318.498	2054.815
2	648.21	300.375	27.22	281.691	2070.551
3	1296.855	329.789	25.656	314.874	2041.261
4	1300.478	521.064	49.293	452.387	2048.455
5	975.901	410.368	36.245	385.954	2102.837
6	1108.485	389.308	45.13	352.646	2105.167
7	89.693	704.127	138.629	476.158	2017.831
8	745.148	406.296	37.767	374.954	2037.812
9	372.393	328.359	37.935	303.441	2065.217
Le Bassin (entier)	7245	394.3	39.46	359.90	2065.20

Ces résultats montrent que le bassin de la Tafna, d'une superficie de 7245 km² à l'exutoire, présente un apport en eau superficielle de 285,88 Hm³ annuellement (une lame ruisselée de 39,46mm), ce qui s'approche de l'apport annuel évalué par l'agence nationale de ressources hydriques estimé à 278,148 Hm³ (une lame ruisselée de 34,70 mm) (Dakiche, 2005).

◆ *Les apports liquides au niveau des barrages :*

La présence des réservoirs dans un bassin versant modifie la disponibilité spatiale de la ressource en eau et en particulier superficielle. De ce fait les apports dans le bassin seront influencés. Dans ce qui suit, la variation de l'apport au niveau de l'exutoire du bassin en fonction de la présence chronologique des réservoirs sera présentée et analysée (graphe 4).

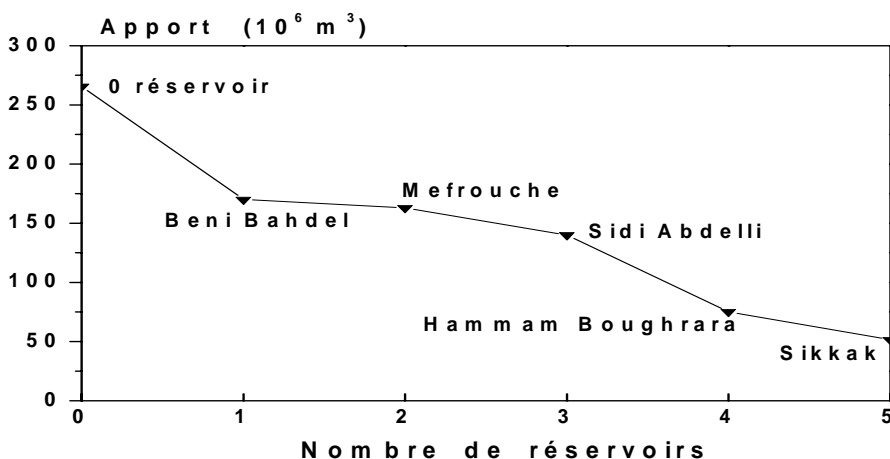


Fig. 6. Variation des apports à l'exutoire du bassin de la Tafna .en fonction des réservoirs aménagés dans le bassin (valeurs moyennes annuelles)

Les résultats obtenus pour l'apport annuel liquide à l'exutoire montrent la variation chronologique de ce dernier en fonction des aménagements réalisés dans le bassin. C'est ainsi que, cet apport, évalué vers les années 1940 à 285,8 Hm³, a été réduit jusqu'à 50,5 Hm³ en 2005 avec la mise en service du nouveau barrage de Sikkak.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les résultats obtenus, dans cette étude, montrent d'abord que le générateur de climat intégré au modèle donne des résultats très proches des valeurs observées pour les précipitations, et en particulier à l'échelle mensuelle et annuelle. La simulation des paramètres du bilan hydrique a démontré l'intérêt des méthodes de calcul de l'évapotranspiration intégrées au modèle donnant de très bons résultats et en particulier

celle de Hargreaves. L'application nous a montré comment les apports ont variés chronologiquement, à l'exutoire du bassin, avec la mise en exploitation des cinq grands réservoirs.

C'est ainsi que l'étude de ce complexe hydrosystème (bassin versant, réservoirs et périmètres irrigués), a été réalisé avec succès par le modèle SWAT, pour définir le fonctionnement des différentes composantes du système. Le fonctionnement d'un barrage est établi par la détermination des termes de son bilan à savoir les apports par ruissellement, par écoulements souterrains et par la précipitation directe sur le barrage, les pertes par évaporation et infiltration, les déversements et lâcher de vidange ou d'usage agricole.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arnold Jeff G., Williams J. R., Srinivason R. & King K. W., 1998 SWAT : Soil and Water Assessment Tools, USDA, ARS.
- Benedini Eugenio, Commellozzi Favio & Martinelli Angiolo, 2003 Model SWAT application in the Alban Hills (central Italy), 2^{ème} conférence internationale de SWAT à Bari (Italie) 1-4 juillet.
- Dahmani B, Hadji F & Allal F, 2002 Traitement des eaux du bassin hydrographique de la Tafna (N-W Algeria), *Desalination*, 152, pp113-124.
- Dakiche A, 2005 Contribution à l'étude des régimes hydrologiques des bassins de la Tafna : évaluation du bilan des ressources en eau superficielle, mémoire de magister ; USTO, Département d'hydraulique, Janvier 2005
- Hamlat A, 2005 Contribution à la gestion des ressources hydriques des bassins versants (bassin de la Tafna) par l'application du modèle SWAT, mémoire de magister ; USTO, Département d'hydraulique.
- Neitsch S. L., Arnold Jeff G., Kiniry J. R., Williams J. R. & King K. W., 2000 Soil and Water Assessment Tools: theoretical documentation version 2000, Grassland, Soil and Water Reasearch Laboratory, ARS.
- Neitsch S. L., Arnold Jeff G. & Williams, 1999 Soil and Water Assessment Tools: user's manual version 99.2, Grassland, Soil and Water Reasearch Laboratory, ARS.
- Neitsch S. L., Arnold Jeff G., Kiniry J. R. & Williams J. R., 2001 Soil and Water Assessment Tools: user's manual version 2000, Grassland, Soil and Water Reasearch Laboratory, ARS.
- Papagallo Giuseppe, Lo Porto Antonio & Leone Antoni, 2003 Use of the SWAT model for evaluation of anthropic impacts on water resource quality and availability in the Celone Creek basin (Aupilia Italy), 2^{ème} conférence internationale de SWAT à Bari (Italie) 1-4 juillet.
- Wenzi CAO, Boaden William B., Davie Tim & Fenemor Andrew, 2003 Application of SWAT in large mountainous catchment with high spatial variability, 2^{ème} conférence internationale de SWAT à Bari (Italie) 1-4 juillet.