



ISSN 2630-0958
Journal de Physique de la Soaphys
J. P. Soaphys



Volume 2, Numéro 2 - Décembre 2020
SOAPHYS[©]

Journal de Physique de la Soaphys
Volume 2, Numéro 2, Décembre 2020

Directeur de publication

- Prof. Jean KOULIDIATI

Comité scientifique

- Prof. Jean CHABI OROU (Benin)
- Prof. Félix HONTINFINDE (Benin)
- Prof. Dieudonné Joseph BATHIEBO (Burkina Faso)
- Prof. Frédéric OUATTARA (Burkina Faso)
- Prof. Adama DIAWARA (Côte d'Ivoire)
- Prof. Vafi DOUMBIA (Côte d'Ivoire)
- Prof. Abdramane BA (Mali),
- Prof. Badié DIOURTHE (Mali),
- Prof. Saïdou MADOUGOU (Niger)
- Dr. Haoua AMADOU, MC (Niger)
- Prof. Kossi NAPO (Togo)
- Prof. Magolmèèna BANNA (Togo)
- Prof. Oumar KA (Sénégal)
- Prof. Diouma KOBOR (Sénégal)

Rédacteur en chef

- Prof. Antoine BERE (Burkina Faso)

Rédacteur en chef adjoint

- Dr. Milohum Mikesokpo DZAGLI, MC, (Togo),

Secrétaire technique

- Dr. Sié Zacharie KAM, MA, (Burkina Faso)

Journal de Physique de la Soaphys
Volume 2, Numéro 2, Décembre 2020

SOMMAIRE

Thermal destruction of gas generated from household waste <i>Palm et al.,</i>	.....	C20A15 :1-5
Energy calculations of the (2p ² 1D); (3d ² 1G) and (4f ² 1I) doubly excited states of helium isoelectronic sequence ($Z \leq 20$) via the modified atomic orbital theory <i>Sow</i>	.....	C20A16 :1-7
Potentiel érosif de la pluie : identification du meilleur estimateur d'énergie cinétique de la pluie à partir des données de dropsize distribution (DSD) de pluies mesurées au nord-ouest du Bénin <i>Adjikpe et al.,</i>	.....	C20A17 :1-5
Le carbone 14 (¹⁴ C) un traceur idéal pour la surveillance de la pollution atmosphérique en dioxyde de carbone (CO ₂) anthropogénique dans la zone de Dakar <i>Sène et al.;</i>	.....	C20A18 :1-8
Influences of local materials on the building behavior and evaluation of the cooling loads <i>Amadou et al.,</i>	.....	C20A19 :1-7
Evaluation du potentiel en petite hydroélectricité du bassin versant de Wassadou en utilisant le modèle hydrologique SWAT <i>Ndiaye et al.,</i>	.....	C20A20 :1-9
Modélisation de la distribution granulométrique des gouttes de pluie par la loi gamma généralisée <i>Kougbeagbede et al.,</i>	.....	C20A21 :1-5
Adaptive proportional integral controller based on ANN for DC link voltage control single-phase inverter connected to grid <i>Traoré et al.,</i>	.....	C20A22 :1-6
Evaluation du pouvoir méthanogène de la jacinthe d'eau sur le lac Nokoué à Ganvie au Bénin <i>Dohou et al.,</i>	.....	C20A23 :1-5
Evaluation du potentiel de production du biogaz émanant des déchets organiques : cas de Bamako <i>Koné et al.,</i>	.....	C20A24 :1-6
Modélisation du rayonnement solaire global incident sur un plan horizontal et incliné par quatre modèles semi-empiriques sur le site de la ville de Ouagadougou <i>Ouédraogo et al.,</i>	.....	C20A25 :1-9
Modélisation et simulation d'un bâtiment classique vers un bâtiment à énergie positive (BEPOS) <i>Sawadogo et al.,</i>	.....	C20A26 :1-7
Recherche de tendances récentes dans les séquences sèches : cas des stations synoptiques du Bénin <i>Gnihatin et al.,</i>	.....	C20A27 :1-17
Theoretical and experimental analysis of a boost converter <i>Badiane et al.,</i>	.....	C20A28 :1-9

EVALUATION DU POTENTIEL EN PETITE HYDROELECTRICITE DU BASSIN VERSANT DE WASSADOU EN UTILISANT LE MODELE HYDROLOGIQUE SWAT

Ndiaye Ibrahima ^{1,*}, Sambou Soussou ¹, Leye Issa ¹, and Diaw Moustapha ²

¹ Laboratoire d'hydraulique et de mécanique des fluides, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar, Sénégal

² Centre international de formation et de recherche en énergie solaire, Ecole supérieure polytechnique, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar, Sénégal

*mouhafils@gmail.com

INFOS SUR L'ARTICLE

Historique de l'article:

Reçu le : 26 novembre 2020

Réçu en format révisé le : 30 mars 2021

Accepté le : 11 mai 2021

Mots-Clés : Energies renouvelables, petites centrales hydroélectriques, potentiel hydraulique

Keywords : Renewable energy, small hydropower, hydropower potential

RESUME

L'augmentation de la quantité de CO₂ et le réchauffement climatique due aux énergies fossiles ont rendu nécessaire le besoin d'explorer d'autres sources d'énergies inépuisables, disponibles et non polluantes telles que les énergies renouvelables. L'énergie hydraulique représente 19% de la production mondiale. Les Petites Centrales hydroélectriques sont de petites unités de production peu coûteuses. Le potentiel en hydroélectricité dépend du débit et de la hauteur de chute. Dans cette étude, nous sélectionnons des sites en vue de l'évaluation du potentiel en petite hydroélectricité dans le bassin versant de Wassadou sur le fleuve Gambie. Grâce à ArcGis, et au modèle numérique de terrain (MNT) 11 affluents ont été retenus, et 35 sites d'emplacements de petite centrale hydroélectrique (PCH) identifiés. Le modèle hydrologique SWAT a été calibré pour une période d'observation 1990-1995 et validé sur la période 1996-1998. La précision du modèle a été confirmée par le coefficient de détermination ($R^2 = 0,70$) et le critère d'efficacité Nash-Sutcliffe (ENS = 0,80). Ce modèle a été utilisé pour générer les débits journaliers au niveau de chaque site sur la période 1990-1998 ce qui a permis de construire les courbes des débits classés. Un potentiel hydroélectrique total de 147 421, 14 229, et 1 859 kW disponibles 40, 50 et 60% respectivement sur l'ensemble des 35 sites a été évalué. Les résultats de cette étude constituent un outil de décision à l'intention des décideurs politiques et des investisseurs pour la sélection des sites appropriés et la mise en œuvre des petites centrales hydroélectriques en vue de répondre aux besoins énergétiques dans les zones éloignées.

ABSTRACT

The increase in the amount of CO₂ and global warming due to fossil fuels has made it necessary to explore other inexhaustible, available and non-polluting energy sources such as renewable energies. Hydropower represents 19% of the world production. Small hydropower plants are small and inexpensive production units. The hydropower potential depends on the flow and the head. In this study, we select sites for the evaluation of small hydropower potential in the Wassadou watershed on the Gambia River. Using ArcGis, and the digital elevation model (DEM), 35 small hydropower (SHP) sites have been found on 11 streams flows. The soil water assessment tool (SWAT) hydrological model was calibrated for a 1990-1995 observation period and validated for the 1996-1998 period. The accuracy of the model was confirmed by the coefficient of determination ($R^2 = 0.70$) and the Nash-Sutcliffe efficiency criterion (NSE = 0.80). This model was used to generate daily flows at each site over the period 1990-1998 which allowed us to plot the flow duration curve. A total hydroelectric potential of 147421, 14229, and 1859 kW available at 40, 50, and 60% respectively at all 35 sites was evaluated. The results of this study provide a decision tool for policy makers and investors for the selection of suitable sites and implementation of small hydropower plants to meet energy needs in remote areas.

I. INTRODUCTION

L'électricité est une forme d'énergie qui contribue grandement à la qualité de vie des populations et au développement économique des nations, de par sa facilité d'utilisation et la multiplicité de ses usagers. Elle peut être produite à partir des énergies fossiles épuisables (les produits pétroliers, gaziers et le charbon) ou nucléaire. Mais, lorsque des sites favorables existent, l'électricité peut également être produite à partir de l'énergie hydraulique d'un cours d'eau ou d'un réservoir : on lui donne le nom d'hydroélectricité. Cette forme particulière de production énergétique est renouvelable et ne produit pas de gaz à effet de serre. Elle est sûre en termes d'approvisionnement et de protection de notre environnement.

Il existe deux types de projet hydroélectrique : les grandes centrales hydroélectriques et les petites centrales hydroélectriques. La classification est basée sur la puissance de sortie, et varie selon les pays ou les ONG (World Bank). Les grandes centrales hydroélectriques sont souvent définies comme étant des installations d'une puissance supérieure à 30 mégawatts MW. Ils dépendent des barrages pour créer des lacs artificiels qui peuvent fournir des quantités énormes d'énergie fiable et renouvelable (Energy BC, 2016). Ils sont toujours connectés au réseau et peuvent être au fil de l'eau (Run-Of-River : ROR) ou avec réservoir (IFC). Les barrages sont coûteux, mais une fois construits, le combustible est gratuit et le coût de l'électricité qu'ils produisent est très bon marché.

Dans les sites isolés, la construction de petite centrale hydroélectrique est parfois plus avantageuse et moins coûteuse. Les petites centrales hydroélectriques (PCH) sont définies comme de petite unité de production avec une capacité de moins de 30 MW (Lea Kosnik 2010, Breezy 2018) Elles peuvent être classées par différentes tailles (mini, micro, pico), selon les pays. Selon la Banque mondiale, la petite hydroélectricité génère 7% de l'électricité renouvelable mondiale (Breezy, 2018) avec une production estimée à 78000 MW vers fin 2016 d'après le centre international de la petite hydroélectricité (ICSHP : International Center of Small Hydro Power). Dans les zones éloignées et non connectées au réseau surtout dans les pays en voie de développement comme le Sénégal, la petite hydroélectricité peut être un moyen d'électrification fiable et de longue durée pour les écoles, les postes de santé, les petites entreprises, l'éclairage public, les machines agricoles etc. Elle contribue grandement au développement économique et social de ces régions. La construction d'un projet hydroélectrique nécessite une connaissance de la topographie et de la disponibilité des flux dans le bassin versant. La collecte et l'analyse d'informations précises sur la topographie, le mode d'utilisation des terres, la morphologie des rivières et la géologie sont plus faciles dans un environnement de

système d'information géographique (SIG) que par enquête de terrain classique. La combinaison du SIG et de la modélisation hydrologique fournit un outil puissant pour l'étude de l'hydrologie dans les bassins versants et également pour l'évaluation du potentiel hydroélectrique (Kurse et al, 2012). Les modèles hydrologiques distribués sont préférés aux modèles conceptuels globaux pour la prévision du ruissellement. Dans ces modèles, le bassin versant est divisé en petits bassins ayant des caractéristiques aussi uniformes que possible (Ntoandis et al, 2013). Parmi eux, le soil water assessment tool (SWAT) est un modèles hydrologique semi-distribué qui permet de déterminer tous les paramètres morphométriques d'un bassin et de simuler les débits en tout point des cours d'eaux (Ravi shanker et al 2016).

Pour l'évaluation du potentiel hydroélectrique et l'étude hydrologique, de nombreux chercheurs ont utilisé les SIG et le SWAT. Kurse et al. (2010) et Ashish Pandey et al (2014), Ravi Shanker Mathi et al (2016) pour évaluer le potentiel en hydroélectricité en Inde ; Christian Bauer et al (2015) au Népal en utilisant un outil spatial basé sur le SIG et le modèle hydrologique du SWAT. Nagendra Kayastha et al (2018) ont proposé d'évaluer les principaux sites hydroélectriques potentiels et d'identifier explicitement les emplacements hydroélectriques possibles dans l'espace, sur une grande surface et dans un court laps de temps. Kontantinos X. Soulis et al (2016) ont présenté un système de géo-information pour l'évaluation de chaque site hydroélectrique, qui estime les valeurs de débit en chaque point du réseau de drainage. Rovick P. Tarife et al (2016) se sont concentrés sur l'application d'outils SIG pour identifier et classer les sites potentiels hydroélectriques théoriques de Misamis Occidental, dans le nord de Mindanao aux Philippines. Thomas M. Mosier et al (2016) ont présenté un ensemble de modélisation inédit, appelé outil d'évaluation du potentiel hydroélectrique, pour évaluer le potentiel et la projection des ressources hydroélectriques à petite échelle en un seul endroit ou réparties sur une région d'étude. Dante G. Larentis et al. (2010) ont utilisé des procédures basées sur le SIG pour le repérage du potentiel hydroélectrique.

Nous combinons dans ce travail un SIG et le modèle hydrologique (SWAT) pour déterminer l'emplacement des sites, générer les débits et ainsi évaluer le potentiel hydroélectrique.

II. METHODOLOGIE

2.1 Situation géographique

Le bassin versant de Wassadou se situe entre deux (2) pays, une partie se situe au Sénégal et une autre en Guinée (figure1). Le Sénégal représente 70,88% du fleuve Gambie, avec celle-ci qui couvre une superficie 77 069 km². Le bassin de Wassadou se situe dans les longitudes 12°21 W et les latitudes 12°23 N, avec une superficie totale de 26 540 km². Avec un tel potentiel, le bassin est

resté jusqu'à présent inexploité en hydroélectricité, mais fournit une ressource naturelle importante pour le développement économique des populations de cette région.



Fig.1. Carte de localisation de la zone d'étude (Ndiaye, 2020)

Il y a deux saisons dans cette zone, une pluvieuse de juillet à septembre et une saison sèche d'octobre à janvier. Les précipitations dans cette zone varient entre 1500 et 2000 mm/an, avec environ 78% de la pluviométrie annuelle pendant la saison de mousson (juin à Septembre). Les

températures mensuelles varient de 25 ° C (minimum) à 42° C (maximum), et l'humidité relative atteint son maximum en septembre et minimum en janvier.

2.2. Paramètres morphométriques

Ces paramètres (tableau 1) permettent de caractériser l'environnement physique et leur influence sur l'écoulement superficiel. Nous avons utilisé, dans le cadre de cette étude, des techniques automatiques qui facilitent l'extraction de ces indices. Les indices de compacité de Gravelius sont supérieurs à 1 donc présente une forme allongée. Les indices de pente globale qui sont obtenues à partir des courbes hypsométries et leurs formes concaves indiquent que le bassin est en état de maturité. Le dénivelé spécifique qui sert à la classification du bassin versant et selon la méthode de l'ORSTOM nous avons un relief très faible pour le bassin Wassadou (Ds compris entre 10 et 25). La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques.

Tableau 1. Paramètres morphométriques

Caractéristiques	Paramètres morphométriques	Formule	Wassadou
Morphologie du bassin versant	Surface (km ²)	ArcGis	26540
	Périmètre (km)	ArcGis	596,38
	coefficient de Gravelius	$C_c = 0.28 P \cdot A^{-1/2}$	1,03
	Longueur du cours d'eau (km)	$L = A^{1/2} \frac{C_c}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{C_c} \right)^2} \right]$	369,93
Relief	Altitude minimale (m)	ArcGis	9
	Altitude maximale (m)	ArcGis	1533
	Altitude moyenne (m)	$H_{moy} = \sum \frac{A_i h_i}{A}$	140,60
	Altitude médiane	Courbe hypsométrique	296,60
	Dénivelée (D)	$D = H_{5\%} - H_{95\%}$	798
	Indice de pente (I_g)	$I_g = \frac{D}{L}$	2,16
	Dénivelé spécifique (D_s)	$D_s = I_g \cdot \sqrt{S}$	351,42
	Densité de Drainage (km ⁻¹)	$D_d = \frac{\sum l_i}{A}$	0,10

2.3. Critères d'identification des sites

Pour la sélection des sites potentiels pour l'implémentation d'un projet de centrale hydroélectrique, les critères suivants ont été adoptés :

Disponibilité du flux : La disponibilité d'un débit adéquat doit être assurée en retenant les cours d'ordre supérieur ou égal trois (figure 2).

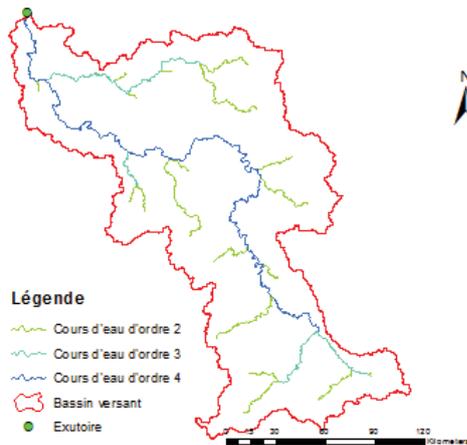


Fig.2. Cours d'eau d'ordre 2 et plus (Ndiaye, 2020)

Distance entre les sites : (a) La distance minimale entre deux sites consécutifs ne doit pas être inférieure à 500 m (Kusre et al. 2010). Cela fera en sorte qu'il y a un espace suffisant entre le canal de fuite d'un site et l'arrangement de diversion de la prochaine, de sorte que l'écosystème de la rivière aura suffisamment d'occasion pour rajeunir. (b) La distance maximale de la rivière considérée pour trouver la tête ne devrait pas être plus de 3000 m.

Disponibilité de la hauteur de chute : La hauteur de chute est définie comme la pression créée par la différence d'élévation entre l'admission et la turbine (Rovick P et al 2017). Il existe différentes méthodes d'estimation de la chute de pression le long du cours d'eau. Une hauteur de chute d'au moins 20 m est nécessaire pour un projet hydroélectrique dans notre cas d'étude. Les données de la figure 3 permettent de déterminer la hauteur de chute de chaque cours d'eau.

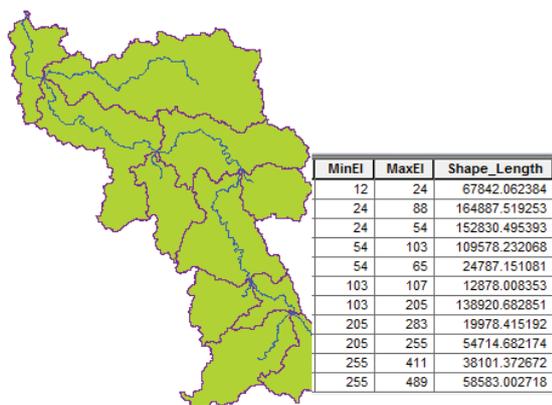


Fig.3. Altitude minimale et altitude maximale de chaque cours d'eau du bassin de Wassadou (Ndiaye, 2020)

2.4. Les données d'entrée du modèle SWAT

Les données nécessaires pour faire fonctionner le modèle SWAT comprennent des données topographiques, climatiques, sur les sols et l'utilisation des terres/couverture des terres et sur les rejets. Les données topographiques du bassin de Gambie en amont du Wassadou ont été extraites du modèle numérique d'élévation 30*30 de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) disponible sur le site web <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/?#>. Les données climatiques telles que les précipitations, les températures maximales et minimales, le rayonnement solaire, l'humidité relative et la vitesse du vent ont été obtenues sur le site web de la SWAT <https://globalweather.tamu.edu/>.

L'utilisation des terres et l'activité des types de sol sont intimement liées, et leurs actions combinées ont une influence singulière sur le flux de surface. L'utilisation des terres est l'un des facteurs les plus importants qui affectent l'infiltration, l'évapotranspiration et donc, à son tour, le ruissellement d'un bassin versant.

La carte des sols est la représentation géographique montrant la distribution spatiale des différents types de sol et leurs propriétés dans le bassin versant (Ravi Shanker Mathi et al 2016). Les types de sol interviennent dans la vitesse de montée des crues et sur leur volume. La carte des sols est illustrée par la figure 4. Elle est fournie par le projet Global Land Cover 2000 (<https://www.gvm.jrc.it/glc2000>). Les leptosols prédominent dans le bassin de Wassadou (51,98%), suivis des regosols (31,93%) et des acrisols (9,03%).

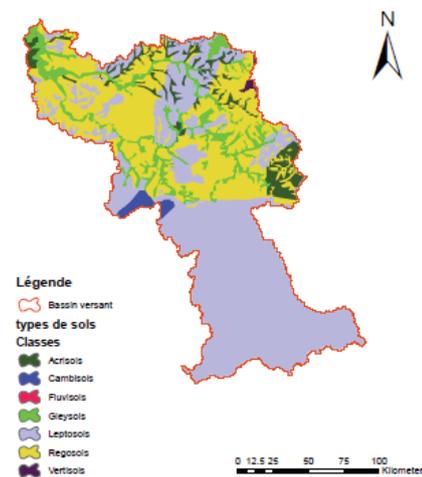


Fig.4. Carte des sols du bassin de Wassadou

La carte de l'utilisation des terres du bassin versant de Kedougou est présentée à la figure 5. Environ 100 % des terres sont couvertes par des forêts de feuillus (FRSDO) à 28.82 % et des broussailles (RNGB) 70.87 %. Et le reste des terres est occupé par l'agropyre occidental (WWGR) 0,29% et l'agropyre à crête (CWGR) 0,20% (<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home#soils>). Les débits journaliers moyens sont issus en partie de la

base de données de l'Office de Gestion et de Planification des Ressources en Eau (DGPRES Dakar, Sénégal) et de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement). Les précipitations quotidiennes observées proviennent de la base de données de l'Organisation pour la mise en valeur du bassin du fleuve Sénégal (OMVS) et de l'IRD (Institut de recherche pour le développement).

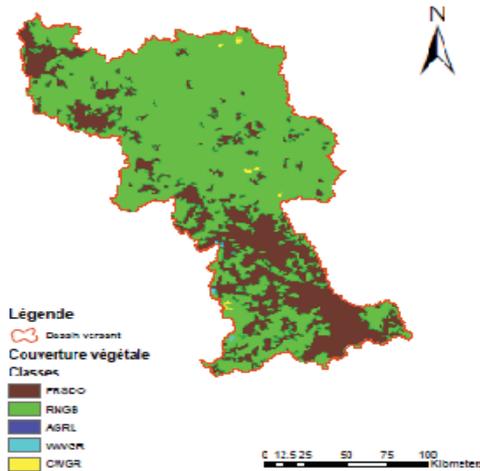


Fig.5. Carte de la couverture végétale

2.5. Calibrage et validation

Le calibrage du modèle consiste à ajuster les paramètres du modèle dans une plage recommandée de sorte que les données simulées (obtenus après simulation du modèle) correspondent aux données observées aussi étroitement possible. L'outil de calibration d'Arc-SWAT permet l'ajustement de différents paramètres par intervention de l'utilisateur. Ces paramètres peuvent être ajustés manuellement ou automatiquement. Les paramètres calibrés du SWAT sont présentés dans le tableau 1. Dans cette étude, les données de débits de 1999, 2000, 2001, 2002 et 2003 ont été utilisées pour un calibrage manuel du modèle. Vingt et un (21) paramètres du modèle SWAT ont été ajustés manuellement et, après chaque changement, le débit simulé a été comparé au débit observé.

La validation est le processus de détermination du degré de précision d'une simulation. Une simulation est une représentation correcte du comportement observé du point de vue des utilisations prévues. Les valeurs de débits simulés à un emplacement spécifique sont comparées aux débits observés pour la validation du modèle. Le calibrage du modèle SWAT a été validé en utilisant les données de débits pour 2004, 2005, et 2006.

L'indice statistique qui est le coefficient de **Nash** a été utilisé pour évaluer les performances du modèle. Il est donné par l'équation (3) de Nash-Sutcliffe (Nash and Sutcliffe 1970) :

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_{moy}^{obs})^2} \quad (3)$$

Avec Q_i^{obs} les débits observés, Q_i^{sim} les débits simulés par le modèle SWAT et n le nombre de données considérés.

2.6. Estimation du potentiel hydroélectrique

La quantité d'énergie générée quand une décharge Q est autorisée à tomber à travers une différence de tête de H est donné par :

$$P = \rho g Q H \quad (4)$$

Avec P est la puissance, ρ est la densité de l'eau (1000 kg / m³), g est l'accélération de la pesanteur (9,81 m / s²) et η est le rendement global de la turbine ou Générateur. La quantité d'énergie produite sera augmenter avec l'augmentation de Q et H . Seul le pouvoir théorique est estimé dans cette étude.

III. RESULTATS

3.1 Calibrage et validation

Le modèle SWAT a été calibré pendant la période 1999-2003 et validé pendant la période 2004-2006. Les critères de validité de l'ajustement sont respectivement $R^2 = 0,76$ et $NSE = 0,75$ pour la période de calibrage et $R^2 = 0,67$ et $NSE = 0,65$ pour la période de validation. Les valeurs de R^2 et d'ENS pour l'étalonnage et la validation montrent un bon accord entre le flux quotidien simulé et observé. Les paramètres calibrés après analyse de sensibilité et leurs valeurs numériques sont présentés dans le tableau 3.-Nous reportons sur la figure 6 les débits observés et calculés pour la calibration et la validation du modèle SWAT. D'après cette figure, la partie ascendante et la partie descendante de l'hydrogramme simulé sont bien restituées.

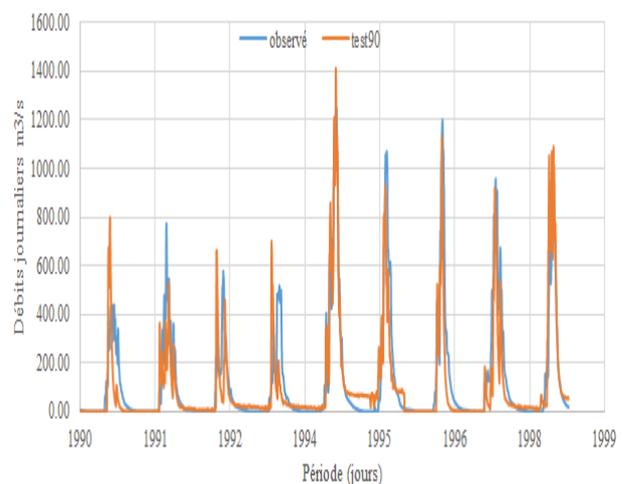


Fig.6. Courbe des débits simulés et observés pour le calibrage et la validation du modèle SWAT

3.2. Identification des sites

La méthodologie utilisée pour l'identification des sites potentiels dépend de deux critères principaux : une hauteur de chute de 20 m ou plus est disponible ; une distance entre deux sites variant de 500 m au minimum à 3000 m au maximum est mesurée. En plus des critères hydrologiques, de nombreux autres critères (par exemple l'adéquation géologique, la proximité de lieux importants) doivent également être remplis pour finaliser le site des projets hydroélectriques (A. Pandey et al 2015).

Le premier point est l'exutoire. A partir de ce point, nous prenons le premier cours d'eau principal (cours d'eau 1). Pour cette section, le SWAT donne l'altitude maximale, l'altitude minimale et la longueur. La différence entre l'altitude maximale et l'altitude minimale de ce cours d'eau, qui correspond à la hauteur de chute (hauteur de chute ou hauteur brute), est déduite. Cependant, la hauteur de chute pour un PCH doit être de 20 m au maximum. La hauteur de chute est divisée par 20. A partir de ce résultat et de la longueur, on détermine le nombre de sites. Exemple : pour une hauteur de chute de 100 m, on peut avoir 5 sites comptés à partir du premier (site 0), le site 1 à 20 m, le site 2 à 40 m, le site 3 à 60, le site 4 à 80 m, le site 5 à 100 m. On mesure la distance entre les sites 0 et 1. Si la distance entre les deux sites est supérieure à 500 m et inférieure à 3000 m, on place le site, sinon on passe au site suivant (figure 7).

Trente-cinq (35) sites potentiels et leur emplacement ont été identifiés sur ces cours d'eau (figure 7). Dans le tableau 2, nous présentons tous ces cours d'eau avec leur longueur, l'altitude, le nombre de sites, la pente du lit et l'espacement moyen entre deux sites potentiels. Nous présentons dans la figure 7 les emplacements de tous les sites dans le bassin fluvial étudié. Comme on peut le voir, ce n'est pas le cours d'eau le plus long (164.88 km) qui a le plus de sites potentiels (3) avec 64 m de dénivelé et le plus court (12,87 km) n'a que (0) sites en raison de sa valeur de dénivelé (1 m).

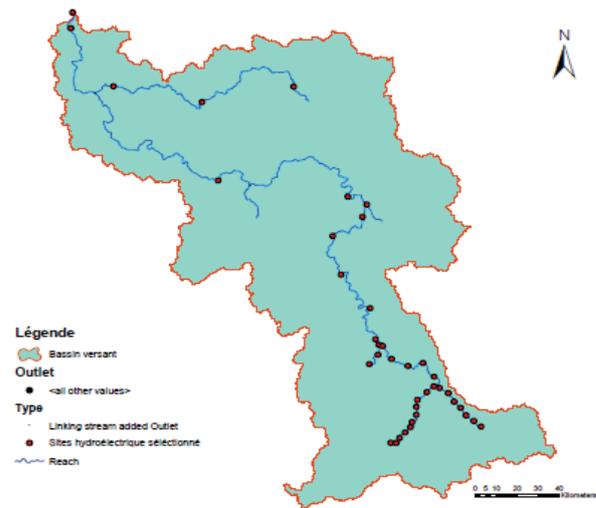


Fig. 7. Cartes des trente-cinq (35) sites sélectionnés

Tableau 2. Information des différentes cours d'eau du bassin

Cours d'eau	Longueur du cours d'eau (Km)	Altitude max (m)	Altitude min (m)	Différence altitude (m)	Nombre de sites	Pente	Distance moyenne entre site (Km)
1	67,84	24	12	12	1	0,01	0
2	164,88	88	24	64	3	0,03	54,9
3	152,83	54	24	30	1	0,01	76,41
4	109,57	103	54	49	2	0,04	54,78
5	24,78	65	54	11	0	0,04	0
6	12,87	107	103	4	0	0,03	0
7	138,92	205	103	102	5	0,07	27,78
8	19,97	283	205	78	3	0,39	6,65
9	54,71	255	205	50	2	0,09	27,35
10	38,2	411	255	156	7	0,4	5,45
11	58,58	489	255	234	11	0,39	5,32

3.3. Courbe des débits classés de chaque site sélectionné

Étant donné que sur les 35 sites sélectionnés, il n'y a pas de mesures du débit des cours d'eau, le modèle SWAT a été utilisé pour générer le débit quotidien sur ces sites pour chacune des 8 années allant de 1990 à 1998. La courbe de durée du débit pour tous ces sites a été Représentée à l'aide de la méthode de position de Weibull sur la figure 8.

Les débits sur chaque site identifié qui sont atteints ou dépassés 40 %, 50 % et 60 % du temps sont calculés, et le potentiel hydroélectrique correspondant est évalué. Les résultats pour l'ensemble des 35 sites sont présentés dans le tableau 3.

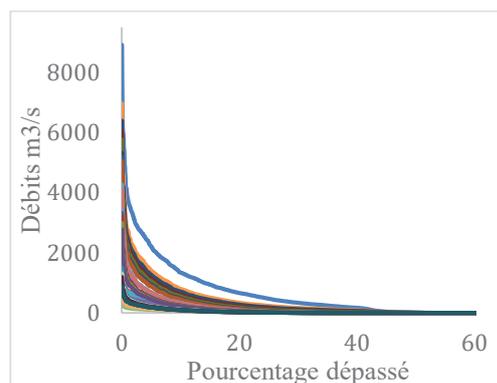


Fig.8. Courbe des débits classés de chaque site du bassin

Tableau 3. Estimation du potentiel

Sites sélectionnés	Débits (m3/s)			Puissance (W)		
	Q40	Q50	Q60	P40	P50	P60
1	176,80	11,93	0,02	34652800	2338280	3382,96
2	179,00	14,93	0,75	35084000	2926280	146960,8
3	14,24	2,32	0,74	2791040	455504	144687,2
4	19,46	3,46	0,80	3814160	677180	156114
5	36,32	5,38	0,83	7118720	1055068	163150,4
6	128,60	13,49	1,74	25205600	2644040	341432
7	92,10	7,80	0,92	18051600	1528016	179751,6
8	71,25	8,21	1,77	13965000	1608572	347508
9	13,47	2,14	0,74	2640120	419832	145745,6
10	12,92	1,12	0,28	2532320	219324	55605,2
11	5,70	0,73	0,18	1116808	142766,4	35299,6
12	0,31	0,16	0,12	60799,2	30458,4	22696,8
13	0,06	0,02	0,02	11697,28	3959,2	2953,72
14	0,08	0,00	0,00	16585,52	814,576	582,512
15	0,14	0,05	0,01	27714,4	8870,96	1190,896
16	0,01	0,01	0,01	2263,8	1759,884	1276,744
17	0,21	0,13	0,10	41473,6	25813,2	19835,2
18	0,22	0,13	0,10	42159,6	25421,2	18892,44
19	0,02	0,01	0,01	4898,04	2597	1477,448
20	0,04	0,03	0,02	7908,6	6136,76	4500,16
21	0,04	0,02	0,01	7773,36	4068,96	2342,2
22	0,01	0,00	0,00	1883,364	977,844	564,48
23	0,04	0,02	0,01	8661,24	4517,8	2573,48
24	0,01	0,00	0,00	1502,536	634,256	351,82
25	0,01	0,00	0,00	1166,396	617,008	351,036
26	0,05	0,01	0,01	10188,08	2120,72	1552,908
27	0,01	0,01	0,00	1349,46	1012,144	742,644
28	0,09	0,00	0,00	17122,56	584,08	397,292
29	0,02	0,00	0,00	4800,04	481,376	349,272
30	0,13	0,04	0,00	25421,2	8163,4	652,876
31	0,17	0,10	0,05	32732	19121,76	9504,04

Sites sélectionnés	Débits (m ³ /s)			Puissance (W)		
	Q40	Q50	Q60	P40	P50	P60
32	0,08	0,02	0,01	15172,36	3745,56	2742,04
33	0,22	0,15	0,11	42238	29654,8	20991,6
34	0,10	0,01	0,00	19029,64	1597,008	195,3728
35	0,23	0,16	0,12	44531,2	31810,8	23480,8
Puissance total (W)				147421239,5	14229801,1	1859835,141

IV. CONCLUSION

Le présent travail visait à estimer le potentiel hydroélectrique du bassin versant de Kedougou. Dans un premier temps, nous avons calibré et validé (1990-1998) le modèle SWAT avec un Nash de 0,75 et 0,79, et un R2 de 0,75 et 0,64 respectivement pour le calibrage et la validation. Ensuite, nous avons utilisé les flux simulés au niveau de chaque site pour calculer leur potentiel hydroélectrique à partir de l'équation 1. La localisation des sites est basée sur deux critères majeurs : la hauteur de chute de 20m et un espacement entre 2 sites entre un minimum de 500m et un maximum de 3000m. Enfin, nous avons tracé la courbe de durée du débit pour chaque site, puis nous avons déterminé le potentiel P40, P50 et P60 respectivement égal à 147421 Kw, 14229 Kw et 1859 Kw.

En effet, l'hydroélectricité est un enjeu majeur. Il est essentiel de la préserver et de la développer en forgeant un compromis nécessaire entre les différents usages de l'eau pour permettre aux générations futures de bénéficier d'un véritable choix de sources d'énergie renouvelables. A cet égard, les perspectives de développement doivent être fortement encouragées par les pouvoirs publics et s'accompagner de la création d'un environnement stable tant d'un point de vue réglementaire que financier. En Afrique, le développement de l'hydroélectricité n'a pas du tout changé, et pourtant les ressources et les technologies accessibles ne manquent pas, si ce n'est la détermination et le manque de sensibilisation de la plupart des autorités africaines. A cet égard, cette étude a proposé une ligne de réflexion et d'action pour assurer une exploitation optimale de notre potentiel hydroélectrique.

REFERENCES

- Abbasa, N., Wasimia, S.A. and Al-Ansari, N. (2016) Assessment of Climate Change Impact on Water Resources of Lesser Zab, Kurdistan, Iraq Using SWAT Model. *Engineering*, 8, 697-715. <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2016.810064>
- Abbas, N., Wasimi, S.A. and Al-Ansari, N. (2016) Model-Based Assessment of Climate Change Impact on Isaac River Catchment, Queensland. *Engineering*, 8, 460-470. <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2016.87043>
- Arnold J. G., Srinivasan R., Mutiah R. S. and Williams J. R., (1998). "Large Area Hydrological Modeling and Assessment. Part I: Model Development, Journal of the American Water Resources Association, Vol. 34, No. 1, pp. 73-89. doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x.
- Ashish Pandey, Daniel Lalrempuia & S.K. Jain (2015) Assessment of hydropower potential using spatial technology and SWAT modelling in the Mat River, southern Mizoram, India, *Hydrological Sciences Journal*, 60:10, 1651-1665, DOI: 10.1080/02626667.2014.943669.
- Arjumand Z. Zaidi, Majid Khan (2018) Identifying high potential locations for run-of-the-river hydroelectric power plants using GIS and digital elevation models, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 89 (2018) 106–116, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.025>.
- Breezy (2018) small hydropower, Elsevier, chapitre 6, Hydropower. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812906-7.00006-5>, The Hydropower Resource, Hydropower Sites and Types of Hydropower Plants, Elsevier, chapitre 2, Hydropower. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812906-7.00002-8>, Hydropower, chapitre 8 Power Generation Technologies. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102631-1.00008-0>
- Bousquet Cé, Samora I, Manso P, Rossi L, Heller P, Schleiss AJ (2017) Assessment of hydropower potential in wastewater systems and application to Switzerland, *Renewable Energy*, doi: 10.1016/j.renene.2017.05.062.
- Christian Bauer (2015) Assessment of Run-Of-River Hydropower Potential and Power Supply Planning in Nepal using Hydro Resources, thesis, P 1-97.
- Da Silva, M.G., de Oliveira de Aguiar Netto, A., de Jesus Neves, R.J., do Vasco, A.N., Almeida, C. and Faccioli, G.G. (2015) Sensitivity Analysis and Calibration of Hydrological Modeling of the Watershed Northeast Brazil. *Journal of Environmental Protection*, 6, 837-850. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2015.68076>.

- Dante G. Larentis, Walter Collischonn, Francisco Olivera, Carlos E.M. Tucci (2010), Gis-based procedures for hydropower potential spotting, *Energy* (2010), doi: 10.1016/j. energy.07.014.
- Francisco Manzano-Agugliaroa, Myriam Taher, Antonio Zapata-Sierra, Adel Juaidi, Francisco G. Montoya. An overview of research and energy evolution for small hydropower in Europe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.013>
- Konstantinos X Soulis Dimitris Manolakos, John Anagnostopoulos Dimitris Papantonis (2016) Development of a geo-information system embedding a spatially distributed hydrological model for the preliminary assessment of the hydropower potential of historical hydro sites in poorly gauged areas, *Renewable Energy* 92 (2016) P.222-232
<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.013>
- Kusre B.C., Baruah D.C., Bordoloi P.K., Patra S.C. (2009) Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India), *Applied Energy* 87 (2010) 298–309, doi:10.1016/j.apenergy.2009.07.019
- Lea Kosnik (2010) The potential for small scale hydropower development in the US, *Energy Policy*, doi:10.1016/j.enpol.2010.04.049.
- Nagendra Kayastha, Umesh Singh and Krishna Prasad Dulal (2018), A GIS Approach for Rapid Identification of Run-of-River (RoR) Hydropower Potential Site in Watershed: A case study of Bhote Koshi Watershed, Nepal, *HYDRO NEPAL | ISSUE NO. 23*
- Ravi Shanker Mathi, Dr. Tanweer Desmukh (2016) Spatial Technology for Mapping Suitable Sites for Run-of-River Hydro Power Plants, *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*, ISSN: 2249-6149.
- Rovick P. Tarife, Anacita P. Tahud, Ellen Jane G. Gulben, Haroun Al Raschid Christopher P. Macalisang, and Ma. Teresa T. Ignacio (2017) Application of Geographic Information System (GIS) in Hydropower Resource Assessment: A Case Study in Misamis Occidental, Philippines, *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 8, No. 7 doi: 10.18178/ijesd.2017.8.7.1005.
- Thomas M. Mosier, Kendra V. Sharp, David F. Hill (2016) The Hydropower Potential Assessment Tool (HPAT): Evaluation of run-of-river resource potential for any global land area and application to Falls Creek, Oregon, USA. *Renewable Energy* 97 (2016) 492-503, <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.06.002>.



Journal de Physique de la Soaphys
Volume imprimé avec la contribution de :

