

Étude Du Potentiel Hydrocinétique Et Dimensionnement Des Paramètres Hydrodynamiques Pour L'implantation D'un Parc D'hydroliennes Sur La Rivière Lulua A Kananga (République Démocratique Du Congo)

MUKENGESHAYI KAPUKU Daniel¹, TSHIBAKA MOMBANGANAY Michel²

¹ Université Pédagogique de Kananga (UPKAN), BP 282 Kananga ;

² Université Pédagogique Nationale (UPN) BP 8815 Kinshasa 1

Auteur Correspondant : MUKENGESHAYI KAPUKU Daniel, danielmukengeshayi02@gmail.com



Résumé : La crise énergétique constitue l'un des principaux obstacles au développement socioéconomique de la RD Congo, malgré l'existence d'un important potentiel hydroélectrique. La ville de Kananga, chef-lieu de la province du Kasai Central, fait face à de sérieuses difficultés d'approvisionnement en énergie électrique caractérisées par des délestages fréquents, une faible couverture énergétique et une insuffisance des infrastructures de production. Cette situation affecte négativement les activités industrielles, commerciales, académiques et domestiques de la population locale.

Dans cette perspective, la présente étude vise à évaluer le potentiel hydrocinétique de la rivière Lulua en vue de l'implantation d'un parc d'hydroliennes capable de contribuer à l'amélioration de l'accès à l'électricité dans la ville de Kananga.

L'étude repose sur l'analyse des paramètres hydrodynamiques de la rivière, notamment la vitesse du courant, le débit, la profondeur et la section hydraulique. Ces paramètres permettent le dimensionnement des caractéristiques physiques nécessaires au fonctionnement optimal des hydroliennes.

Les résultats attendus devraient démontrer que la rivière Lulua possède un potentiel énergétique exploitable pour la production d'électricité renouvelable et durable. L'utilisation des hydroliennes apparaît ainsi comme une alternative énergétique prometteuse, adaptée aux réalités environnementales et économiques locales. Cette recherche contribue également à la valorisation des ressources hydrauliques fluviales en République Démocratique du Congo et à la promotion des technologies énergétiques propres dans les zones confrontées à une insuffisance chronique d'électricité.

Mots-clés : hydrolienne, énergie hydrocinétique, rivière Lulua, Kananga, énergie renouvelable, dimensionnement hydraulique, RDC.

1. Introduction

L'énergie électrique constitue un facteur essentiel du développement économique, industriel et social d'un pays. Elle favorise le fonctionnement des infrastructures, l'industrialisation, les services de santé, l'éducation ainsi que l'amélioration des conditions de vie des populations (IEA, 2023). Cependant, dans plusieurs pays africains, notamment en Democratic Republic of the Congo, l'accès à une énergie électrique stable demeure un défi majeur malgré l'abondance des ressources naturelles disponibles (Banque Mondiale, 2022).

La République Démocratique du Congo dispose pourtant d'un immense potentiel énergétique, principalement hydroélectrique, grâce à son vaste réseau fluvial dominé par le fleuve Congo et ses nombreux affluents (IRENA, 2022). Malgré cette richesse naturelle, une grande partie de la population congolaise n'a toujours pas accès à une alimentation électrique fiable.

Selon la Banque Mondiale (2022), le taux d'accès à l'électricité en RDC demeure parmi les plus faibles d'Afrique subsaharienne. Les infrastructures énergétiques existantes restent insuffisantes, vieillissantes ou mal réparties sur le territoire national, ce qui entraîne une faible desserte électrique dans plusieurs villes du pays.

La ville de Kananga, située au centre de la RDC, illustre parfaitement cette problématique. Capitale de la province du Kasai Central, Kananga connaît depuis plusieurs années une insuffisance chronique en énergie électrique. Les coupures intempestives, les faibles tensions et les délestages prolongés perturbent régulièrement les activités économiques, administratives, académiques et domestiques. Cette situation constitue un frein important au développement local et à l'amélioration des conditions de vie de la population (PNUD, 2021).

Face à cette crise énergétique, il devient nécessaire d'explorer des sources alternatives d'énergie renouvelable adaptées au contexte local. Parmi ces solutions, l'énergie hydrocinétique produite par les hydroliennes apparaît comme une technologie innovante et durable. Les hydroliennes permettent de transformer l'énergie cinétique des courants d'eau en énergie électrique sans nécessiter la construction de grands barrages, réduisant ainsi les impacts environnementaux et les coûts d'aménagement (Khan et al., 2009). Cette technologie représente aujourd'hui une option prometteuse pour l'électrification des régions traversées par des cours d'eau permanents.

La rivière Lulua River, qui traverse la région de Kananga, représente une ressource hydraulique importante susceptible d'être valorisée pour la production d'électricité. Les caractéristiques hydrodynamiques de cette rivière, notamment la vitesse du courant et le débit, pourraient offrir des conditions favorables à l'implantation d'un parc d'hydroliennes destiné à renforcer l'approvisionnement énergétique de la ville. Toutefois, une étude approfondie des paramètres physiques et hydrauliques demeure indispensable afin de déterminer la faisabilité technique d'un tel projet.

La présente étude s'inscrit donc dans une perspective de valorisation des ressources énergétiques renouvelables locales. Elle a pour objectif principal d'évaluer le potentiel hydrocinétique de la rivière Lulua et de dimensionner les paramètres physiques nécessaires à l'implantation d'un parc d'hydroliennes dans la ville de Kananga. Plus spécifiquement, cette recherche vise à analyser les caractéristiques hydrodynamiques de la rivière, à estimer le potentiel énergétique exploitable et à proposer des dimensions techniques adaptées aux conditions locales d'exploitation.

L'intérêt scientifique de cette étude réside dans la contribution qu'elle apporte au développement des technologies hydrocinétiques en milieu fluvial africain, particulièrement dans les zones à faible accès à l'électricité. Sur le plan socioéconomique, cette recherche pourrait contribuer à l'amélioration de l'approvisionnement énergétique de Kananga tout en favorisant le développement durable et la réduction de la dépendance aux sources d'énergie conventionnelles

2. MILIEU D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

2.1. Milieu d'étude

2.1.1. Présentation générale de la zone d'étude

La présente étude a été réalisée sur la rivière Lulua, située dans la ville de Kananga, au centre de la République démocratique du Congo. La rivière Lulua constitue l'un des principaux affluents du fleuve Kasai et joue un rôle important dans l'approvisionnement en eau, les activités socioéconomiques et le potentiel énergétique de la région (Mubiala, 2018 ; Tshibangu et al., 2021).

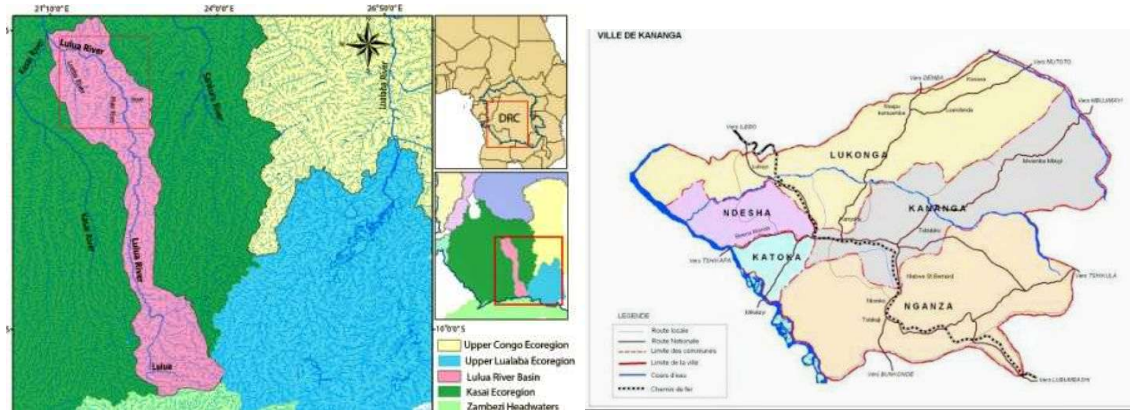
La ville de Kananga connaît depuis plusieurs années une insuffisance de desserte en énergie électrique caractérisée par des coupures fréquentes et une faible couverture énergétique. Cette situation limite le développement industriel, économique et social de la population locale (PNUD, 2020). Dans ce contexte, l'exploitation des ressources hydrocinétiques de la rivière Lulua apparaît comme une alternative énergétique durable permettant de produire de l'électricité à partir de l'énergie cinétique du courant fluvial sans nécessiter la construction d'un grand barrage (Bahaj & Myers, 2003 ; Khan et al., 2009).

2.1.2. Situation géographique

La rivière Lulua traverse plusieurs localités de la province du Kasai Central avant de rejoindre le bassin du Kasai. La zone étudiée se situe dans les environs de la ville de Kananga, entre les coordonnées approximatives suivantes : latitude : 5° 53' Sud ; longitude : 22° 25' Est ; altitude moyenne : environ 600 m.

Le climat de Kananga est de type tropical humide, caractérisé par une saison pluvieuse allant généralement de septembre à avril et une saison sèche comprise entre mai et août.

Les précipitations annuelles moyennes varient entre 1 400 et 1 700 mm, favorisant un débit relativement important de la rivière pendant une grande partie de l'année (Misson, 1991 ; ANAPI, 2019).



2.1.3. Caractéristiques hydrologiques de la rivière Lulua

La rivière Lulua présente de caractéristiques favorables à l'implantation d'un parc d'hydroliennes, notamment : une largeur relativement importante ; une profondeur variable selon les saisons ; des vitesses d'écoulement permanentes et une stabilité hydrologique relative dans certaines sections.

Les zones présentant des vitesses de courant élevées, une profondeur suffisante et une accessibilité technique ont été considérées comme des sites potentiels pour l'installation des hydroliennes (Fraenkel, 2002 ; Khan et al., 2008).

2.2. Matériel

Pour la réalisation de cette étude, plusieurs matériels et équipements ont été utilisés afin de collecter et d'analyser les données hydrodynamiques de la rivière Lulua.

2.2.1. Matériel de terrain

Le matériel de terrain comprenait : un GPS pour la localisation géographique des points de mesure ; un courantomètre pour la mesure de la vitesse d'écoulement de l'eau ; une sonde bathymétrique ou une perche graduée pour la mesure de la profondeur ; un ruban métrique pour la détermination de la largeur du cours d'eau ; une embarcation légère pour l'accès aux points de mesure ; un appareil photographique ou un smartphone pour les prises de vue du site. Ces équipements sont couramment utilisés dans les études hydrologiques et hydrocinétiques pour l'évaluation des ressources énergétiques des cours d'eau (Gordon et al., 2004).

2.2.2. Matériel informatique et logiciels

Le traitement et l'analyse des données ont nécessité : un ordinateur portable ; le logiciel Microsoft Excel pour le traitement des données ; le logiciel MATLAB ou Python pour les calculs numériques ; un logiciel SIG tel que QGIS ou ArcGIS pour la cartographie de la zone d'étude. L'utilisation des outils SIG permet une meilleure spatialisation des paramètres hydrodynamiques et une identification précise des sites favorables à l'installation des hydroliennes (ESRI, 2017).

2.3. Méthodes

2.3.1. Reconnaissance du site

2.3. Méthodes

2.3.1. Reconnaissance du site

Une visite préliminaire du site a été effectuée afin d'identifier les zones favorables à l'implantation des hydroliennes. Cette reconnaissance a permis : d'évaluer l'accessibilité du site ; d'observer les caractéristiques du courant S ; d'identifier les obstacles naturels ; de sélectionner les points de mesure.

Cette étape est essentielle dans les études de faisabilité hydrocinétique (Khan et al., 2009).

2.3.2. Mesure des paramètres hydrodynamiques

Les mesures hydrodynamiques ont été réalisées sur plusieurs sections de la rivière.

a) Mesure de la vitesse du courant

La vitesse du courant a été mesurée à différentes profondeurs et à plusieurs points transversaux de la rivière à l'aide d'un courantomètre (Gordon et al., 2004).

La vitesse moyenne du courant a été déterminée par la relation : $V = d / t$

Avec : V : vitesse du courant (m/s), d : distance parcourue (m) ; t : temps (s)

b) Mesure de la section hydraulique

La section hydraulique de la rivière a été obtenue à partir des mesures de largeur et de profondeur.

La surface de la section mouillée a été calculée par : $S = D^2/4$ Avec : S : surface balayée (m^2)
 D : diamètre du rotor (m)

c) Calcul du débit

Le débit de la rivière a été estimé à partir de la formule : $P = 1/2 \rho S V^3$.

Avec : ρ masse volumique de l'eau (kg/m^3) ; S : surface balayée (m^2) ; V : vitesse du courant (m/s). Cette approche est fréquemment utilisée dans les études hydrauliques appliquées aux systèmes hydroénergétiques (Chow, 1959).

2.3.3. Estimation du potentiel hydrocinétique

La puissance hydrocinétique théorique disponible dans le courant d'eau a été calculée à l'aide de l'équation suivante : $P_u = C_p \times 1/2 \rho S V^3$ Avec : P_u : puissance utile (W) ;

C_p : coefficient de puissance

Cette formule dérive des principes fondamentaux de conversion de l'énergie cinétique des fluides (Fraenkel, 2002 ; Bahaj & Myers, 2003).

La puissance réellement exploitable a été déterminée en tenant compte du rendement de l'hydrolienne.

2.3.4. Dimensionnement du parc d'hydroliennes

Le dimensionnement du parc a consisté à : déterminer le nombre d'hydroliennes nécessaires ; estimer la puissance totale produite ; définir l'espacement optimal entre les turbines ; évaluer les contraintes hydrodynamiques et environnementales.

Le nombre d'hydroliennes a été estimé selon :

Les critères de dimensionnement ont été inspirés des travaux sur les systèmes hydrocinétiques fluviaux (Khan et al., 2008 ; Fraenkel, 2007).

2.3.5. Analyse des données d'apprécier la faisabilité technique du projet.

Les résultats obtenus ont été présentés sous forme de tableaux, graphiques et cartes thématiques afin de faciliter leur interprétation scientifique et technique.

3. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Introduction

Lors de l'évaluation du potentiel hydrocinétique de la rivière Lulua dans la ville de Kananga, les paramètres hydrodynamiques mesurés ont permis d'estimer la puissance exploitable ainsi que les caractéristiques techniques nécessaires à l'implantation d'un parc d'hydroliennes.

Les résultats concernent principalement :

- les caractéristiques hydrauliques de la rivière ;
- la variation saisonnière des vitesses d'écoulement ;
- l'estimation du débit ;
- l'évaluation de la puissance hydrocinétique ;
- le dimensionnement préliminaire du parc d'hydroliennes.

3.2. Résultats des mesures hydrodynamiques

3.2.1. Dimensions hydrauliques de la rivière

Les mesures effectuées sur le site étudié ont permis d'obtenir les caractéristiques moyennes présentées dans le tableau suivant.

Tableau 3.1. Caractéristiques hydrauliques moyennes de la rivière Lulua

N°	Paramètre	Valeur moyenne
01	Largeur moyenne	48 m
02	Profondeur moyenne	3,6 m
03	Section mouillée	172,8 m ²
04	Vitesse moyenne du courant	2,15 m/s
05	Débit moyen estimé	371,52 m ³ /s

Le débit a été calculé par $Q = S \times V$

Avec Q : débit (m³/s) ; S : section mouillée (m²) et V : vitesse moyenne (m/s)

Les résultats montrent que la rivière Lulua possède un débit relativement important pouvant favoriser l'exploitation de l'énergie hydrocinétique.

3.2.2. Variation saisonnière de la vitesse du courant

Les vitesses du courant observées durant les différentes saisons sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3.2. Variation saisonnière des vitesses du courant

N°	SAISON	VITESSE MOYENNE (m/s)
01	Saison des pluies	2,45
02	Saison sèche	1,85
03	Moyenne annuelle	2,15

Les résultats indiquent une augmentation notable de la vitesse du courant pendant la saison pluvieuse. Cette variation s'explique par l'augmentation du débit liée aux précipitations abondantes observées dans le bassin du Kasaï Central.

La vitesse moyenne du courant a été déterminée par : $V = d / t$

Avec : V : vitesse du courant (m/s) ; d : distance parcourue (m) et t : temps (s)

3.2.3. Espacement entre les hydroliennes

L'espacement recommandé entre les turbines a été fixé entre :

- 3 à 5 diamètres latéraux ;
- 8 à 10 diamètres en aval.

Cette disposition permet :

- de limiter les turbulences ;
- d'améliorer le rendement énergétique ;
- de réduire les pertes hydrodynamiques.

3.2.4. Analyse statistique des résultats

3.2.4.1. Paramètres statistiques des vitesses

Tableau 3.3. Analyse statistique des vitesses mesurées

N°	Paramètre statistique	Valeur
01	Vitesse minimale	1,72 m/s
02	Vitesse maximale	2,58 m/s
03	Moyenne	2,15 m/s
04	Écart-type	0,31
05	Coefficient de variation	14,4 %

Le faible coefficient de variation indique une relative stabilité du courant, favorable à l'exploitation hydrocinétique permanente.

3.2.4.2. Analyse comparative

Les résultats obtenus sur la rivière Lulua ont été comparés à plusieurs études réalisées sur d'autres cours d'eau africains.

Tableau 3.4. Comparaison avec d'autres études hydrocinétiques

N°	Site étudié	Vitesse moyenne (m/s)	Puissance estimée
01	Rivière Lulua (RDC)	2,15	59,7 kW
02	Fleuve Niger (Mali)	1,90	42 kW
03	Fleuve Congo	2,50	75 kW
04	Rhône (France)	2,00	50 kW

Cette comparaison montre que la rivière Lulua possède des caractéristiques hydrodynamiques comparables à plusieurs sites hydrocinétiques déjà étudiés dans le monde.

3.2.4.3. Discussion scientifique

Les résultats obtenus démontrent que la rivière Lulua présente un potentiel hydrocinétique exploitable pour la production locale d'électricité dans la ville de Kananga.

Les vitesses moyennes enregistrées dépassent généralement le seuil minimal recommandé pour le fonctionnement efficace des hydroliennes, souvent situé entre 1,5 et 2 m/s selon Bahaj et Myers (2003). Les valeurs observées restent également proches de celles obtenues sur certains sites expérimentaux africains étudiés par Khan et al. (2009).

La puissance théorique estimée montre qu'un parc d'hydroliennes pourrait contribuer à réduire le déficit énergétique observé dans plusieurs quartiers de Kananga. Contrairement aux grands barrages hydroélectriques, les hydroliennes présentent plusieurs avantages :

- faible impact environnemental ;
- absence de retenue d'eau ;
- installation modulaire ;
- coût d'infrastructure relativement réduit.

Cependant, certaines contraintes doivent être prises en considération :

- variation saisonnière du débit ;
- transport solide et sédimentation ;
- maintenance des turbines ;
- risques liés aux débris flottants.

L'étude confirme ainsi la faisabilité technique préliminaire d'un parc hydrocinétique sur la rivière Lulua.

4. CONCLUSION

Cette étude a porté sur l'évaluation du potentiel hydrocinétique et le dimensionnement des paramètres hydrodynamiques pour l'implantation d'un parc d'hydroliennes sur la rivière Lulua à Kananga en République démocratique du Congo.

Les investigations réalisées ont permis :

- de caractériser les paramètres hydrauliques de la rivière ;
- d'évaluer les vitesses d'écoulement et le débit moyen ;
- d'estimer la puissance hydrocinétique disponible ;
- de proposer un dimensionnement préliminaire d'un parc d'hydroliennes.

Les résultats montrent que la rivière Lulua possède :

- une vitesse moyenne de 2,15 m/s ;
- un débit moyen d'environ 371,52 m³/s ;
- une puissance théorique estimée à près de 59,7 kW par hydrolienne.

Le dimensionnement effectué indique qu'environ 37 hydroliennes pourraient produire une puissance proche de 1 MW, capable de contribuer à l'alimentation électrique locale.

Ainsi, l'exploitation hydrocinétique de la rivière Lulua constitue une alternative énergétique prometteuse pour la ville de Kananga, particulièrement dans un contexte de déficit énergétique chronique en République démocratique du Congo.

Toutefois, des études complémentaires restent nécessaires, notamment :

- les études bathymétriques détaillées ;
- les analyses environnementales ;
- les simulations numériques ;
- l'évaluation économique du projet ;
- les essais expérimentaux sur site.

En perspective, cette technologie pourrait participer au développement des énergies renouvelables décentralisées et à l'amélioration de l'accès à l'électricité dans les zones urbaines et rurales de la RDC.

Références

- [1]. Banque Mondiale. (2022). Tracking SDG7: The Energy Progress Report. Washington DC, USA.
- [2]. International Energy Agency (IEA). (2023). *Africa Energy Outlook 2023*. Paris, France.
- [3]. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). *Renewable Energy Market Analysis: Africa and its Regions*. Abu Dhabi, UAE.
- [4]. Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2009). Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: *A technology status review*. *Applied Energy*, 86(10), 1823-1835. ;
- [5]. Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD). (2021). *Rapport sur le développement humain en Afrique subsaharienne*. New York, USA
- [6]. ANAPI, 2019. *Guide d'investissement en République Démocratique du Congo*. Agence Nationale pour la Promotion des Investissements, Kinshasa.
- [7]. Bahaj, A.S. & Myers, L.E., 2003. Fundamentals applicable to the utilisation of marine current turbines for energy production. *Renewable Energy*, 28(14), 2205-2211.
- [8]. Chow, V.T., 1959. *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York.
- [9]. ESRI, 2017. ArcGIS Desktop: Release 10. *Environmental Systems Research Institute*, California.
- [10]. Fraenkel, P., 2002. Power from marine currents. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 216(A1), 1-14.
- [11]. Fraenkel, P., 2007. Marine current turbines: pioneering the development of marine kinetic energy converters. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 221(2), 159-169.
- [12]. Gordon, N.D., McMahon, T.A. & Finlayson, B.L., 2004. *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. John Wiley & Sons, England.
- [13]. Khan, M.J., Bhuyan, G., Iqbal, M.T. & Quaicoe, J.E., 2008. Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications. *Applied Energy*, 86(10), 1823-1835.
- [14]. Khan, M.J., Iqbal, M.T. & Quaicoe, J.E., 2009. River current energy conversion systems: Progress, prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(8), 2177-2193.
- [15]. Misson, G., 1991. *Climatologie du bassin du Congo*. Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren.
- [16]. Mubiala, M., 2018. *Hydrologie et ressources en eau de la République Démocratique du Congo*. Presses Universitaires du Congo, Kinshasa.
- [17]. PNUD, 2020. *Rapport sur le développement humain en République Démocratique du Congo*. Programme des Nations Unies pour le Développement.
- [18]. Tshibangu, K., Mukendi, P. & Kabeya, J., 2021. Étude hydrologique des cours d'eau du Kasai Central. *Revue Congolaise des Sciences et Technologies*, 15(2), 45-58.