



Université Catholique du Graben

**CENTRE DE RECHERCHES
INTERDISCIPLINAIRES DU GRABEN
B.P. 29 BUTEMBO/NORD-KIVU**

PARCOURS ET INITIATIVES

Penser les sociétés en crise

Éditorial : Penser les sociétés en crise : résilience, développement et transformations contemporaines----- 5

Prisonniers des rôles : une analyse constructiviste de la permanence de la rivalité entre les États-Unis et l'Iran ----- 9

Actions des leaders d'opinions et des patriotes résistants « wazalendo » à l'épreuve des massacres dans la région de Beni-Lubero ----- 31

Le gel des avoirs de Joseph Kabila : Allumette ou extincteur des dynamiques de la belligérance entre l'AFC-M23 et le régime de Kinshasa ?----- 53

Gouvernance de crise, recomposition socio-économique et résilience en Ville de Goma de janvier 2025 à avril 2026 ----- 69

Décisions d'investissement des petites et moyennes entreprises en contexte des conflits armés : une analyse microéconomique à l'épreuve de la théorie de l'utilité espérée à Goma, République Démocratique du Congo ----- 91

De la vulnérabilité aiguë à la résilience d'urgence d'une institution de microfinance en contexte de conflit armé : Étude de cas de PAIDEK SA 123

Awareness, preventive practices, and socio-demographic determinants of cervical cancer awareness among women in Omu-Aran, Nigeria:----- 151

Caractérisation d'un écosystème artificiel urbain, typologie des polluants et description des conséquences éventuelles sur la santé humaine : ----- 171

Perceived Effects of Environmental Pollution Exposure on Pregnancy Outcomes among Women of Reproductive Age in Ilorin, Kwara State, Nigeria ----- 195

Résidus de pesticides et pratiques phytosanitaires dans les tomates fraîches commercialisées à Butembo (Nord-Kivu, RDC) :----- 221

Activité antibactérienne et antifongique in vitro de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* : revue systématique et méta-analyse des concentrations minimales inhibitrices entre 1990 et 2026 ----- 247

Énergie électrique, politique et développement dans la Région de Beni-Lubero : une approche par l'interconnexion des sources d'énergie----- 273

Prise en charge des impropriétés dans les productions orales des apprenants "baswahili" en classe de français ----- 297

ISSN : 3008-1211
e-ISSN : 3008-122X

Volume 17 - N° 35
Juin 2026



Énergie électrique, politique et développement dans la Région de Beni-Lubero : une approche par l'interconnexion des sources d'énergie

Electric power, Politics, and development in the Beni-Lubero region: An approach based on the interconnection of energy sources

Jérémie Katembo Shabani^{1*} et Flavien Muhindo Vuyambithe¹

Résumé

L'énergie électrique est indispensable pour le développement économique d'un pays ou d'un territoire. Elle intervient pour le fonctionnement des industries, pour la production de la chaleur et de la lumière. Toute activité dépend à l'heure actuelle de l'énergie électrique. Compte tenu de son utilité et de la libéralisation du secteur de l'énergie en RDC, certains opérateurs et/ou entreprises publiques se lancent dans la production énergétique. C'est le cas, dans la zone Beni-Lubero, des centrales IVUGHA et TALIHYA pour la société ENK et IVINGU pour la société Virunga Energie. Malgré cette présence, les consommateurs sont confrontés à la non-disponibilité de l'énergie électrique surtout lorsque le fournisseur d'accès connaît une panne, par exemple. En outre, une autre difficulté réside au niveau de la tarification où chaque producteur fixe le prix selon sa volonté. Cette problématique mérité d'être résolu par l'instauration d'un système d'inter connectabilité des centrales électriques. Cette mesure devrait figurer dans la planification énergétique d'un pays. Quant à la tarification énergétique, les apports de trois principales composantes dont les producteurs, l'État et les consommateurs devraient être pris en considération. Les producteurs doivent tirer profit de leur investissement en tenant compte de la satisfaction des consommateurs compte de leur niveau de vie, en tenant compte de la régulation de l'État doit jouer la médiation. C'est en ce sens que l'énergie électrique figure aussi parmi les facteurs de développement économique.

Mots clés : Energie électrique, interconnexion, État, développement économique.

Abstract

Electrical energy is essential for the economic development of a country or territory. It is involved in the operation of industries, in the production of heat and light. All activity now depends on electrical energy. Given its usefulness and the liberalization of the energy sector in the DRC, some operators and/or public companies are getting

^{1*} Faculté de Polytechnique, Université Catholique du Graben/ Nord-Kivu/RDC

* Auteur correspondant. Email : remykatemboshaba@gmail.com

into energy production. This is the case, in the Beni-Lubero area, of the IVUGHA and TALIHYA power plants for the ENK company and IVINGU for the Virunga Energie company. Despite this presence, consumers are confronted with the unavailability of electrical energy, especially when the access provider experiences a breakdown, for example. In addition, another difficulty lies in the pricing where each producer sets the price according to his or her will. This problem deserves to be solved by the establishment of an interconnectability system for power plants. This measure should be included in a country's energy planning. As for energy pricing, the contributions of three main components, including producers, the State and consumers, should be considered. Producers must make the most of their investment by considering the satisfaction of consumers, considering their standard of living, considering the regulation of the State, must play the role of mediation. It is in this sense that electrical energy is also one of the factors of economic development.

Keywords : Electric power, interconnection, State, economic development.

Introduction

Plus que toute autre matière, l'énergie joue un grand rôle dans la vie humaine. Elle intervient tant à chaque étape du processus de production des biens et des services qu'à chaque moment du quotidien ; en milieu domestique et professionnel, ainsi que dans les loisirs voire le transport [1]. L'énergie électrique est donc liée au train-train des hommes de notre époque et y apparaît comme une sorte de symbole du développement ou, à tout le moins, comme un ingrédient et indispensable pour l'économie. Ainsi l'on mesure le développement d'un pays et le niveau de sa population, respectivement, par la consommation et la production d'électricité par habitant et par an et par la consommation d'énergie par ménages [1].

De ce fait, dans les pays dit avancés et dans ceux dits en développement, le Produit Intérieur Brut (BIP) est fortement lié à la croissance de la consommation en énergie [2]. Certes, depuis 1974, le phénomène de « découplage » suggérerait la dissociation de l'énergie et du développement : dans les premiers pays, la croissance de consommation d'énergie serait moins rapide que celle du PIB, tandis que, dans certains pays sous-développés feraient de gros exportateurs d'énergie sans être industrialisés. En revanche, il n'en demeure pas moins vrai qu'une énergie abondante et bon marché est le plus souvent la condition sine qua non du développement. Les disponibilités énergétiques ont des effets structurants sur l'économie des pays en voie de développement [3]. De façon générale, toute activité nécessite de l'énergie ; le développement socioéconomique, en tant que

finalité de l'augmentation de l'activité économique, est accompagné par l'accroissement de la consommation en énergie.

L'énergie électrique étant un besoin primaire ; la République Démocratique du Congo, en particulier la région Beni-Lubero ; connaît encore des grands défis. Ainsi les opérateurs économiques se sont lancés dans la production de cette dernière pour combler la demande. Le défi majeur est que chaque producteur a ses propres clients. Lorsque la demande dépasse sa production et/ou une panne survient ; certains sont privés de l'électricité par délestage ou carrément tous les abonnés. Cela se fait ; alors que l'énergie du tiers producteur chôme. Ceci cause donc une insécurité énergétique dans le quotidien vital de l'homme. L'autre problème est que chaque producteur fixe son prix selon sa volonté, ce qui crée une sorte de conflit entre les consommateurs et les producteurs [4].

L'objectif poursuivit dans le présent est de présenter un modèle qui permet la mise en interconnexion des plusieurs centrales telles que Talihya et Ivugha pour la société ENK et Ivingu pour VIRUNGA Energie. Malgré la présence de plusieurs producteurs indépendants d'électricité dans la région de Beni-Lubero, il n'existe pas encore un réseau interconnecté. Cette situation compromet la continuité du service, augmente les risques de délestage et favorise une tarification hétérogène. Cette étude cherche donc à déterminer dans quelle mesure une architecture d'interconnexion peut améliorer la sécurité énergétique et soutenir le développement économique régional.

Le modèle proposé a l'avantage d'assurer la mutualisation de la production, l'équilibre de la charge du réseau et garantir une alimentation continue. Il servirait aussi pour l'ajout d'autres unités de production pour l'objectif escompté. Ainsi, tout en abordant les conditions de mise en interconnexion, le présent papier montre la relation qui doit exister entre trois composantes : le politique, les producteurs et les consommateurs d'énergie électrique pour le développement de la zone Beni-Lubero.

Méthodologie

La présente étude adopte une approche qualitative et quantitative fondée sur la modélisation et la simulation numérique d'un réseau électrique interconnecté. Elle relève d'une recherche appliquée visant à évaluer les performances d'un système d'interconnexion de plusieurs centrales hydroélectriques existantes dans la région Beni-Lubero. D'une part elle traite

les conditions d'efficacité de l'énergie électrique et d'autre part de celles de sa permanence ou l'abondance.

La zone d'étude couvre les territoires de Lubero et de Beni ainsi que les villes de Butembo, Beni et Oicha, Province du Nord-Kivu, République Démocratique du Congo. Une zone d'une superficie de 25580km² avec une population estimée à 3000000 d'habitants [5]. Les activités principales de la zone sont l'agriculture, l'élevage et le commerce. Cette région comprend plusieurs unités indépendantes de production d'électricité, notamment les centrales d'Ivugha, Taliha (ENK) et Ivingu (Virunga Énergie), qui constituent le cadre de l'étude.

La présente recherche repose sur une modélisation électrique d'interconnexion des plusieurs centrales électriques réalisée à l'aide du logiciel de simulation Proteus ISIS. Elle permet de reproduire le fonctionnement d'un réseau de trois groupes de production alimentant plusieurs charges électriques. Chaque centrale est représentée par un générateur alternatif connecté à un réseau de distribution simulé. Ce modèle servira comme outil pour les producteurs d'électricité dans cette zone pour débiter dans un même réseau électrique. Il permettra d'éviter le délestage, les coupures intempestives et les mauvaises qualités de l'énergie électrique.

Pour évaluer les performances du système, plusieurs scénarios de fonctionnement ont été simulés dont le fonctionnement normal sans interconnexion, la panne d'une centrale sans interconnexion, la panne de deux centrales sans interconnexion, le fonctionnement avec interconnexion, la panne d'une centrale avec interconnexion, la panne de deux centrales avec interconnexion, la variation de fréquence, la variation de tension, etc. En d'autres termes, il s'agit de simuler trois réseaux sans interconnexion en vérifiant les comportements des consommateurs lorsque l'une ou l'autre des centrales sont en panne. Mais aussi, il est question de simuler le cas d'interconnexion de ces trois centrales avec l'apparition des pannes de l'une ou l'autre.

Les principales variables étudiées sont la continuité d'alimentation des consommateurs, le courant fourni par chaque centrale, la stabilité de la tension, la stabilité de la fréquence, les courants de défaut, la disponibilité énergétique du réseau. Les résultats issus des simulations sont comparés entre les différents scénarios afin d'évaluer l'effet de l'interconnexion sur la sécurité énergétique, la continuité de service et la résilience du réseau

électrique. Enfin, les résultats sont interprétés à la lumière des principes de planification énergétique et des politiques publiques relatives au développement des infrastructures électriques en République Démocratique du Congo.

1. La diversité d'énergie

L'énergie est fondamentale dans la vie d'un être humain qui, grâce à elle, peut réaliser plusieurs travaux. Si, déjà dans le passé, le scientifique Max Planck, ancien étudiant de Kirchhoff, en avait proposé la définition selon laquelle elle est « la capacité d'un système à produire une activité externe, donc un travail » [1], l'énergie se manifeste par la production d'un travail ou par sa transformation en une autre forme d'énergie. D'ailleurs le premier principe de la thermodynamique, c'est celui de la conservation d'énergie [6], selon lequel l'énergie ne se crée ni ne se perd, elle ne fait que se transformer. Mais, si le présent papier fixe son curseur sur l'électricité, l'on ne doit pas perdre de vue l'existence de diverses formes d'énergies, parfois convertibles, transférables et stockables, même.

1.1. Conversion, transfert et stockage des énergies

L'aspect multiforme d'énergie indique une diversité qui induit plusieurs possibilités : la conversion d'une forme d'énergie à une autre, son transfert sous une forme donnée, transport sous une forme bien définie, ainsi que son stockage sous une forme donnée. Ainsi, pour s'arrêter à la convertibilité des énergies, l'on peut obtenir des combinaisons que récapitule le tableau subséquent [7].

Tableau 1. Matrice de conversion des énergies

Forme d'énergie	Mécanique	Électrique	Magnétique	Radiative	Chimique	Nucléaire	Calorifique
Mécanique		Mécano-électrique					Mécanothermique
Électrique	Electromécanique		Electromagnétique	Electrothermie	Electrochimie	Electronucléaire	Electrothermie
Magnétique	Magnéto mécanique	Magnéto-électrique					Magnétothermie
Radiative		Photovoltaïque			Photosynthèse		
Chimique		Électrochimie					Thermochimie
Nucléaire		Electronucléaire		Physique nucléaire			Thermonucléaire
Calorifique	Thermomécanique	Thermoélectricité	Thermomagnétisme	Thermocinétique ; rayonnement	Thermochimie		

Source : cours d'économie d'énergie du Prof. NDAYE NKANKA Bernard, ULPGL-GOMA 2015-2016.

De part ce tableau, on peut appréhender les principaux modes de conversions et les sciences qui leur sont associées. Si certaines ne sont pas parfaitement identifiées, rien ne veut dire pour autant que les conversions n'existent pas. C'est le cas de la conversion radiative mécanique qui se manifeste par une pression radiative.

1.2. Énergie électrique.

L'électricité a des avantages énormes. De ce fait qu'une forme intermédiaire d'énergie qui ne peut pas être directement utilisée sans être transformée en une autre forme d'énergie. L'utilisation de l'énergie électrique implique sa transformation en une autre forme directement utilisable, à l'instar de l'énergie mécanique, de l'énergie lumineuse et de l'énergie calorifique [1].

Primo, l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique de rotation et translation. En énergie mécanique de rotation ; on utilise les moteurs électriques qui sont des machines utiles pour moudre. C'est le cas dans des industries où on a besoin de faire la mouture, le malaxage et d'autres applications similaires. L'énergie mécanique de translation sert pour déplacer (dans les véhicules, motos, trains électriques, avions, tapis roulants et chaînes transportées dans des usines, chariot et tout système faisant le déplacement). Dans le système de pompage de l'eau, de la chaleur et etc. [1]

Secundo, l'énergie électrique en énergie lumineuse vise la lumière pour l'éclairage intérieur et/ou extérieur. Pour les jeux de lumière, les lampadaires, les projecteurs et ainsi d'autres applications où on aura besoin de la lumière [1].

Tertio, qu'en est-il de l'énergie électrique en chaleur ? l'électricité est plus utilisée dans la production de la chaleur. Elle sert dans les services à travailler les fers à souder, les fers à repasser, les cuisinières, les réchauds et dans les industries où la chaleur est utilisée telle que les industries métallurgiques, les sidérurgies, les industries agroalimentaires [1]. Il en est de même dans les loisirs ; les jouets ont des moteurs qui utilisent le courant, ils ont des lampes lumineuses.

En définitive, l'électricité est à la base de toute production. Sans l'électricité le monde ne serait pas ce qu'il est aujourd'hui. Les sources de production de l'énergie électrique sont les autres formes d'énergies sus-évoquées.

1.3. L'interconnexion des plusieurs centrales électriques

L'énergie électrique est un élément capital dans la vie de l'homme actuel. La cuisson des aliments, le repassage et la lessive des habits sont actuellement faites moyennant le courant électrique. Les appareils comme la radio, la télévision, les ordinateurs, les tondeuses qui utilisent l'énergie électrique pour leur fonctionnement. L'industrie, l'élément de base du développement, les chambres froides, les machines dans des hôpitaux et la sonorisation dans les églises dépendent de l'énergie électrique. À moindre coupure du courant, les dégâts énormes sont constatés et la vie est donc compromise. Pour lutter contre ces dégâts, les autorités sont appelées à instaurer une politique d'assurance de « la sécurité énergétique ». Cette garantie en énergie consiste à fournir l'énergie de qualité et en permanence.

À ce propos, un questionnement se pose. Faut-il donner des monopoles à certaines entreprises pour que chacune alimente une entité ? Faut-il plutôt laisser toutes les entreprises entrer partout pour que chaque consommateur s'abonne à l'entreprise qui lui plaît ? Un écho affirmatif des décideurs à ces deux questions ne peut pas garantir une sécurité énergétique. En cas des monopoles à certaines entreprises, une panne de leur installation plonge leurs clients dans le noir. À l'inverse, en cas de libéralisation, si chaque client se

choisit une entreprise, une panne dans cette dernière le fait souffrir alors que le courant est à côté.

Pour pallier ces problèmes, le gouvernement en place doit instaurer une politique d'interconnexion [8] ; veillant l'interaction des plusieurs unités de productions pour faire confluer leur débit dans un seul réseau [9]. C'est ce qu'illustre le schéma suivant ; modélisé avec le logiciel Proteus, avec trois groupes GA, GB et GC. Chaque groupe a deux abonnés dont A11 et A12 pour le groupe GA ; B11 et B12 pour le groupe GB et C11 et C12 pour le groupe GC. Les appareils de commande K2 et K4 permettent de faire l'interconnexion entre les trois groupes. Les appareils K1, K3 et K5 permettent seulement d'alimenter les clients. L'intitulé AM représente l'appareil de mesure qui capte la quantité d'électricité que chaque groupe débite.

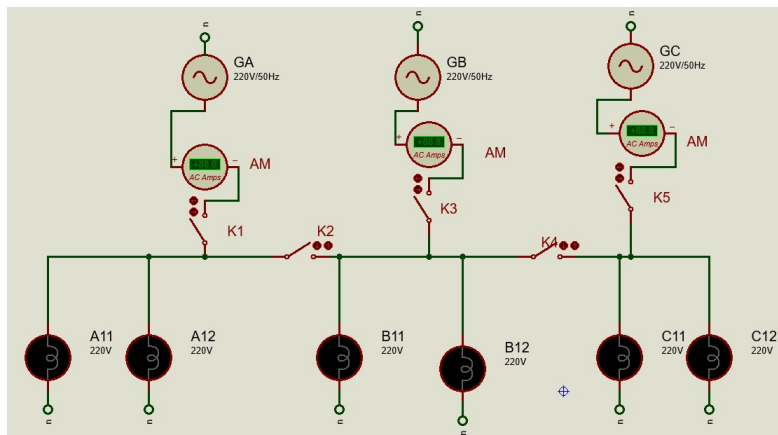


Figure 1: Schéma d'interconnexion des plusieurs groupes

Si l'un de ces trois centres de production est en panne ; les deux autres groupes vont fournir l'énergie électrique à la population sans qu'elle rende compte d'une panne quelque part. Pour son renforcement de la capacité de la puissance à fournir et pour son assurance de la sécurité énergétique, cette politique s'avère la meilleure [10]. Le gouvernement l'adoptera telle que croise le nombre des producteurs et que leurs centrales débitent dans un réseau intégré. Pourvu que la commercialisation soit assurée par l'une ou l'autre entreprise qui répond aux conditions fixées par la tutelle. L'interconnexion impose un certain nombre des conditions pour l'efficacité de l'énergie à produire et le bon fonctionnement des machines :

- L'identité de la tension électrique pour tous les groupes doit être respectée pour éviter la détérioration des machines par des courants réactifs.
- L'identité de la fréquence est obligatoire pour éviter des chocs électromécaniques violents et des courants des courts-circuits.
- La concordance des phases pour les systèmes multi phases pour éviter un quelconque court-circuit.
- La forme d'onde doit être la même pour les tensions électriques des groupes à interconnecter, pour éviter la circulation des courants harmoniques dans les machines.

2. La politique et le développement économique.

En tant qu'orienté vers l'avenir de la diffusion du bien-être, le développement économique est la raison d'être de l'exercice du politique ; c'est-à-dire de l'instance décisionnelle d'une entité socio-administrative. Mais, que savoir de l'idée de développement économique ? Qu'est-ce que le politique.

2.1. Le développement économique.

De la révolution industrielle marquant l'accroissement de l'activité économique, l'idée des certains penseurs s'est portée sur les phénomènes économiques. Dans la phase de la construction de cette idée, les pionniers du développement ont établi une synonymie entre l'accroissement économique et le développement. Ce dernier se résolvait alors à une croissance économique sur une longue durée [11].

Dans cette optique réductrice du développement, la sortie du sous-développement implique un grand investissement pour hausser le revenu réel par habitant dans les pays du sud. Pourtant d'autres économistes, à l'instar de François Perroux, ont tenté de dissiper cette confusion. Alors que la croissance indique l'augmentation pendant une ou plusieurs périodes longues du produit global net à termes réels, le développement désigne le progrès par l'ensemble des changements socio-mentaux qui rendent l'entité capable à faire croître cumulativement et durablement son produit réel global.

Quoi qu'il en soit, la croissance de l'activité économique est accompagnée par la consommation de l'énergie. Dans la planification du développement, cette dernière tient d'une politique bien soutenue.

La zone Beni-Lubero ; communément appelée Grand Nord-Kivu comprend les territoires de Lubero et Beni et les villes de Butembo, Beni et Oicha. Cette zone contient une population estimée à 3000000. Les activités principales sont l'agriculture, l'élevage et le commerce. Pour que les produits agricoles soient commercialiser sans risque de dégradation lie au transport et à la conservation ; le traitement s'impose. Ce traitement passe par l'industrialisation de la zone qui impose une bonne quantité d'énergie électrique et en permanence.

2.2. La politique

La politique dans une communauté évoque les mécanismes du principe de la conquête, de l'exercice et de la conservation des positions de pouvoir ainsi que ceux qui concourent à orienter des décisions et à prendre en charge les problèmes du bien-être collectif. D'emblée, l'objet du politique s'appréhende au cœur des notions de pouvoir, de domination, de légitimité. Tout comme la domination, le pouvoir n'implique pas forcément la légitimité ou sa recherche. Il peut s'imposer par la force. Les relations de pouvoir sont observables sur tous les plans dans une société.

Si en tant qu'adjectif, le vocable « politique » renvoie aux formes de gouvernement, à l'organisation du pouvoir et à son exercice, en tant que substantif, du moins pour Max Weber, il réfère à une discipline qui permet le vivre ensemble et la résolution des conflits d'intérêts liés à la vie en société [12]. Mais, dans les sociétés modernes, le politique se présente sous la forme d'une combinaison ou conjugaison des forces institutionnalisées. Quitte à Pierre Favre d'y réunir les fonctions de planification des activités, de résolution des conflits, de hiérarchisation des objectifs requises par l'existence de la société.

Au total, la politique est l'art d'exercer le pouvoir, de planifier les objectifs d'une société, de résolution des conflits d'intérêt. En ce sens, même l'énergie électrique entretient des liens avec celle au profit du développement économique.

3. La relation énergie électrique-politique pour un développement économique

La relation entre le secteur énergétique et la politique est très cruciale pour le développement des pays et/ou des communautés. Les gouvernements

doivent en définir des politiques pour concrétiser l'hypothèse, du moins à travers les ministères de tutelle [13]. C'est dans cette optique que doivent se qualifier la planification et la sécurité énergétiques.

3.1. Planification énergétique

Un pays soucieux de se développer doit se doter d'un plan énergétique. A ce titre en République Démocratique du Congo, un Plan Energétique Congolais (PEC) tiendrait de la planification énergétique. Cette dernière indique toute analyse chiffrée de l'avenir énergétique d'un pays. Dans le secteur de l'énergie, le processus en constitue une étude méthodique pour savoir les origines des ressources énergétiques que le pays utilisera dans le futur [14]. Par conséquent, il s'agit d'un ensemble systématique et d'une analyse de l'information sur la demande et la fourniture de l'énergie, ainsi qu'une présentation des résultats aux responsables du pays ; qui doivent choisir la meilleure variante. Bref, le plan énergétique est une liste des meilleures options décidées par les responsables pour atteindre les objectifs définis [13].

En tant que telle, la planification a un objet et des méthodes. En système énergétique, son objet est de choisir l'évolution du système énergétique jugé « optimal » par les acteurs impliqués en fonction d'un ensemble des critères économiques ; sociaux et politiques. De ce fait, le système énergétique réfère à la structure de la consommation, ainsi qu'à l'ensemble correspondant des activités de produire, de transporter et de distribuer l'énergie ; qu'il s'agisse de la production nationale ou des approvisionnements étrangères. En aval du système se positionne l'énergie utile. Ce sont les besoins de chaleur ou froid, de lumière et la force motrice. En son amont s'identifient les ressources. Ce sont les gisements des combustibles fossiles et fissiles, les cours d'eau, la biomasse, le vent, le soleil [13]. Au final, le choix du meilleur doit s'accompagner de celui des moyens à mettre en jeu pour y parvenir.

Les auteurs du système énergétique sont nombreux : les consommateurs, les producteurs et l'Etat. Les consommateurs, ce sont eux qui convertissent l'électricité en énergie directement utilisable dans les ménages, les entreprises industrielles, les industries agroalimentaires. De leur part, les entreprises, ce sont elles qui produisent, transportent et distribuent de l'énergie. Néanmoins, l'Etat en est un acteur central [13]. Pour en cerner l'action, il convient de distinguer, dans le système énergétique « les maillons

centralisés » des « les maillons décentralisés », selon qu'y intervient un petit nombre voire un acteur unique ou une multitude d'acteurs. L'action de l'Etat est alors soit direct soit indirecte. Dans le premier cas, il autorise, tandis que dans le second, il fixe le prix ou leur modification par la fiscalité, la réglementation et la régulation. En sus, la Puissance publique a la responsabilité de planifier ; ne serait-ce que par la fixation des objectifs.

Sur le plan des méthodes, la planification dans le secteur de l'énergie mobilise une démarche à trois étapes : Identifier un ensemble des futurs possibles, choisir entre les futures possibles et déterminer un programme d'action. La première étape consiste en la phase analytique de la planification. Elle aboutit à la description aussi précise que possible, de scénarios d'évolution du système énergétique national à l'horizon, qu'on s'est fixé [13]. Dans la deuxième étape, qui est le cœur du processus de planification, il s'agit d'une part, d'avoir mené une analyse sur les conséquences des différentes options sur l'économie, la société, la vulnérabilité ou l'indépendance du pays et d'autre part, d'avoir clarifié les critères de choix [13]. Dans la troisième étape, une fois défini le système énergétique souhaitable à l'horizon qu'on s'est fixé, on définit l'ensemble des moyens de la « politique énergétique » susceptibles d'orienter le système actuel dans le sens souhaité [13].

Dans sa planification, le gouvernement doit élaborer et surveiller des normes pour des biens présents ou consommés sur le territoire national ainsi que faire la gestion de la métrologie légale et la normalisation. Ces normes qui sont relatives au domaine de l'électricité, aux énergies renouvelables, au management de l'énergie, à l'éclairage public, l'électrification rurale et fourneaux et foyers propres. Ces normes constituent les prémisses d'une prise en compte de l'efficacité énergétique d'un pays tel que signifié dans la politique nationale de l'énergie de la République Démocratique du Congo [14].

Pour permettre la permanence/ disponibilité de l'énergie à tous ; le pouvoir décideur est tenu dans sa planification d'instaurer un système d'interconnexion des réseaux. Ceci consiste à interconnecter toutes les centrales de productions à débiter dans un réseau commun [4].

3.2. Sécurité énergétique

La sécurité énergétique se définit comme la capacité d'un État à satisfaire aux besoins énergétiques de sa population, à tout moment, sous différentes

formes, à des prix abordables, et dans le respect de l'environnement. La sécurité énergétique repose sur quelques piliers non exhaustifs dont la disponibilité physique, l'accessibilité financière, la fiabilité et la durabilité ou l'acceptabilité environnementale [15]. À propos, l'Agence internationale de l'énergie définit la sécurité énergétique comme l'accès fiable, à un prix abordable, à tous les combustibles et à toutes les sources d'énergie.

La disponibilité renvoie à la continuité physique qui garantit un flux constant d'énergie sans coupure ni pénurie. Elle renvoie à la diversification qui permet de varier les sources d'énergies (hydroélectriques, éoliennes, solaires...) et les pays fournisseurs pour limiter les risques géopolitiques. De ce fait, la disponibilité se définit par la résilience des infrastructures qui permet de sécuriser les réseaux de transport, les lignes électriques et les sites de stockage face aux panes.

L'accessibilité financière se définit par l'assurance telle que le coût de l'énergie est supportable pour les ménages et les entreprises. Elle se définit aussi par la compétitivité qui permet d'éviter que les prix de l'énergie soient trop instables ou trop élevés pour ne pas nuire à l'économie locale en s'adaptant au niveau de vie des ménages et aux facteurs de production des industries.

La fiabilité se rapporte des réseaux électriques de transport et de production dans leur capacité à assurer la solidité technique. Elle dépend également de la solidité des infrastructures et de la diversification des sources d'approvisionnement en énergie mais également de la protection du réseau contre les différents risques tant géopolitiques que climatiques.

L'acceptabilité ou durabilité environnementale se définit par une transition écologique qui permet de réduire les émissions des gaz à effet de serre et l'impact polluant des énergies. Elle se définit aussi par l'efficacité ou la sobriété qui permet de consommer moins et mieux en luttant contre le gaspillage énergétique. Elle intègre donc les impératifs environnementaux et la transition écologique sur le long terme.

Les défis liés à la sécurité énergétique sont les tensions politiques, les intermittences des énergies renouvelables, l'obsolescences des réseaux, les changements climatiques et les coûts d'investissements trop élevés. À ceux-ci peuvent s'ajouter la dépendance extérieure, la diversification et la résilience des infrastructures. La solution majeure à ces défis est la

diversification des sources d'énergies, la modernisation des réseaux, la sobriété et l'efficacité ainsi que le développement [16].

Résultats et Discussion

Les différents résultats discutés se rapportent à la simulation du schéma d'interconnexion. Ils concernent les cas évoqués dans la méthodologie.

- a. Cas où chaque groupe alimente ses clients et que tous fonctionnent correctement.

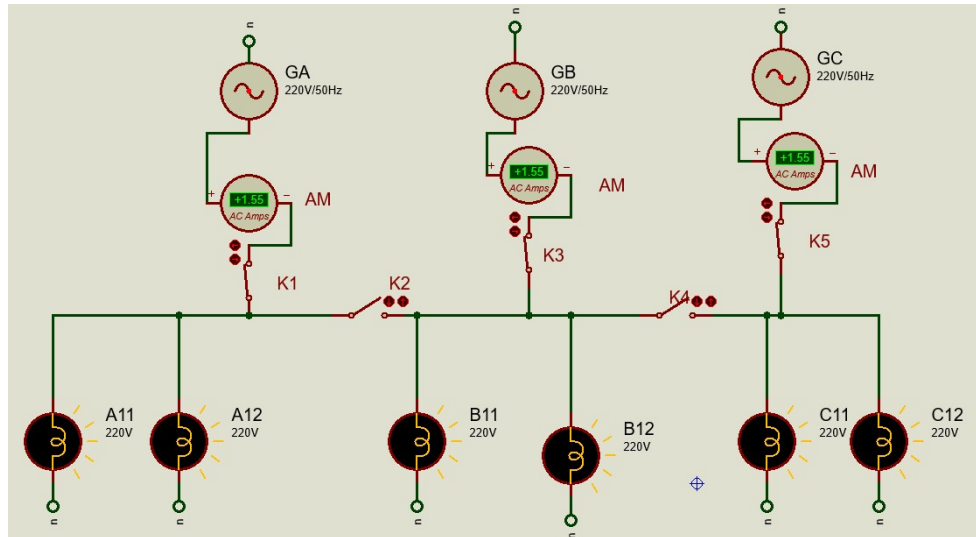


Figure 2: simulation du cas des groupes alimentant chacun ses clients

La figure 2 ci-haut montre le fonctionnement des trois groupes dont chacun alimente ses clients. Tous les clients sont satisfaits car tous les groupes sont en bon états que les charges qu'ils débitent sont nécessaires pour la demande. Aussi, ce schéma montre le courant que chaque groupe débite sur l'appareil de mesure AM.

b. Cas du groupe GA en panne alors que GB et GC sont en état.

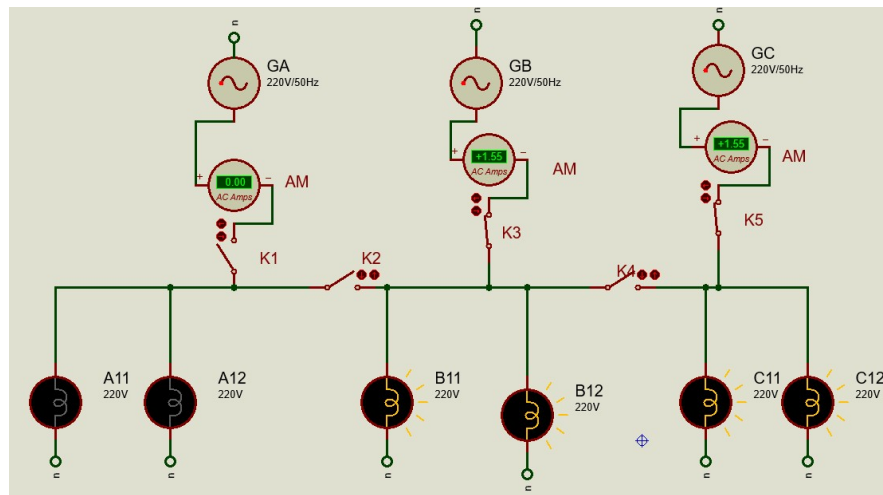


Figure 3: cas d'un groupe en panne (GA)

La figure 3 montre un cas où le groupe GA est en panne, donc ne fournit pas d'énergie. L'appareil de mesure indique zéro comme quantité du courant débité. Nous constatons que ses clients sont dans le noir, alors que les groupes GB et GC fournissent l'énergie a cote. Le même scenario s'observe si les deux autres groupes sont en pannes au détriment de l'autre. Comme la figure 4 nous le montre.

c. Cas de deux groupes en pannes.

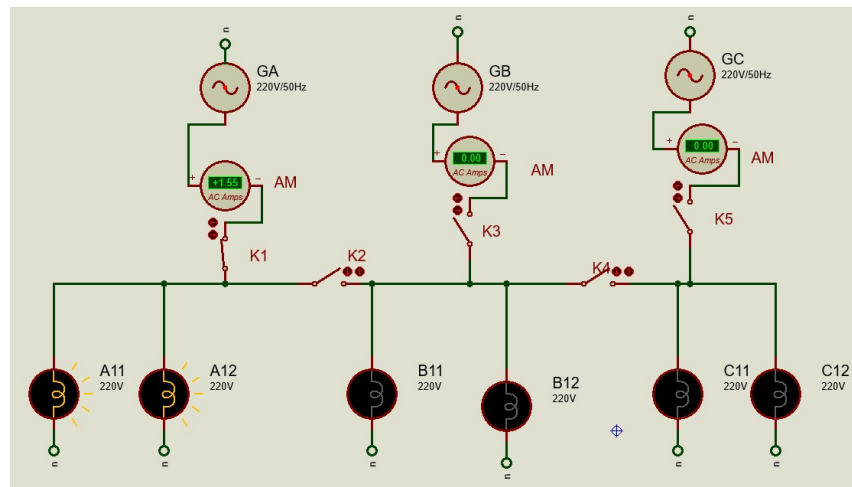


Figure 4: cas de deux groupes en pannes

La figure 4 simule un scénario de deux groupes en panne dont les groupes GB et GC. Seul le groupe GA est fonctionnel. Nous constatons que les clients B11, B12, C11 et C12 sont dans le noir. Nous reprenons tous les cas simulés sans interconnexion pour prouver l'avantage de l'interconnexion.

d. Cas d'un groupe en panne avec l'interconnexion établie.

Le scénario illustré par la figure 5 montre que, même si le groupe GA en panne ; l'interconnexion établie à travers l'appareillage K2 et K4 ; permet l'alimentation des clients A11 et A12. Nous voyons que tous les clients ne sauront pas qu'un groupe de production ne pas fonctionnel car les autres groupes assurent l'alimentation [4]. Nous pouvons le vérifier sur les appareils de mesure ou la totale de tous les clients s'est répartie sur les deux groupes fonctionnels.

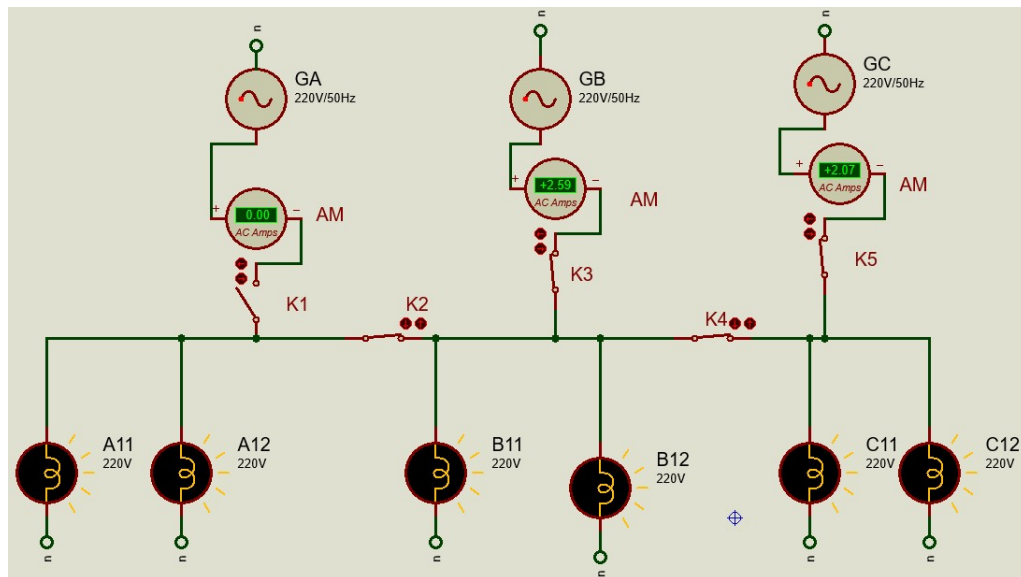


Figure 5: cas d'un groupe en panne, interconnexion établie

e. Cas de deux groupes en pannes avec l'interconnexion établie.

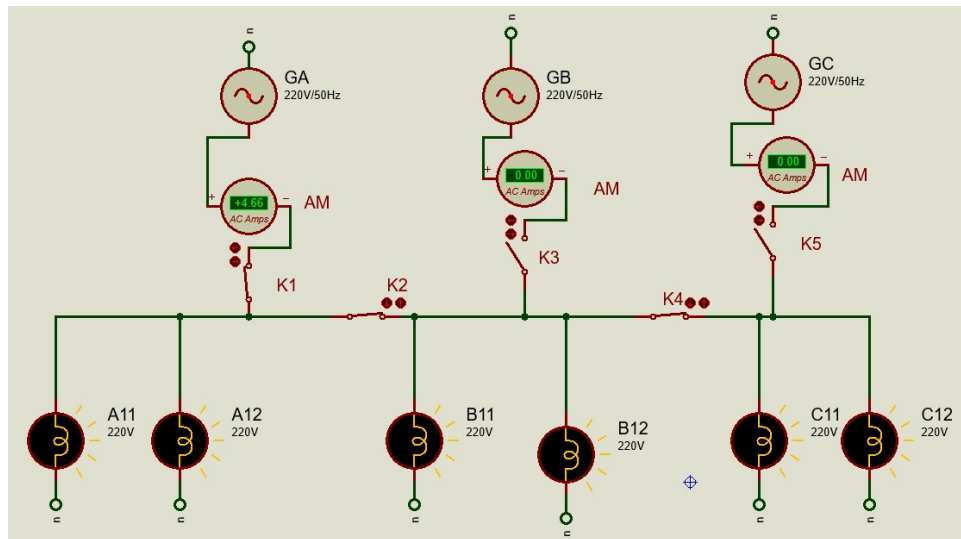


Figure 6: Cas de deux groupes en pannes

La figure 6 montre un scénario qui simule un schéma d'interconnexion de trois groupes dont deux sont en pannes dont GB et GC. Nous constatons justement que si le groupe GA a une puissance capable d'alimenter tous les clients [9]; peu importe la panne pour les deux groupes ; les clients sont servis. Sur l'appareil de mesure nous pouvons voir le courant débité qu'il est le courant total des charges.

La section de la méthodologie est revenue sur les conditions de mise en interconnexion des plusieurs connexions. Celles-ci peuvent compromettre l'efficacité de l'énergie produite si elles ne sont respectées [14]. Les résultats et discussions ci-hauts sont dans le cas où toutes les conditions sont respectées. Qu'en est-il alors des cas où certaines conditions ne sont pas respectées.

f. Cas ou la fréquence d'un groupe diffère de celles d'autres groupes.

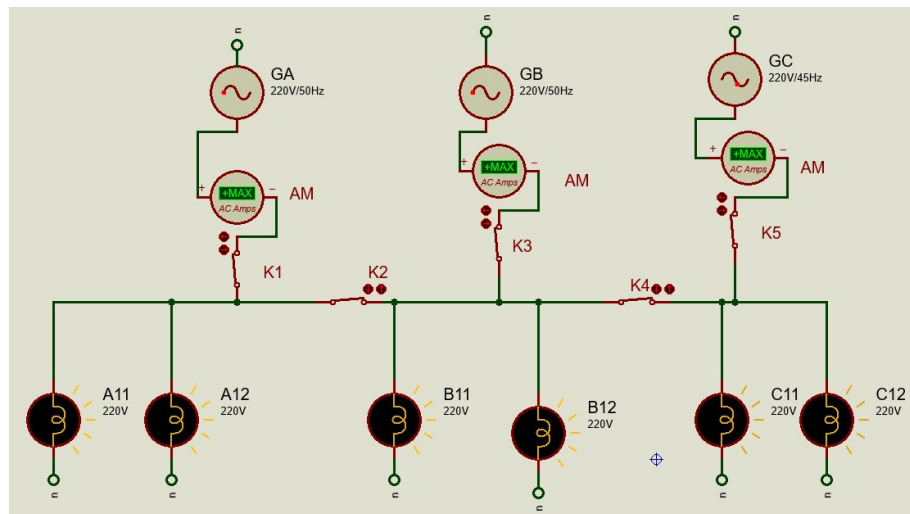


Figure 7: cas d'un groupe avec une fréquence inférieure à celles d'autres groupes

De cette simulation, il s'agit un fonctionnement anormal des charges. Ce sont des courants de court-circuit qui circulent. L'indication +max sur l'appareil signifie qu'il y a un court-circuit. Partant, une différence de fréquence peut causer la détérioration des machines par l'échauffement dû aux courants de courts-circuits. La fréquence du groupe GC ayant baissé à 49Hz [15].

g. Cas de la baisse de la tension efficace d'un groupe face aux autres groupes.

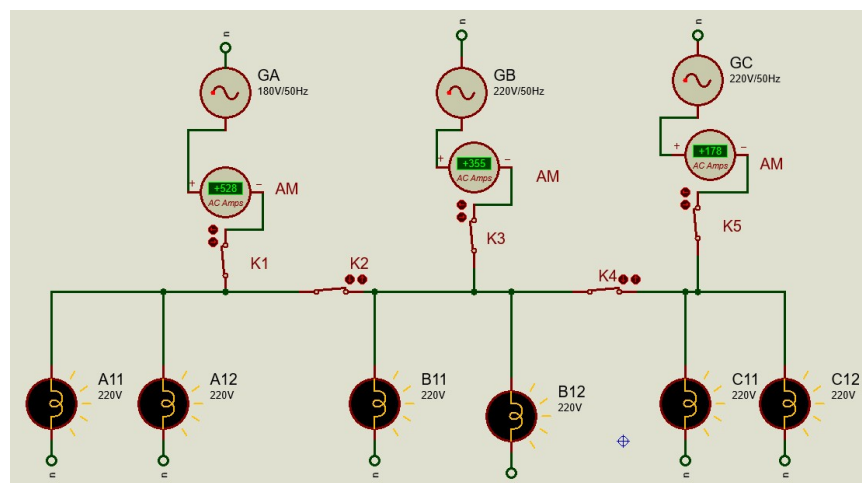


Figure 8: cas de la baisse de la tension d'un groupe

La figure 8 montre un cas du groupe GA dont la tension a baissé à 180V. ce scenario montre qu'il y a des courants réactifs qui circulent dans les machines. Les appareils de mesures montrent l'augmentation excessif des courants qui circulent. Ce phénomène est néfaste pour le fonctionnement des machines. Le tableau 2 suivant synthétise la comparaison des faits dans les deux cas.

Tableau 2 : synthèse de scenarios.

Scénario	Délestage	Stabilité	Sécurité énergétique	Efficacité énergétique
Sans interconnexion	Perpétuel	Faible	Faible	Faible
Avec interconnexion	Limité	Bonne	Très élevée	Élevée

Le développement économique de la zone Beni-Lubero passera par l'industrialisation. Cette zone étant dominée par l'agriculture, l'élevage et le commerce ; la transformation de ces produits est nécessaire car elle permettra la conservation et la transportabilité. Ces unités de transformation nécessitent l'énergie électrique pour leur fonctionnement. Quant à la tarification selon la volonté de chaque producteur, elle dénote une attitude qui ne tient pas compte du niveau moyen de vie de la zone. Cette tarification ne permet pas à tout le monde d'accéder à une énergie électrique pour sa survie. C'est à ce niveau que le politique doit intervenir à travers la planification énergétique qui tient compte de la moyenne vitale de la population.

Cette étude montre que l'interconnexion des centrales électriques permet d'améliorer de façon importante la continuité de l'alimentation électrique dans la région de Beni-Lubero. Les simulations réalisées sous Proteus montrent qu'en l'absence d'interconnexion, la défaillance d'une seule centrale entraîne immédiatement une interruption de l'alimentation de tous les abonnés qui en dépendent, alors que les autres producteurs disposent encore d'une capacité de production disponible. En revanche, lorsque les centrales sont interconnectées, les groupes restant opérationnels prennent automatiquement le relais, garantissant ainsi la continuité du service.

Ces résultats rejoignent les idées selon lesquelles l'interconnexion constitue un élément fondamental de la sécurité énergétique puisqu'elle permet de mutualiser les ressources de production, de réduire les risques de rupture de service et d'améliorer la résilience des réseaux électriques [13,

21]. De ce fait, la planification énergétique moderne privilégie les réseaux intégrés capables d'assurer une alimentation continue malgré les incidents techniques. Aussi, d'après l'Agence internationale de l'énergie [22], les réseaux interconnectés offrent une meilleure stabilité du système électrique, facilitent l'intégration de nouvelles unités de production et diminuent les coûts liés aux interruptions de service. Selon l'IEA [15], l'interconnexion constitue aujourd'hui l'un des principaux leviers de la transition énergétique et de la sécurité d'approvisionnement.

Par ailleurs, les simulations montrent que l'interconnexion n'est efficace que lorsque certaines conditions techniques sont rigoureusement respectées. Les écarts de fréquence ou de tension entre les groupes engendrent des courants de court-circuit, des courants réactifs importants et un échauffement susceptible d'endommager les équipements électriques. Ces observations viennent confirmer les travaux de John J. Grainger et de William D. Stevenson [23] qui montrent que le synchronisme des générateurs (fréquence, tension, ordre des phases et angle de phase) est une condition indispensable avant de mettre en parallèle les alternateurs. Une déviation importante de celui-ci réduit la stabilité du réseau et peut entraîner de graves perturbations.

Les résultats soulignent également l'importance du rôle de l'État dans la gouvernance du secteur électrique. En cas de libéralisation, chaque opérateur applique sa propre politique tarifaire et cela peut creuser les inégalités d'accès à l'électricité. Cette constatation est en phase avec les analyses de la Banque mondiale [24] qui préconisent une forte régulation du développement du secteur électrique en Afrique, afin de concilier rentabilité des investissements privés, protection des consommateurs et accès universel à une énergie abordable. Ces conclusions sont également en phase avec les recommandations de l'Union africaine [25] qui considère les interconnexions régionales comme un facteur essentiel d'intégration économique, de réduction des coûts de production et d'amélioration de la compétitivité des économies africaines.

Dans le cas spécifique de Beni-Lubero, où les activités agricoles, commerciales et agroalimentaires constituent les piliers de l'économie locale, la disponibilité continue de l'électricité apparaît comme une condition préalable à l'industrialisation. Les résultats obtenus indiquent que le raccordement des centrales d'Ivugha, de Talihya et d'Ivingu permettrait

d'une part d'accroître la fiabilité du réseau et, d'autre part, de favoriser la transformation locale des produits agricoles, la conservation des denrées, le développement des petites industries et la création d'emplois. Cette constatation est en phase avec les travaux de la Banque africaine de développement [4 ; 26], qui identifient l'accès fiable à l'électricité comme l'un des principaux moteurs de la croissance économique en Afrique.

Enfin, cette étude propose une modélisation adaptée au contexte de la région Beni-Lubero, contribution originale. Elle montre, par simulation numérique, les avantages techniques de l'interconnexion et les contraintes de synchronisation des centrales, contrairement aux études purement théoriques. Cette recherche souffre toutefois de l'absence d'une validation expérimentale sur un réseau réel ainsi que de l'absence d'une analyse technico-économique des coûts d'investissement et de rentabilité de l'interconnexion. De futurs travaux pourraient inclure des simulations de flux de puissance, des analyses de stabilité dynamique ainsi que des évaluations économiques permettant d'aider les décideurs publics.

Conclusion

L'objectif de cette étude était de montrer l'intérêt technique et économique de l'interconnexion des centrales électriques dans la région de Beni-Lubero, en vue d'améliorer la sécurité énergétique et de soutenir le développement économique régional.

Pour atteindre les objectifs escomptés, le secteur d'énergie électrique doit être porté par le gouvernement en place, qui a un rôle capital en matière de planification et de réglementation, ainsi de mobilisation des producteurs et consommateurs d'énergies, ainsi que de la tutelle ministérielle. Si ces trois composantes d'acteurs interagissent pour la fixation du prix d'énergie et la médiation, le gouvernement garantit alors le respect des réglementations fixées et la marche vers les objectifs escomptés. En sus, pour contrer l'insécurité énergétique, sa faveur se penchera au système d'interconnexion des plusieurs unités de production, loin de tout monopole de production. Seule la commercialisation sera confiée à une entreprise capable et dans le respect des réglementations. Cela suppose que, une fois produite, l'énergie est alors vendue à l'entreprise chargée de sa commercialisation.

Les simulations montrent que l'interconnexion permet de garantir la continuité de l'alimentation électrique même en cas de défaillance d'une ou

de plusieurs unités de production, à condition que les paramètres électriques (tension, fréquence, phases et synchronisme) soient parfaitement respectés. Les résultats montrent également que les écarts de fréquence ou de tension entraînent des dysfonctionnements qui peuvent compromettre la stabilité du réseau et endommager les équipements.

Au-delà des aspects techniques, cette recherche montre que la réussite d'un système interconnecté repose sur une gouvernance efficace impliquant l'État, les producteurs d'électricité et les consommateurs. L'État joue un rôle clé dans la planification énergétique, la régulation des prix, la fixation des normes techniques et l'assurance d'un accès équitable à l'électricité.

Dans une région où agriculture, commerce et agro-industrie constituent les principaux moteurs économiques, une alimentation électrique fiable est une condition indispensable à l'industrialisation, à la création d'emplois, à la valorisation des produits agricoles et à l'amélioration du niveau de vie des populations.

Cette étude apporte enfin une contribution scientifique en proposant un modèle d'interconnexion adapté au contexte de Beni-Lubero. Des travaux complémentaires devraient toutefois porter sur l'expérimentation à l'échelle réelle, l'analyse économique des investissements, l'évaluation de la stabilité des réseaux et l'intégration progressive des énergies renouvelables dans un système électrique régional interconnecté.

Références

- [1] J. DALMASSO, *Cours d'électrotechnique 2. traitement de l'énergie électrique*, Berlin: collection DIA Technique Supérieur, 1984-2.
- [2] M.VIAL, *Electricité professionnelle*, Editions Nathan/VUEF, 2001.
- [3] D. R. BOURGEOIS, *Memotech Electrotechnique*. collection A. capliez Educative, Paris: Edition CASTEILLA, 2002.
- [4] G. B. A. d. Développement, «Alimenter l'Afrique en énergie grâce à l'interconnexion des réseaux électriques,» Groupe Banque Africaine de Développement, Abidjan 01 Cote d'Ivoire, 2018.
- [5] C. RDC, *Revision du fichier electoral*, CENI, RDC, 2023.

- [6] J.-N. F. e. E. Julien, *Thermodynamique, bases et applications*, Paris: edition Dunod, 2005.
- [7] P. N. N. Bernard, Artist, *Cours d'economie d'energie*. [Art]. ULPGL-GOMA, 2015-2016.
- [8] e. A. Jacques GIRI, *Guide de l'energie*, ISBN2-11-084861-8, 1988.
- [9] CIGRE, *Global electricity network feasibility study*, CIGRE, 75008 Paris France, 2019.
- [10] RDC, «Loi no 14/011 du 07 Juin 2024 relative au secteur de l'electricite,Kinshasa,» *Journal officiel de la RDC, cabinet du president de la Republique*, Juin 2014.
- [11] D. d. B. Gerard, «le sous developpement, analyses et representations,» *Revue Tiers monde*, n° %157, p. 106, janvier-mars 1974.
- [12] NAY(O), *Lexique de science politique. vie et institutions politiques*, Paris: Dalloz, 2008.
- [13] M.KLEINPETER, *Enegy Planning and Policy*, Publisher Wiley and sons, 1996.
- [14] G. Congolais, «Politique Nationale de l'Energie de la Republique Democratique du Congo.,» Gouvernement congolais, Kinshasa, 2022.
- [15] Fabien. [En ligne]. Available: <https://theses.fr/2012NICE0037>.
- [16] UE. [En ligne]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/topics/fr/article/20230915STO05212/securite-energetique-solutions-aux-defis-actuels>.
- [17] I. E. A. (IEA), «Electricity Grids and Secure Energy Transitions,» IEA, Paris, 2023.
- [18] F. N. Guy SERGUIER, *Electrotechnique industrielle*, deuxieme edition Technique et Documentation, 1996.
- [19] [En ligne]. Available: https://www.google.com/search?q=augmentation+de+la+population+dans+le+monde+de+2000+a+2025&sca_esv=e678d1468e4dc1b3&sxsrf=APp eQnsXJp3L

FPYm0VIunZFMfpthqDw2LA%3A1785832382867&ei=vqNxauy-
NMGzi-gP-
6Xm4As&biw=1280&bih=593&ved=0ahUKEwjslbyGyIaW
AxXB2QIHHfuSGbwQ4.

- [20] N. Unies, *Acces a l'energie et securite energetique en Afrique de l'Est*, CEA, Addis Abeba, 2010.
- [21] AFSEC, *Directives techniques pour l'interconnexion des Réseaux électriques en Afrique*, Guide d'AFSEC 11: 2024
- [22] IEA, *Electricity 2026. Analysis and forecast to 2030*.
<https://www.iea.org/reports/electricity-2026>
- [23] Grainger, J. J., Stevenson, W. D., & Chang, G. W. (2016). *Power system analysis*.
<https://repositori.telkomuniversity.ac.id/home/catalog/id/207154/slug/power-system-analysis.html>
- [24] Banque Mondiale, *Tracking SDG7: The Energy Progress Report*.
<https://trackingsdg7.esmap.org/>
- [25] Union Africaine, *Programme for Infrastructure Development in Africa (PIDA)*, https://www.au-pida.org/?utm_source=chatgpt.com
- [26] BAD, *Politique du Secteur de l'Energie du Groupe de la BAD*, 2012
https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Policy-Documents/Politique_du_Secteur_de_l_energie_du_groupe_de_la_BAD.pdf

Brève présentation du CRIG

Le Centre des Recherches Interdisciplinaires du Graben (CRIG), créé par la Décision rectorale n° UCG/RECT/022/98 du 15 juillet 1998, est l'institution qui gère les recherches à l'Université Catholique du Graben. Il regroupe les Professeurs, Chefs de Travaux et Assistants autour de plusieurs cellules de recherche dont la Santé animale et végétale, l'environnement, les sciences juridiques et politiques, les sciences économiques, sociales, anthropologiques et de développement, les Sciences appliquées et Technologie, l'assainissement et santé publique.

Le CRIG publie une revue scientifique dénommée « *Parcours et Initiatives* » reconnue par le Conseil d'Administration des Universités du Congo à travers la correspondance CAU/SP/NS.NL/MJ/162/2005 du 28 novembre 2005 et l'Arrêté ministériel n° 555/MINESU/CAB.MIN/MNB/RMM/2023 du 24/10/2023 portant reconnaissance d'un centre de recherche dénommé « Centre de Recherches Interdisciplinaires du Graben » et de ses revues scientifiques « Les Revues du Graben » de l'Université Catholique du Graben. D'autres travaux de recherche peuvent être également publiés au CRIG sous forme de : *Parcours et Initiatives*, Textes de conférences ou colloques ; *Notes de recherche et Documents* : cette collection publie les résultats des recherches particulières réalisées individuellement ou collectivement jugées scientifiques par le Comité scientifique. Elle concerne aussi la publication des travaux scientifiques sous forme *d'ouvrages*. D'autres revues du Graben seront bientôt disponibles.

Dans le souci de faciliter les publications du CRIG, les manuscrits sont reçus toute l'année via les adresses crigucg@gmail.com, crig@ucgraben.ac.cd. Les instructions aux auteurs et le canevas des articles sont disponibles sur le site www.crigpug-ucg.org. Pour plus d'amples informations, prière consulter ce site.

Les articles de la revue sont consultables en ligne sur <https://www.crigpug-ucg.org/index.php/pirig>, <https://www.ajol.info/index.php/pirig> (Revue indexée chez AJOL)