

Détermination du régime hydrologique fluvial dans le contexte des données hydrologiques limitées : le cas du bassin versant d'Ishmi, Albanie

Santino Spahiu
Département de l'Hydraulique et de
l'Hydrotechnique
Université Polytechnique de Tirana
Tirana, Albanie
santino.spahiu@fin.edu.al

Enkelejda Gjinali
Département de l'Ingénierie de
l'Environnement
Université Polytechnique de Tirana
Tirana, Albanie
enkelejda.gjinali@fin.edu.al

Andrin Kërpaçi
Département de l'Hydraulique et de
l'Hydrotechnique
Université Polytechnique de Tirana
Tirana, Albanie
andrin.kerpaci@fin.edu.al

Résumé — La faible surveillance ou l'absence de mesures systématiques des éléments météorologiques et hydrologiques posent d'importants défis aux chercheurs scientifiques et aux ingénieurs de l'eau. Dans les zones de bassin versant où la densité de population élevée s'associe aux changements climatiques, il peut y avoir d'énormes impacts catastrophiques sur l'adaptation des écosystèmes aquatiques, des ressources en eau et de l'agriculture le long du bassin. Ce contexte avec des données limitées ou inexistantes est également présent, même dans les pays économiquement développés. Cet article propose l'utilisation du modèle hydrologique SWAT pour évaluer le régime hydrologique des fleuves dans le cas où les données sont limitées. Le modèle hydrologique SWAT est construit pour le bassin du fleuve Ishmi en Albanie, en se basant sur les éléments météorologiques évalués par des mesures satellitaires, ainsi que sur la carte d'utilisation des terres et la carte pédologique. À la fin de la simulation, une comparaison entre l'hydrogramme simulé et les hydrogrammes observés est effectuée, et l'indice de performance du modèle est déterminé. Le modèle donne de bons résultats avec un coefficient de Nash-Sutcliffe de 0,71. En conclusion, un bilan hydrique pluriannuel a été établi à la sortie finale du bassin (station hydrométrique Sukth-Vendas). Une carte des débits moyens annuels a été établie pour chaque branche du fleuve Ishmi. La distribution intra-annuelle des débits mensuels moyens a été déterminée. Les quantiles ont été établis pour les séries annuelles de débits moyens et maximaux. La courbe de durée d'écoulement a été déterminée, y compris les hydrogrammes annuels sommaires.

Mots clés—modèle hydrologique, SWAT, analyse fréquentielle

I. INTRODUCTION

La détermination du régime hydrologique fluvial revêt une importance cruciale pour le développement et la gestion des ressources en eau. La gestion au niveau du bassin, concernant l'approvisionnement en eau, l'irrigation, la prévention des inondations, la production d'énergie électrique, la régulation de la pollution et la détermination des consommateurs prioritaires en eau, ne peut être réalisée sans des données précises liées aux caractéristiques de l'écoulement de surface [1]. En même temps, l'élaboration et l'amélioration de la législation sur l'eau ainsi que toutes les autres décisions sont directement liées à la connaissance du régime hydrologique des fleuves.

Aujourd'hui, le défi des changements climatiques nous oblige à accorder une importance accrue à la surveillance et à l'évaluation de l'écoulement. La détermination des tendances changeantes dans la distribution annuelle et pluriannuelle du débit des fleuves sous l'influence des changements climatiques est essentielle pour une gestion durable des ressources en eau. De plus, les études liées au transport des sédiments et à la pollution ne peuvent être réalisées sans la connaissance quantitative du débit des fleuves.

Actuellement en Albanie, la surveillance des débits des fleuves est de faible qualité et se fait uniquement dans certains

des principaux fleuves du pays. L'assurance qualité et le contrôle qualité (AQ/CQ) des mesures de débit font défaut. De plus, contrairement à la directive INSPIRE de l'Union européenne [2], la publication et l'accès aux données météorologiques et hydrologiques font défaut. En conséquence, les professionnels de l'eau ont du mal à réaliser les études et les évaluations de l'écoulement basées sur des données bien mesurées.

Dans ce contexte, l'utilisation de méthodes indirectes est nécessaire pour déterminer le régime hydrologique des fleuves. Cet article propose l'utilisation du modèle hydrologique SWAT dans le but d'évaluer l'écoulement pluriannuel du fleuve Ishmi. En fonction de la carte pédologique, de la carte d'utilisation des terres du bassin versant, du modèle d'élévation numérique du terrain, ainsi que des données météorologiques évaluées par des mesures satellites, le modèle SWAT applique l'équation du bilan hydrique, fournissant ainsi des débits pour différents intervalles de temps. Ensuite, ces résultats sont analysés statistiquement pour extraire toutes les caractéristiques de l'écoulement.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

A. Zone d'étude

En termes de superficie du bassin versant et de débit, le fleuve Ishmi n'est pas le plus grand fleuve du réseau hydrographique de l'Albanie. Il se trouve dans la partie centrale de l'Albanie, avec une superficie du bassin versant de 673 km², une altitude moyenne de 357 mètres au-dessus du niveau de la mer, et une longueur de cours d'eau de 79,2 km. La forme du bassin ressemble à une feuille très étendue, avec le lit du fleuve situé du côté gauche, sur 4/5 de sa largeur. Cette forme est le résultat de l'extension des affluents principaux de ce fleuve du côté droit de son cours [3].

La partie supérieure du bassin versant traverse la Région Montagneuse Centrale de l'Albanie, tandis que la partie basse s'étend vers la Plaine Côtière de l'Ouest, près de la mer Adriatique. Le fleuve Ishmi est formé par la confluence des eaux des fleuves de Tirana, de Tërkuza et de la rivière Noire. Comme branche principale d'Ishmi est considérée le fleuve de Tirana, qui constitue également la branche la plus longue. Le bassin versant du fleuve Ishmi est inclus à la fois dans la sous-zone de plaine centrale méditerranéenne et dans la sous-zone collinéenne centrale. Les valeurs des intervalles des éléments météorologiques dans le bassin versant suivent les caractéristiques typiques du climat méditerranéen [3].



Fig. 1. Le bassin versant d'Ishmi jusqu'à la station de Sukth-Vendas.

Dans le cas de cet article, le point bas du bassin versant d'Ishmi est établi à la station hydrométrique de Sukth-Vendas (Fig. 1). Cela a été fait pour comparer les résultats du modèle SWAT avec les données historiques. Cette station est située à environ 8 km en amont de l'embouchure de la rivière dans la mer Adriatique. La superficie du bassin versant jusqu'à Sukth-Vendas est de 630 km².

B. Model Hydrologique SWAT

Le modèle SWAT est un modèle hydrologique semi-distribué largement utilisé dans les petits bassins versants ainsi que dans les grands bassins. Ce modèle a été développé par le département de l'Agriculture des États-Unis (USDA - ARS). Le modèle SWAT a été créé pour prédire l'impact de l'utilisation des terres sur l'écoulement de l'eau, les sédiments et les polluants agricoles dans les bassins versants où les données hydrologiques sont limitées.

SWAT simule le cycle hydrologique en déterminant tous les composants de l'équation du bilan hydrique :

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (P_i - Q_{sur} - ET - Q_{inf} - Q_{sub}) \quad (1)$$

Où, SW_t est la quantité finale d'humidité dans le sol (mm), SW_o est la quantité initiale d'humidité dans le sol, t est la durée (jours), P_i est la quantité de précipitations dans le jour i (mm), Q_{sur} est la quantité de ruissellement de surface le jour i (mm), ET est la quantité d'évapotranspiration le jour i (mm), Q_{inf} est la quantité d'eau infiltrée dans la zone non saturée, et Q_{sub} est la quantité d'eau qui retourne dans le fleuve sous forme d'écoulement souterrain.

Le modèle SWAT propose deux méthodes pour déterminer les ruissellements de surface : la méthode du NRCS et la méthode d'infiltration Green-Ampt. Dans notre article, la méthode NRCS a été sélectionnée comme une méthode bien établie et ne nécessitant pas de données volumineuses. L'équation de ruissellement de surface selon la méthode NRCS est [4]:

$$Q_{sur} = \frac{(P_i - I_a)^2}{(P_i - I_a + S)} \quad (2)$$

Où, Q_{sur} est la quantité d'écoulement de surface (mm), P_i est la hauteur totale des précipitations (mm), I_a est la quantité initiale d'infiltration, comprenant les réserves de surface, la capture d'eau par les plantes et les infiltrations avant le début de l'écoulement de surface (mm), et S est le paramètre de stockage de l'eau (mm). Le paramètre de stockage de l'eau varie spatialement en fonction du type de sol, des changements

dans l'utilisation et la gestion des terres, ainsi que des variations de la pente du terrain. De plus, le paramètre S varie également dans le temps en raison des changements dans la teneur en humidité. Ce paramètre se définit :

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3)$$

Les infiltrations initiales I_a sont généralement proches de $0,2S$, l'écoulement de surface ne se produit que lorsque $P_i > I_a$, et l'équation d'écoulement de surface se transforme :

$$Q_{sip} = \frac{(P_i - 0.2S)^2}{(P_i + 0.8S)} \quad (4)$$

Dans le modèle SWAT, le bassin versant est divisé en sous-bassins, et en fonction de la combinaison du type de sol, de l'utilisation des terres et des pentes du terrain présentes dans le bassin versant, il est divisé en unités de réponse hydrologique (URH), formant ainsi un réseau de calcul sur lequel les équations susmentionnées seront appliquées. Toutes les composantes de l'équation du bilan hydrique sont calculées pour chaque unité URH. Dans le cas de notre étude, 5456 unités hydrologiques URH ont été formées.

C. Entrée du Modèle

Les données nécessaires requises par le logiciel SWAT sont les suivants : la carte de l'utilisation des terres, la carte du type de sol, le modèle d'élévation numérique, les données météorologiques du bassin versant, telles que les précipitations, la température, le rayonnement solaire, l'humidité relative et la vitesse du vent. De plus, dans les cas où des structures hydrauliques existent et modifient la distribution des écoulements naturels, les données appropriées pour ces structures doivent être spécifiées [4].

La carte d'utilisation des terres appliquée est la version 2022 du ESRI. La résolution spatiale de cette carte est de 10 x 10 mètres (Fig. 2). La carte des types de sols, employée à une résolution spatiale de 225 x 225 mètres, et elle suit le système de classification international standard des sols (Fig. 3).



Fig. 2. La carte de l'utilisation des terres dans le bassin versant d'Ishmi.



Fig. 3. La carte du type de sol dans le bassin versant d'Ishmi.

Les données météorologiques nécessaires pour cette étude sont extraites de la base de données de la NOAA (Administration Nationale des Océans et de l'Atmosphère)

pour les années 1979 à 2014. Cette base de données de 35 ans comprend des informations sur les précipitations, la température, le rayonnement solaire, l'humidité relative, la vitesse du vent à des intervalles quotidiens et constitue une base de données mondiale. Le logiciel SWAT est connecté en ligne à cette base de données, la télécharge dans un format compatible avec le logiciel et alimente toutes les unités de calcul URH du bassin versant.

Les lacs/réservoirs du bassin d'Ishmi sont de petite taille (< 1 km²), de faible hauteur et d'origine silicique. L'exception est le réservoir de Bovilla (surface de 4,07 km², volume de stockage de 78 millions de mètres cubes), créé en 1998 par la construction d'un barrage sur la rivière Tërkuzë. Le bassin versant jusqu'à l'axe du barrage couvre 95 km², ce qui représente environ 14 % du bassin du fleuve Ishmi. Par conséquent, son impact sur le débit d'eau doit être pris en compte. Les caractéristiques du réservoir de Bovilla utilisées comme entrées sur logiciel sont : la surface du réservoir au niveau de la décharge de 3 750 000 m² ; le volume du réservoir jusqu'au niveau de la décharge de 84 000 000 m³ ; le débit en aval de 2,4 m³/s ; le coefficient d'évaporation du lac de 0,6. Le réservoir est considéré comme complètement rempli au début de la simulation [5].

III. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

A. Évaluation de la performance du modèle

Pour évaluer la performance d'un modèle, il existe des techniques graphiques et statistiques dans le but de comparer les données réelles et les données simulées. Le débit moyen annuel après la simulation est de 16.4 m³/s. En revanche, le débit moyen annuel réel pour la période 1960 - 1990 est de 18.60 m³/s, tandis que pour la période 1960 - 2008, il est de 14.95 m³/s [5]. En prenant la valeur de 14.95 m³/s comme la valeur représentative du débit moyen annuel à la station de Sukth-Vendas, la différence entre le débit moyen annuel simulé et le débit réel est de 1.45 m³/s.

La présentation graphique de l'hydrogramme observé et de celui simulé a été effectuée pour l'année 1987, qui correspond à l'année de débit moyen. D'une comparaison visuelle, nous constatons généralement une bonne concordance entre ces deux hydrogrammes, en particulier dans la seconde moitié de l'année. Cependant, il existe des divergences considérables entre les deux hydrogrammes, en particulier aux sommets des crues. Il y a plusieurs raisons à cette divergence. Tout d'abord, le modèle hydrologique peut donner des résultats surestimés par rapport à la réalité. Deuxièmement, la technique de mesure des débits avec un hydromètre permet de mesurer deux valeurs journalières de niveau, en déterminant une valeur quotidienne moyenne représentative de la journée respective. Cela apporte souvent des valeurs des débits maximums étant plus basses par rapport à celles mesurées automatiquement 24 heures sur 7.

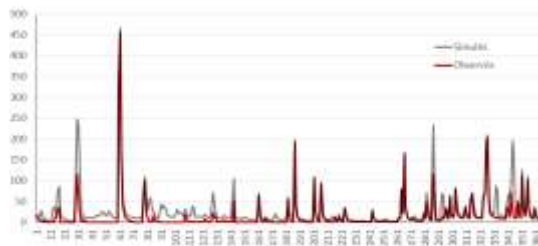


Fig. 4. Hydrogrammes observés et simulés, année 1987.

Le coefficient d'efficacité de Nash-Sutcliffe (NSE) est un paramètre statistique de similarité qui mesure la taille relative des résidus de la variance par rapport à la variance des données [6]. Ce coefficient varie de $-\infty$ à 1. Les valeurs acceptables de NSE se situent entre 0 et 1, où la valeur 1 indique une correspondance parfaite entre les données comparées. NSE est évalué selon l'équation suivante :

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{sim} - Y_i^{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{sim} - Y_{moy}^{obs})^2} \quad (5)$$

Où, Y_i^{obs} représente la valeur observée à la position i , Y_i^{sim} représente la valeur simulée à la position i , tandis que Y_{moy}^{obs} représente la moyenne de la série observée.

Dans notre cas, le coefficient NSE pour la station hydrométrique Sukth-Vendas atteint la valeur de 0,71. Cela indique une bonne concordance entre les données observées et celles simulées. Par conséquent, malgré l'incertitude présente, nous pouvons affirmer que les résultats du modèle sont fiables. En conséquence, ces résultats peuvent être utilisés pour évaluer le régime hydrologique du fleuve Ishmi.

B. Analyse statistique des résultats

1. Carte des débits moyens annuels

Le modèle SWAT fournit les résultats des débits journaliers pour la période 1979-2014 pour l'ensemble du réseau hydrographique du bassin versant. Fig. 5 présente une vue d'ensemble des valeurs moyennes annuelles de débit annuel pour les principaux fleuves du bassin d'Ishmi. Cependant, dans cet article, l'évaluation du régime hydrologique est limitée à l'axe de Sukth-Vendas.



Fig. 5. Carte des débits moyens annuels dans le bassin versant d'Ishmi.

2. Analyse statistique des débits mensuels

À partir de la série de débits journaliers, nous construisons la série des débits moyens mensuels pour chaque année. Ensuite, nous calculons la moyenne sur une période de 35 ans pour obtenir les débits moyens mensuels pluriannuels (Fig.). Pour la station hydrométrique de Sukth-Vendas, il y a deux pics en février et mars et deux creux en juillet et août.

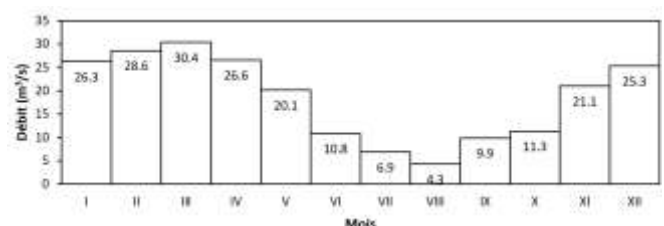


Fig. 6. Distribution annuelle des débits mensuels.

3. Hydrogrammes annuels sommaires

Dans le but de représenter le régime hydrologique basé sur la série de débits journaliers, on construit lesdits

"hydrogrammes annuels sommaires". En construisant les courbes de fréquence des événements pour chaque jour de l'année, on peut déterminer les quantiles correspondants la probabilité de non-dépassement. Dans notre cas, la séparation entre la période des hautes eaux d'octobre à mai et la période des basses eaux de juillet à septembre est claire (Fig.7). Tandis que la Fig.8 montre les valeurs extrêmes des débits journaliers annuels pour chaque jour de l'année, y compris leur valeur moyenne.

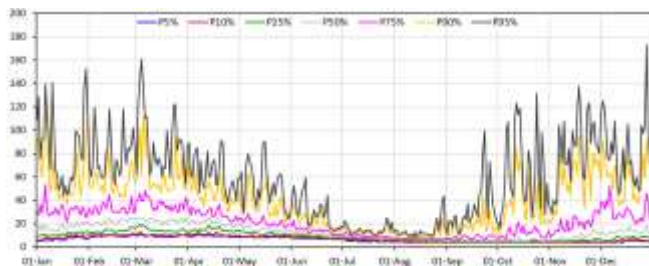


Fig.7. Hydrogrammes annuels résumés à Sukth-Vendas.



Fig. 8. Hydrogrammes extrêmes et moyens à Sukth-Vendas.

4. Analyse statistique des débits journaliers

Afin d'évaluer la fréquence à laquelle un débit spécifique est observé, la courbe de durée d'écoulement est établie. Selon les valeurs du TAB. I, nous nous attendons à avoir des débits supérieurs à 11,8 m³/s pendant 50 % du temps. Tandis que dans 99 % des cas, les débits journaliers sont supérieurs à 4 m³/s.

ORDONNEES DE LA COURBE DE DUREE D'ECOULEMENT

Dépassement (%)	99	95	90	50	25	10	5	1
Débit (m³/s)	4	4.1	5	11.8	22.4	42.7	66.4	131

5. Analyse statistique des débits moyens annuel

Pour déterminer les quantiles de la série de débits moyens annuels, il est nécessaire de déterminer quelle distribution théorique de probabilité convient le mieux à la série de débits annuels. L'analyse des 16 distributions de probabilité les plus utilisées en hydrologie indique que la meilleure distribution est la loi de la Logistique Généralisée, avec une valeur du test statistique de Kolmogorov-Smirnov de 0,061. Sur la base de cette distribution, nous construisons la courbe de fréquence, ainsi que les intervalles de confiance de 5 % et 95 % (Fig. 9).

6. Analyse statistique des débits maximaux annuels

Pour l'analyse des débits maximaux annuels, la recommandation du Bulletin 17C a été suivie, qui stipule que la distribution la plus appropriée pour l'analyse des événements de débits maximaux est la distribution Log-Pearson III [7]. Fig. 10 présente la courbe de fréquence Log-Pearson III avec les intervalles de confiance de 5 % et 95 %.

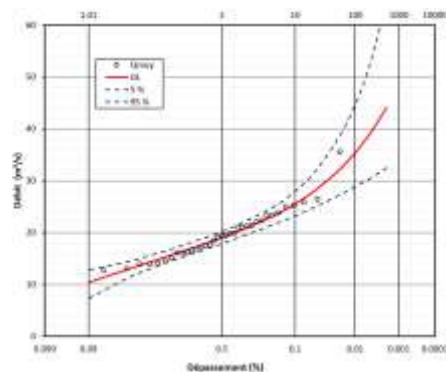


Fig. 9. Courbe de fréquence des débits moyens annuels.

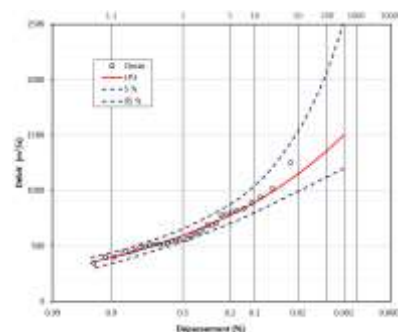


Fig. 10. Courbe de fréquence des débits maximaux annuels.

IV. CONCLUSIONS

Dans cet article, le modèle hydrologique SWAT est appliqué au bassin versant d'Ishmi dans le contexte des données hydrologiques limitée. Le modèle SWAT présente des performances satisfaisantes avec un coefficient d'efficacité Nash-Sutcliffe de 0,71. La différence entre les débits moyens annuels simulés et réels est de 1,45 m³/s. À partir des conclusions de cette simulation, une analyse statistique a été réalisée à la station Sukth-Vendas, où les quantiles de la série des débits moyens et des débits maximaux ont été déterminés. Des hydrogrammes annuels sommaires, la courbe de durée d'écoulement, la distribution pluriannuelle des débits moyens ont été établis, permettant ainsi de déterminer le régime hydrologique du fleuve Ishmi. Les résultats de cet article peuvent être utiles aux professionnels de l'eau travaillant sur l'étude du fleuve Ishmi, ainsi qu'aux législateurs impliqués dans la gestion des ressources en eau.

REFERENCES

- [1.] N. S. Grigg, "Integrated water resources management: balancing views and improving practice," Water international, vol. 33, no. 3, pp. 279-292, 2008.
- [2.] Coote, "Addressing the Needs of INSPIRE: The challenges of improving interoperability within the European Union," 2008.
- [3.] N. Pano, Pasuritë ujore të Shqipërisë: monografi. Akademia e Shkencave, 2008.
- [4.] S. L. Neitsch, J. G. Arnold, J. R. Kiniry, and J. R. Williams, "Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009," Texas Water Resources Institute, 2011.
- [5.] Agjencia e Menaxhimit të Burimeve Natyrore. (2022). Plan i Menaxhimit të Basenit Ujor për Basenin e Lumit Ishëm.
- [6.] J. Nash, "River flow forecasting through conceptual models. I: A discussion of principles," Journal of Hydrology, vol. 10, pp. 398-409, 1970.
- [7.] J. F. England Jr et al., "Guidelines for determining flood flow frequency—Bulletin 17C," US Geological Survey, 1411342232, 2019.