



Analyse des avantages comparés et durables des systèmes d'adduction d'eau potable par énergie gravitationnelle et motorisée dans la Province du Kwango, République démocratique du Congo

[Analysis of the Comparative and Sustainable Advantages of Gravity-Based and Motorized Potable Water Supply Systems in Kwango Province, Democratic Republic of the Congo]

Baby le vent Kabidi Banunginikwau^{1*}, Génie-Spirou Kiala Lutonadio¹ & Luwesi Ngonzo Cush²

¹Ecole Régionale de l'Eau (ERE) & Centre de Recherche en Ressources en Eau du Bassin du Congo (CRREBaC), BP 127 Université de Kinshasa, RD Congo

²African University of Management and Technologies, Congo-Brazzaville

Résumé

Dans un contexte de transition énergétique et de rareté des infrastructures énergétiques de base en République Démocratique du Congo, il paraît pertinent de mener cette étude afin d'encourager les usagers des zones rurales à privilégier l'usage de l'énergie gravitaire, lorsque cela est possible, pour desservir en eau potable les agglomérations en impasse hydrique. Cette étude, menée dans le territoire de Popokabaka, province du Kwango, vise à comparer trois systèmes d'adduction d'eau : gravitaire, hydraulique (turbine Kaplan) et thermique (groupe électrogène), sur une période de 2017 à 2025, afin d'identifier les solutions les plus durables pour les zones rurales. L'analyse repose sur une méthodologie comparative intégrant les coûts d'exploitation, les performances énergétiques normalisées et une évaluation AFOM, à partir de données fournies par les techniciens d'associations d'usagers. Pour chaque catégorie, un cas spécifique a été retenu selon la disponibilité des données, certains systèmes n'étant plus en activité. Les résultats montrent que le système gravitaire, avec un coût mensuel de 144 \$, se distingue par sa faible empreinte environnementale et sa simplicité technique, constituant l'option la plus viable lorsque la topographie est favorable. Le système hydraulique représente une alternative pertinente dans les zones à fortes pentes, malgré des coûts plus élevés (372 \$/mois) et une complexité accrue. À l'inverse, le système thermique apparaît économiquement et écologiquement désavantageux (769,56 \$/mois), en raison de sa dépendance au carburant et de ses émissions de gaz à effet de serre. Il est recommandé de privilégier les solutions gravitaires lorsque les conditions naturelles le permettent et d'intégrer les ressources hydriques locales dans la planification énergétique territoriale. Des contraintes liées à la disponibilité des données ont été observées, l'étude étant limitée aux territoires de Popokabaka, Kasongo-Lunda et Kahemba. Des recherches complémentaires sont encouragées.

Mots clés : Système d'adduction d'eau gravitaire ; Approvisionnement en eau durable ; Développement rural ; Coût d'exploitation ; Popokabaka.

Abstract

In a context of energy transition and limited basic energy infrastructure in the Democratic Republic of the Congo, it is relevant to conduct this study in order to encourage rural users to prioritize gravitational energy, where possible, to supply drinking water to communities facing water scarcity. This study, conducted in the Popokabaka territory in Kwango Province, aims to compare three water supply systems: gravitational, hydraulic (Kaplan turbine), and thermal (diesel generator) over the period 2017 to 2025, in order to identify the most sustainable solutions for rural areas. The analysis is based on a comparative methodology integrating operating costs, standardized energy performance, and a SWOT evaluation, using data provided by technicians from user associations. For each category, a specific case was selected based on data availability, as some systems are no longer operational. The results show that the gravitational system, with a monthly cost of \$144, stands out for its low environmental footprint and technical simplicity, making it the most viable option when topographical conditions are favorable. The hydraulic system represents a relevant alternative in steep areas, despite higher costs (\$372/month) and greater complexity. In contrast, the thermal system appears economically and environmentally disadvantageous (\$769.56/month), due to its dependence on fuel and greenhouse gas emissions. It is recommended to prioritize gravitational solutions whenever natural conditions permit and to integrate local water resources into territorial energy planning. Data availability constraints were observed, as the study was limited to Popokabaka, Kasongo-Lunda, and Kahemba. Further research is encouraged.

Keywords: Gravity-fed system; Sustainable water supply; Rural development; Popokabaka

*Auteur correspondant: Baby le vent Kabidi Banunginikwau, (kabidilevent007@gmail.com). Tél. : (+243) 897854816

<https://orcid.org/0009-0001-1962-6148>; Reçu le 25/02/2026 ; Révisé le 23/03/2026 ; Accepté le 15/04/2026

DOI: <https://doi.org/10.59228/rcst.026.v5.i2.261>

Copyright: ©2026 Banunginikwau et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. Introduction

A l'ère de la transition énergétique, de nombreuses communautés, notamment dans les pays en développement, s'interrogent sur les moyens d'accéder à des sources d'énergie durables, propres et accessibles pour satisfaire leurs besoins fondamentaux (Maillard, 2013). La République Démocratique du Congo (RDC), malgré son immense potentiel en ressources énergétiques, demeure l'un des pays affichant les taux d'accès à l'électricité les plus faibles au monde : moins de 10 % dans les zones périurbaines, environ 25 % dans les zones urbaines, 44 % à Kinshasa, et seulement 1 % en moyenne dans les milieux ruraux (International Energy Agency, 2017 ; Banque mondiale, 2020).

Dans un tel contexte, la disponibilité d'énergies renouvelables, peu coûteuses et facilement exploitables devient un enjeu stratégique pour le développement socio-économique local (Manase, 2005). L'un des besoins énergétiques essentiels concerne l'adduction d'eau potable, un service fondamental qui nécessite une disponibilité énergétique stable et adaptée pour alimenter les systèmes de captage, de transport et de distribution (Chabaca, 2004 ; WHO & UNICEF, 2021).

Notons que la province du Kwango fait face aux sérieux problèmes de manque des réseaux 'adduction d'eau potable stable', on note à peine la ville de Kenge qui dispose d'une adduction étatique par la Regideso, alors la cité de Popokabaka est dotée d'une adduction gravitaire, la cité de Kasongo Lunda d'une adduction avec énergie thermique au collège N'temo des Jésuites, et celle de Kahemba disposant d'une adduction à énergie hydraulique, la cité de Feshi quant à elle est portée par des adductions isolées de faible importance appartenant aux individus. Donc il y a un réel souci d'infrastructure stable et hormis ces activités portées par certaines structures paysannes financées par l'UE pour Popo et Kasongo Lunda. Et dans tout ça la grande difficulté demeure le manque d'énergie susceptible de résorber le besoin lié aux services de desserte en eau potable.

L'adduction d'eau potable par gravité, souvent qualifiée de technologie "verte", (LEBCIR, & LACHEHEB, 2025) se distingue par son faible impact environnemental, son autonomie énergétique et ses coûts d'exploitation réduits. En exploitant simplement la force gravitationnelle, ce système convertit l'énergie potentielle de l'eau en énergie cinétique, permettant son transport sur de longues distances sans besoin d'énergie mécanique ou électrique additionnelle (Le Don, 2018 ; Fournier, 2016). En comparaison avec les

systèmes motorisés ou alimentés par des énergies fossiles ou renouvelables telles que le solaire ou l'hydroélectricité, l'adduction gravitaire présente une alternative économiquement viable et techniquement simple, particulièrement adaptée aux zones rurales enclavées (Boudoir, 2011 ; Gonçalves & Ferreira, 2020)

D'un point de vue écologique, l'adduction gravitaire préserve l'intégrité des écosystèmes hydriques, car l'excédent d'eau retourne naturellement dans le milieu, évitant ainsi toute altération significative du cycle hydrologique. Elle répond ainsi aux principes du développement durable en intégrant les dimensions de la viabilité économique, de la justice sociale et de la résilience environnementale (Gonçalves & Ferreira, 2020 ; UN-Water, 2018). En revanche, les systèmes motorisés, bien qu'efficaces dans certains contextes, exigent des investissements plus importants et une consommation constante d'énergie mécanique, notamment pour le fonctionnement des stations de pompage (Energie-Und Umweltpolitik, 1989 ; Uber Energie et Gravitation, 1929). Le recours aux turbines hydrauliques comme la Kaplan, souvent considérées comme une solution intermédiaire verte (Alonso, 2025). Estimation de paramètres énergétiques dans les aménagements hydroélectriques n'annule pas entièrement les contraintes techniques et économiques liées à la maintenance, à l'approvisionnement en pièces, ou à la dépendance aux variations du débit (Rapport de cartographie des sites hydroélectriques et solaires photovoltaïques, 2021).

La grande question à se poser est celle de savoir, s'il y a des avantages considérables à faire usage de la gravité comme source d'énergie par rapport aux énergies thermiques et hydrauliques en matière des adductions en milieu rural ?

C'est dans ce cadre que la présente étude s'inscrit dans une perspective comparative afin d'évaluer les avantages techniques, économiques et environnementaux des deux principales approches d'adduction d'eau potable gravitaire et motorisée dans le contexte spécifique de la province du Kwango, en République Démocratique du Congo. En choisissant comme modèle de référence un système motorisé relativement abordable utilisant une turbine Kaplan (à énergie hydraulique), l'analyse vise à mettre en évidence les écarts de performance et de durabilité entre les deux systèmes. Ainsi l'étude se convient pour ce faire d'évaluer ces quelques variables pour comprendre le problème ;

- Le coût d'entretien

- L'expertise locale de suivi et entretien de chaque système
- L'incidence environnementale de chaque système
- La durabilité de chaque adduction

Les résultats obtenus permettront de nourrir la réflexion sur les choix technologiques adaptés aux réalités rurales congolaises, dans une logique d'optimisation des ressources techniques, de réduction des coûts d'exploitation, et de renforcement de la résilience des services d'eau face au changement climatique.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

Le territoire de Popokabaka, situé dans la province du Kwango en République démocratique du Congo (RDC), se trouve dans le sud-ouest de la RDC, à des coordonnées approximatives de 5°43' sud et 16°35' est. Il partage une frontière avec l'Angola et s'étend sur 6 649 km², avec une densité de population de 93 hab. /km². Son chef-lieu, la ville éponyme, est traversé par la route nationale 16 et borde la rivière Kwango. Kwango fait face à des défis énergétiques majeurs malgré un potentiel renouvelable sous-exploité. Le territoire souffre d'un déficit énergétique criant avec un taux d'électrification extrêmement faible soit 0,05 %, comme pour toute la province dans la province du Kwango, avec une dépendance aux générateurs diesel coûteux (0,65 \$/kWh contre 0,14 \$/kWh via le réseau), et une insécurité persistante due aux attaques de la milice Mobondo qui ont contraint à la fermeture du poste de transformation de Bukanga Lonzo, pourtant capable de fournir 220 kV/33 kV (OCHA FISS, 2018). La zone d'étude concerne trois territoires de la province de Kwango, à savoir Kasongo Lunda pour l'énergie thermique, Kahemba pour l'énergie hydraulique et Popokabaka pour l'énergie gravitaire. La figure 1 présente la localisation géographique de la zone d'étude.

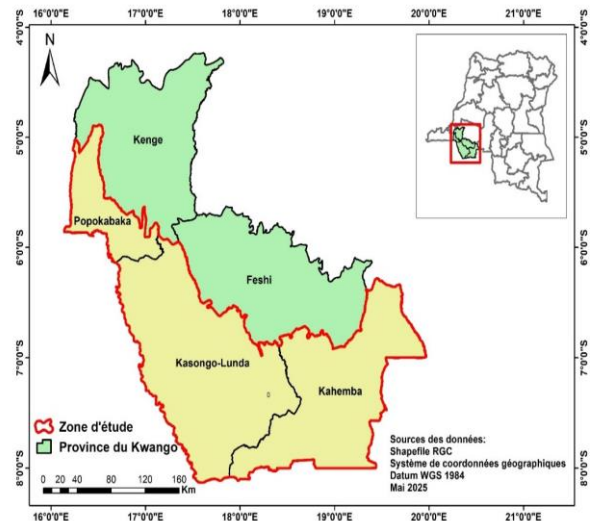


Figure 1. Localisation géographique de la zone d'étude (Source : auteur)

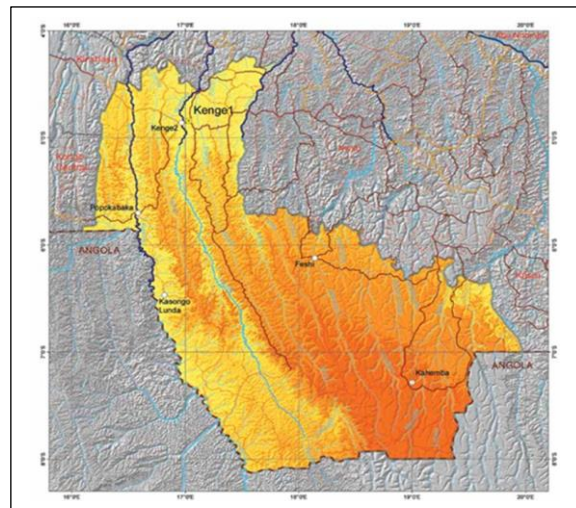


Figure 2. Aperçu hydrologique de la province du Kwango (Source : Omasombo, 2012)

2.2. Méthodes

2.2.1. Méthodes d'échantillonnage

Dans le cadre de cette étude, une méthode d'échantillonnage par échantillonnage raisonné a été retenue. Ce choix méthodologique repose sur la nécessité de sélectionner des systèmes d'adduction d'eau accessibles, représentatifs et pour lesquels les données étaient disponibles, fiables et vérifiables à un coût raisonnable. Les unités échantillonnées ont été choisies en fonction de critères tels que : la disponibilité des données techniques et opérationnelles, l'accessibilité géographique, la pertinence du système dans le contexte local, et la possibilité de croiser les différentes informations collectées.

Les trois ont été choisis à cause de leurs disponibilités à trouver les trois systèmes, et les

données disponibles, et hormis la Ville de Kenge, c'est parmi les territoires les plus en difficulté d'accessibilité surtout Kahemba et Kasongo Lunda. Donc pas facile de trouver des chercheurs qui s'intéressent à leurs problèmes à cause de l'impraticabilité des routes.

2.2.2. Collecte des données

La collecte des données a été effectuée à l'aide d'une combinaison de méthodes qualitatives et quantitatives, comprenant : des entretiens semi-structurés avec les responsables techniques et les usagers locaux, l'observation directe des installations, l'analyse documentaire des rapports techniques existants, et des relevés sur site pour vérifier certains paramètres techniques (débit, état des infrastructures, etc.) les échanges ont plus tourné sur les rapports des ASUREP, des officiels de chaque territoire et des entretiens avec les techniciens. Les données collectées sont liées aux systèmes d'adduction d'eau étudiés et s'appuient sur trois principales sources d'énergie y compris les activités de routine afférentes. Les données sur les coûts d'exploitation selon ces sources ont été également collectées. Ces données furent collectées en saison sèche et en saison de pluie et ont été recueillies depuis décembre 2017 à mai 2025.

2.2.3. Méthodes d'analyse des données

Les données collectées ont été analysées selon une approche descriptive et comparative. Les données quantitatives ont été traitées à l'aide de statistiques descriptives et inférences avec le logiciel R pour établir les comparaisons nécessaires entre les deux systèmes. Les données qualitatives issues des entretiens et observations ont été codées thématiquement afin de dégager les enjeux liés à la gestion des systèmes d'adduction étudiés et d'appuyer la reformulation de recommandation basées sur les données techniques et les expériences des acteurs et opérateurs du secteur. L'étude a fait usage du calcul des fréquences absolues et relatives, du rang, de la moyenne arithmétique, de l'écart-type et du Z score, du test d'incertitude par le Z score et les unités utilisées ici sont monétaires. Cette analyse holistique a permis d'avoir une compréhension intégrée des aspects techniques et sociaux des adductions sélectionnées.

3. Résultats

3.1. Présentation des résultats

3.1.1. Avantages économiques des systèmes d'adduction d'eau potable basés sur les énergies électrique ou thermique, hydraulique et gravitaire

L'analyse comparée des avantages et coûts économiques des systèmes d'adduction d'eau révèle

des écarts importants selon les technologies employées (figure 2). Le système gravitaire, avec un coût mensuel fixe de 144 \$, est de loin le plus économique, car il ne nécessite ni carburant, ni moteur, ni surveillance quotidienne. Il repose uniquement sur la dénivellation naturelle pour acheminer l'eau, réduisant ainsi la maintenance à quelques inspections et réparations de canalisations. Le système hydraulique (micro-hydroélectricité), plus complexe, implique une infrastructure supplémentaire (conduite forcée, turbine), mais reste modéré en coût avec 372 \$/mois, essentiellement répartis entre les frais de base communs (canalisations, bassin) et le contrôle journalier. A l'opposé, le système thermique au diesel est le plus onéreux avec 769,56 \$/mois, dont près de la moitié provient du mazout (324 \$), s'ajoutant à l'amortissement du groupe électrogène, l'huile moteur, et un besoin quotidien en main-d'œuvre technique (180 \$), rendant cette solution économiquement peu viable à long terme.

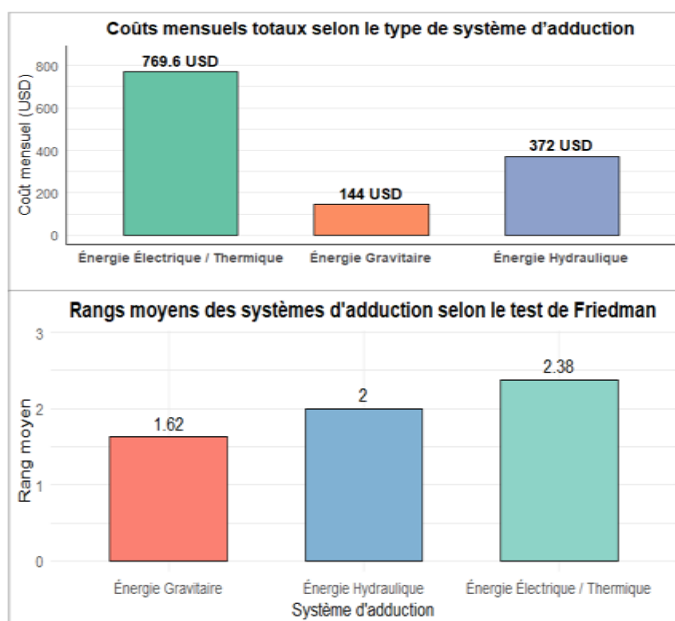


Figure 3. Performance économique des systèmes d'adduction d'eau potable basés sur les énergies électrique ou thermique, hydraulique et gravitaire (Source : Auteurs)

Tableau I. Synthèse chiffre de fonctionnement de chaque adduction

	SOURCE ENERGETIQUE	E. H	E. ELCT/THERMI	E. GRAVIT
	DESIGNATION/ACTIVITES DE ROUTINE			
1	Bassin d'aspiration	0	0	0
2	Pompe	0	0	0
3	Moteur	0	0	0
4	Conduite d'adduction	48	48	48
5	Château	0	0	0
6	Réseau de distribution	48	48	48
7	Entretien Bassin de captage/Barrage	48	48	48
8	Conduite forcée	48	48	0
9	Groupe électrogène	0	55.5555	0
10	Mazout	0	324	0
11	Lubrifiant/Saë	0	18	0
12	Entretien Source	0	0	0
13	Contrôle Journalier des machines	180	180	0
	TOTAL DE FRAIS DE FONCTIONNEMENT MESNSUEL	372	769.5555	144
	% PAR RAPPORT AU GROUPE ELCTROGENE	48.3395		18.7120
	% Par RAPPORT AU GROUPE TURBINE ET GRAVITATIONNEL			38.7096
	Moyenne	28.6153	59.1965	11.0769
	Ecart-Type	50.8027	93.2949	21.0493
	Z-score	0.56326	0.6345	0.5262

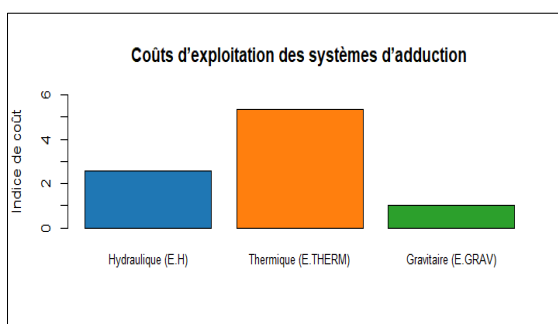


Figure 4. Rapport des coûts d'exploitation des systèmes d'adduction évalués

Ces différences de coût reflètent des spécificités techniques structurelles. Le système gravitaire est simple, passif, durable, et peu dépendant de ressources externes ; sa mise en œuvre dépend cependant de la topographie locale (présence d'une altitude suffisante). Le système hydraulique, bien qu'impliquant une machinerie légère, évite les carburants fossiles et présente un bon rendement énergétique avec une longévité appréciable, ce qui en fait une solution intermédiaire avantageuse. En revanche, la thermique présente des limites économiques et écologiques sévères : son efficacité énergétique est faible (<50 %), la maintenance est contraignante, et sa durée de vie est courte (5–10 ans), justifiant son usage uniquement en

l'absence d'alternatives naturelles exploitables. Ainsi, du point de vue technico-économique, le système gravitaire reste la solution optimale en zones rurales disposant de dénivelé, suivi de la micro-hydroélectricité en terrain adéquat.

3.1.2. Analyse SWOT ou FFOM des systèmes évalués basée sur leurs avantages économiques et leur durabilité environnementale

L'analyse de ces trois systèmes telle que présentée dans le **tableau I** met en évidence des compromis entre coût, performance, durabilité et dépendance aux ressources. Le système hydraulique est écologique et adapté aux zones rurales, mais reste vulnérable à la disponibilité de l'eau et au changement climatique. Le système électrique/thermique, bien que performant et flexible, présente des coûts élevés et une forte dépendance aux énergies externes, avec des impacts environnementaux non négligeables. Enfin, le système gravitaire se distingue par sa durabilité, son très faible coût d'exploitation et son respect de l'environnement, mais nécessite une topographie favorable et un investissement initial conséquent. Le choix optimal dépendra donc du contexte local, notamment des ressources naturelles disponibles, du relief et des capacités économiques.

Tableau II. Analyse SWOT ou FFOM des systèmes évalués basée sur leurs avantages économiques et leur durabilité environnementale

Système	Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Hydraulique	Coûts d'exploitation faibles à modérés, faible impact environnemental.	Dépendance à la main-d'œuvre, disponibilité de l'eau variable.	Adaptabilité aux zones rurales, faible impact écologique.	Variabilité des ressources en eau, effets du changement climatique.
Électrique/T thermique	Flexibilité énergétique, haute performance.	Coûts d'exploitation élevés, dépendance aux carburants ou à l'électricité.	Progrès technologiques, alternative dans les zones sans eau.	Vulnérabilité aux hausses des prix des combustibles, pollution de l'air.
Gravitaire	Coût d'exploitation très faible, respect de l'environnement, longévité, facilité d'entretien.	Investissement initial élevé, dépendance à la topographie favorable.	Solution durable, faible entretien, peu coûteuse à long terme.	Limitations géographiques (pente insuffisante), dépendance à la dénivellation.

3.1.3. Impact environnemental des systèmes évalués basés sur les énergies électrique ou thermique, hydraulique et gravitaire

L'analyse comparative (**figure 4**) des systèmes d'adduction d'eau gravitaire, hydraulique et électrique/thermique met en évidence des différences

significatives en termes d'impact environnemental, de durabilité et de gestion des ressources. Le système gravitaire se distingue par son faible impact écologique : il ne génère aucune émission de gaz à effet de serre (GES), consomme des ressources renouvelables sans nécessiter d'énergie externe, et préserve la biodiversité locale. Cependant, son adaptabilité géographique est limitée, car il requiert une topographie en pente. Le système hydraulique, bien que reposant sur une ressource renouvelable, peut avoir un impact notable sur les écosystèmes aquatiques, notamment en raison de la construction de barrages, et sa durabilité dépend d'une gestion rigoureuse. En revanche, le système électrique/thermique présente des émissions de GES élevées, une consommation de ressources non renouvelables et un impact négatif sur la biodiversité, bien qu'il offre une grande flexibilité géographique. Ainsi, le choix du système d'adduction d'eau doit être guidé par une évaluation équilibrée des critères environnementaux, de durabilité et de disponibilité des ressources locales.

Critère	Niveau		
	Élevé	Faible	Moyen
Impact sur la Biodiversité	Élevé	Faible	Moyen
Impact sur l'Écosystème	Élevé	Faible	Moyen
Émissions de GES	Élevé	Faible	Faible
Durabilité à Long Terme	Faible	Élevé	Moyen
Consommation des Ressources	Élevé	Faible	Faible
Adaptabilité Géographique	Élevé	Moyen	Moyen
	Électrique, Thermique	Gravitaire	Hydraulique
	Système		

Figure 5. Impact environnemental des systèmes évalués basés sur les énergies électrique ou thermique, hydraulique et gravitaire (Source : Auteurs)

4. Discussion

4.1. Avantages économiques des systèmes d'adduction d'eau

L'analyse des coûts des systèmes d'adduction d'eau montre que le système gravitaire est de loin le plus économique, avec un coût mensuel très faible de 144 \$, principalement lié à l'entretien des infrastructures de canalisations et du bassin. Ce système, qui utilise la dénivellation naturelle pour acheminer l'eau, évite les dépenses liées à l'énergie et aux équipements motorisés. En comparaison, le système hydraulique (micro-hydroélectricité) est plus coûteux, avec un coût mensuel de 372 \$, en raison de l'infrastructure supplémentaire nécessaire (turbine,

conduite forcée) et du contrôle quotidien. Cependant, il demeure relativement économique car il ne dépend pas de carburants fossiles et présente une grande fiabilité à long terme. Enfin, le système thermique au diesel est le plus onéreux avec 769,56 \$ par mois, en raison des coûts du carburant, de l'amortissement de l'équipement, et des besoins en main-d'œuvre technique quotidienne. Les ratios de coût entre les systèmes confirment que le système gravitaire est le plus efficace économiquement, avec un rapport de 1, contre 2,58 pour le système hydraulique et 5,34 pour le système thermique. Cela souligne l'importance d'exploiter les ressources locales renouvelables pour réduire les coûts d'exploitation à long terme (Drawdown, n.d.; NREL, 2016).

4.2. Analyse AFOM des systèmes d'adduction d'eau

L'analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces (AFOM) des systèmes d'adduction d'eau montre des compromis entre coût, durabilité, et dépendance aux ressources. Le système gravitaire est particulièrement avantageux en termes de coûts et de durabilité, ne nécessitant aucune énergie externe et offrant une maintenance réduite. Cependant, sa viabilité dépend fortement de la topographie, ce qui limite son application dans certaines zones géographiques. Selon une étude de pubmed.ncbi.nlm.nih.gov, les systèmes gravitaires sont particulièrement efficaces dans les régions rurales où la topographie favorable existe, réduisant la dépendance aux technologies coûteuses et énergivores. Le système hydraulique, bien qu'écologique et adapté aux zones rurales, est vulnérable aux fluctuations de la disponibilité de l'eau et aux effets du changement climatique. Il présente également des risques pour les écosystèmes aquatiques en raison de la construction de barrages. Le système thermique, en revanche, est flexible géographiquement mais comporte des coûts élevés liés au carburant et à la maintenance, tout en étant fortement polluant. En termes d'opportunités, le système hydraulique peut bénéficier des progrès technologiques pour améliorer son efficacité, tandis que le système thermique reste une solution de dernier recours en raison de son impact environnemental et de son coût opérationnel élevé (MDPI, 2018).

4.3. Impact environnemental des systèmes d'adduction d'eau

L'impact environnemental des trois systèmes d'adduction d'eau est également un facteur déterminant dans le choix de la solution. Le système gravitaire est sans doute le plus respectueux de l'environnement, car il ne génère aucune émission de gaz à effet de serre

(GES) et ne nécessite pas d'énergie externe. Il exploite des ressources naturelles renouvelables sans nuire à la biodiversité locale, ce qui en fait une option écologique privilégiée. Toutefois, sa limitation géographique due à la nécessité d'une pente naturelle reste un inconvénient majeur. Le système hydraulique, bien qu'utilisant une ressource renouvelable, peut causer des perturbations écologiques, notamment en raison des barrages et des impacts sur les écosystèmes aquatiques. Enfin, le système thermique présente un fort impact environnemental, notamment en termes d'émissions de GES et de consommation de ressources non renouvelables, avec un effet négatif sur la biodiversité en raison de la combustion de carburants fossiles. Le choix du système d'adduction d'eau devrait donc être basé sur une évaluation équilibrée des critères économiques, environnementaux et géographiques, afin de maximiser les bénéfices à long terme tout en minimisant l'empreinte écologique (Akvopedia, n.d.; MDPI, 2018).

5. Conclusion

Dans un contexte de transition énergétique et d'accès limité aux infrastructures de base comme en République Démocratique du Congo, l'adoption de systèmes d'adduction d'eau durables constitue un levier stratégique pour améliorer les conditions de vie des populations rurales. L'analyse comparative menée dans la province du Kwango montre sans équivoque que le système gravitaire, en dépit de certaines contraintes topographiques, se distingue par ses performances économiques et environnementales nettement supérieures aux solutions motorisées. Avec un coût d'exploitation mensuel minimal et une empreinte écologique quasi nulle, ce système représente une réponse pragmatique et accessible aux enjeux du développement durable local.

Les systèmes hydrauliques intermédiaires, comme ceux à turbine Kaplan, bien que plus coûteux et techniquement exigeants, peuvent constituer une alternative viable lorsque le relief ou le débit d'eau n'est pas favorable à une adduction purement gravitaire. En revanche, les systèmes thermiques au diesel, tout en offrant une flexibilité d'implantation, s'avèrent lourdement pénalisants en termes de coûts et d'impacts environnementaux, confirmant les résultats d'études antérieures sur leur faible efficacité et leur forte dépendance à des ressources non renouvelables.

Ainsi, au regard des résultats de cette étude, il apparaît crucial de promouvoir les systèmes gravitaires partout où les conditions naturelles le permettent, et d'encourager la planification

énergétique territoriale en intégrant les potentiels hydrauliques locaux. Cette démarche s'inscrit pleinement dans les objectifs du développement durable et des politiques d'accès universel à l'eau potable car elle offre de pistes de renforcement de la résilience des communautés par des solutions adaptées, peu coûteuses et respectueuses de l'environnement, il s'agit en réalité d'une adaptation basée sur l'écosystème.

Remerciements

Les auteurs remercient le Centre de Recherche sur les Ressources en Eau du Bassin du Congo et l'École Régionale de l'Eau (CRREBaC-ERE) de l'Université de Kinshasa pour avoir offert le programme de Master en Ressources en Eau dans le cadre duquel cette étude a été réalisée. Ils expriment également leur gratitude aux autorités administratives du territoire de Popokabaka pour leur collaboration et leur soutien lors de la collecte des données sur le terrain

Financement

Cette recherche a été financée par les fonds propres des auteurs.

Conflit d'Intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

Considérations Ethiques

Cette étude n'a impliqué ni participants humains ni animaux. Toutefois, l'ensemble des recherches de terrain a été mené dans le respect des directives institutionnelles et nationales relatives à l'éthique de la recherche environnementale. Les autorisations nécessaires ont été obtenues auprès des autorités environnementales locales et provinciales compétentes. Dans tous les cas où les connaissances des communautés locales ou l'usage des terres étaient concernés, les principes de consentement libre, préalable et éclairé ont été respectés, dans le respect des droits et de la dignité des populations locales.

Contribution des Auteurs

B.K.B : Conceptualisation

B.K.B et C.L.N : Méthodologie

B.K.B et C.L.N : Développement des outils et logiciels

B.K.B : Collecte des données

B.K.B., L.K. G.-S. et C.L.N : Analyse formelle

B.K.B., L.K. G.-S. et C.L.N. : Rédaction, relecture et édition :

C.L.N : Supervision

ORCID des Auteurs

Banunginikwau B.K: <https://orcid.org/0009-0000-0142-7928>

Lutonadio G.-S.K: <https://orcid.org/0000-0003-1132-2462>

Cush L.N: <https://orcid.org/0000-0001-7224-6737>.

Références bibliographiques

Akvopedia. (n.d.). *Diesel generators for rural water supply: Costs and maintenance considerations*. <https://www.akvopedia.org/>

Banque mondiale. (2020). *Données sur l'accès à l'électricité en RDC*.

Benblidia, M. (2011). *L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique*. Plan Bleu, Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM.

Boudoir, A. (2011). *Systèmes d'adduction d'eau en milieu rural*.

Chabaca, M. N. (2004). L'irrigation gravitaire par micro-raie en Algérie : Propositions pour une amélioration de la pratique ou une modernisation de la technique. Quelles alternatives. In *Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée* (p. 17). IAV Hassan II.

Clohounto, J., & Dedjinou, S. (2012). *Les bénéfices d'adduction d'eau potable dans la vallée de l'Ouémé*. Université de Cotonou.

Drawdown. (n.d.). *Hydropower as a sustainable energy solution*. <https://www.drawdown.org/>

Elnaboulsi, J., & Alexandre, O. (1998). Le renouvellement des réseaux urbains d'eau potable : Une approche économique d'optimisation. *Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires*, (15), 3–17.

Fournier, P. (2016). Entre technique et politique : Les adductions d'eau dans les capitales provinciales en France du XVIe au XVIIIe siècle. *Histoire, Économie & Société*.

Gonçalves, J. M., Ferreira, S., Eugénio, R., et al. (2020). Économie d'eau pour un périmètre irrigué gravitaire : Défis et problématiques de la Vale do Lis, Portugal. *Sciences Eaux & Territoires*, (34), 38–43.

International Energy Agency. (2017). *Access to electricity data: Democratic Republic of the Congo*.

Laré, A., Koné, N., & Gomado, K. M. (2021). Impact des mini réseaux d'adduction d'eau potable sur les conditions de vie des ménages ruraux au Niger. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, (4), 593–626.

Le Don, G. (2018). Chapitre V. Le référentiel gravitaire. In *Voir la sculpture*.

Maillard, D. (2013). La transition énergétique : Un défi pour le système électrique. In *Nucléaire et renouvelables dans la transition énergétique*.

Manase, V. (2005). L'adduction d'eau à Dieppe aux XVIe et XVIIe siècles : De l'utile à l'apparat. *In Situ. Revue des patrimoines*, (6).

Mateos, L. (2020). Efficience de l'irrigation et économie d'eau : Effet d'échelle et effet rebond. *Sciences Eaux & Territoires*, 34(4), 86–89.

MDPI. (2018). *Economic and environmental impacts of diesel-powered water supply systems*. <https://www.mdpi.com/>

Naugès, C., & Thomas, A. (2000). Dynamique de la consommation d'eau potable des ménages : Une étude sur un panel de communes françaises. *Économie & Prévision*, 143(2), 175–184.

NREL. (2016). *Micro-hydro systems: Efficiency and longevity in rural energy solutions*. <https://www.nrel.gov/>

OCHA FISS. (2018). *Democratic Republic of the Congo major cities* [Archive].

PubMed. (n.d.). *Effectiveness of gravity water supply systems in rural settings*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

UN-Water. (2018). *Sustainable development goal 6 synthesis report on water and sanitation*.

Über Energie et Gravitation. (1929). *À propos de l'énergie et de la gravitation*.