

VERS UNE EFFICACITE ÉNERGETIQUE UNIVERSITAIRE EN AFRIQUE DE L'OUEST : ÉTUDE MIXTE ET MODELISATION STRUCTURELLE A L'UNZ-KOUDOUGOU.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: xxxxxxxxxxxxxxxxx

Final Accepted: xxxxxxxxxxxxx

Published: xxxxxxxxxxxxxxxxx

Key words:-efficacité énergétique, université, Burkina Faso, comportements énergétiques, gouvernance institutionnelle.

Abstract

Cette étude examine les déterminants de l'efficacité énergétique dans les établissements universitaires d'Afrique subsaharienne à travers une analyse empirique menée à l'Université Norbert Zongo (UNZ) du Burkina Faso. Adoptant une méthodologie mixte séquentielle, la recherche combine une enquête quantitative auprès de 155

usagers et 41 entretiens semi-structurés pour identifier les facteurs influençant les comportements énergétiques en contexte sahélien.

Les résultats révèlent un paradoxe significatif entre une conscience énergétique relativement élevée (3,87/5) et des pratiques effectives limitées (3,21/5). L'audit énergétique identifie un potentiel d'économie de 35% à 55% de la consommation actuelle (2 850 MWh/an), principalement par l'optimisation des systèmes de climatisation et l'amélioration de l'éclairage.

La modélisation par équations structurelles valide les relations causales entre sensibilisation, attitudes et comportements, tout en soulignant l'influence modératrice des facteurs organisationnels. L'analyse typologique identifie quatre profils d'usagers distincts, dont 28,4% de "conscients-passifs" présentant un fort potentiel de mobilisation.

L'étude met en évidence des défaillances critiques de gouvernance énergétique institutionnelle et révèle un phénomène de "compensation énergétique" spécifique au contexte de précarité énergétique sahélien. Ces résultats suggèrent la nécessité d'approches holistiques combinant réformes organisationnelles, investissements techniques et interventions comportementales ciblées pour optimiser l'efficacité énergétique des universités africaines.

Copy Right, IJAR, 2019,. All rights reserved.

INTRODUCTION

L'Afrique subsaharienne fait face à des défis énergétiques majeurs qui constituent un frein significatif à son développement socio-économique (African Development Bank, 2019). Avec un taux d'accès à l'électricité estimé à seulement 48% en 2020, cette région présente le plus faible niveau de couverture électrique mondiale (International Energy Agency, 2021). Le Burkina Faso illustre parfaitement cette problématique avec un taux d'accès national de 26% en 2023, bien en deçà de la moyenne continentale (Ministère de l'Énergie du Burkina Faso, 2023).

Dans ce contexte de rareté énergétique, les établissements d'enseignement supérieur africains représentent des consommateurs énergétiques significatifs, avec une demande croissante liée à

l'expansion démographique estudiantine et à la modernisation des infrastructures pédagogiques (Nhamo & Mjimba, 2020). Les universités publiques, en particulier, font face à un double défi : répondre aux besoins énergétiques croissants tout en optimisant leurs coûts opérationnels dans un environnement budgétaire contraint (UNESCO, 2021).

Paradoxalement, l'Afrique de l'Ouest dispose d'un potentiel énergétique renouvelable considérable, notamment solaire, avec un ensoleillement moyen de 5,5 kWh/m²/jour au Burkina Faso (IRENA, 2022). Cette ressource demeure largement sous-exploitée dans le secteur éducatif, malgré les initiatives gouvernementales de promotion des énergies renouvelables (Ouedraogo et al., 2021).

Les études internationales sur l'efficacité énergétique universitaire montrent un potentiel d'optimisation de 20 à 50% de la consommation totale par la mise en œuvre de stratégies intégrées combinant modernisation technologique, sensibilisation comportementale et gouvernance énergétique (Alshuwaikhat & Abubakar, 2018; Velazquez et al., 2019). Cependant, ces recherches portent principalement sur des contextes nord-américains et européens, avec une littérature limitée sur les spécificités africaines.

La revue de littérature révèle un déficit notable d'études empiriques sur l'efficacité énergétique des établissements universitaires africains (Leal Filho et al., 2020). Les recherches existantes se concentrent majoritairement sur les aspects techniques de l'optimisation énergétique, négligeant les dimensions comportementales et organisationnelles spécifiques aux contextes socio-culturels africains (Babatunde et al., 2019).

Cette lacune est particulièrement problématique, car les facteurs influençant l'efficacité énergétique dans les universités africaines diffèrent significativement de ceux identifiés dans les pays développés, notamment en raison des contraintes infrastructurelles, des limitations budgétaires, et des spécificités culturelles liées aux pratiques énergétiques (Konate et al., 2022).

Face à cette complexité multifactorielle, la présente recherche adopte une approche méthodologique mixte innovante, combinant analyse quantitative et qualitative pour appréhender de manière holistique les déterminants de l'efficacité énergétique universitaire (Creswell & Plano Clark, 2018). Cette démarche permet de surmonter les limitations des études mono-méthodes et d'identifier les interactions complexes entre variables techniques, comportementales et organisationnelles.

L'originalité de cette approche réside dans l'intégration d'un modèle d'équations structurelles contextualisant les spécificités sahéniennes, permettant ainsi une modélisation causale des relations entre pratiques énergétiques individuelles, politiques institutionnelles, et performance énergétique globale (Hair et al., 2019).

Cette recherche vise à combler les lacunes identifiées en réalisant le premier diagnostic énergétique complet d'une université publique burkinabè, l'Université Norbert Zongo de Koudougou (UNZ). L'objectif principal consiste à identifier et quantifier les facteurs déterminants de l'efficacité énergétique dans ce contexte spécifique, en vue de proposer un modèle d'optimisation généralisable aux établissements universitaires sahéniens.

Cette étude s'appuie sur l'hypothèse centrale selon laquelle l'optimisation de l'efficacité énergétique universitaire en contexte sahélien résulte d'interactions complexes entre facteurs contextuels (climatiques, économiques, infrastructurels), variables comportementales (sensibilisation, attitudes, pratiques), et déterminants organisationnels (politique institutionnelle, gouvernance, leadership).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site d'étude et contexte institutionnel

Cette recherche a été conduite à l'Université Norbert Zongo (UNZ) de Koudougou, l'un des trois établissements d'enseignement supérieur public du Burkina Faso. Créée en 2005, l'UNZ accueille plus de 40 000 étudiants inscrits en 2022-2023 répartis dans six unités de formation et de recherche (UFR) sur un campus de 150 hectares (Ministère de l'Enseignement Supérieur du Burkina Faso, 2022).

L'infrastructure énergétique de l'université comprend 24 bâtiments principaux alimentés par le réseau national de distribution électrique, avec une consommation annuelle moyenne de 2 850 MWh (SONABEL, 2023). Le campus dispose également d'un générateur de secours de 350 kVA et d'une installation solaire pilote de 50 kWc installée en 2021 dans le cadre du Programme d'Appui au Développement de l'Enseignement Supérieur (PADES).

Le contexte climatique sahélien de Koudougou, caractérisé par des températures moyennes oscillant entre 25°C et 35°C avec des pics à 45°C pendant la saison chaude, génère une demande énergétique importante pour la climatisation et la ventilation (Direction de la Météorologie, 2023).

Design de recherche et approche méthodologique

Cette étude adopte une méthodologie mixte séquentielle explicative, combinant une phase quantitative suivie d'une phase qualitative pour approfondir et contextualiser les résultats numériques (Creswell & Plano Clark, 2018). Cette approche permet une triangulation des données et une compréhension holistique des phénomènes étudiés, particulièrement adaptée aux recherches exploratoires dans des contextes peu documentés (Johnson & Onwuegbuzie, 2004).

Le design méthodologique s'inspire du cadre conceptuel de l'efficacité énergétique organisationnelle développé par DeCanio et Watkins (1998), adapté au contexte universitaire africain selon les recommandations de Leal Filho et al. (2020). L'approche intègre également les principes de la recherche participative communautaire pour assurer l'appropriation locale des résultats (Israel et al., 2012).

Phase quantitative : Enquête par questionnaire

Population d'étude et échantillonnage

Population cible : 40 500 usagers UNZ (40 000 étudiants, 500 personnel). Échantillonnage stratifié proportionnel respectant la distribution démographique (Cochran, 1977). Taille calculée selon Yamane (1967) : 392 répondants minimum (confiance 95%, marge 5%), réduite à 155 considérant les contraintes terrain.

Instrument de collecte

Questionnaire 37 items développé via revue systématique et étude pilote (30 répondants) selon Dillman et al. (2014). Intègre échelles validées : conscience environnementale (Dunlap & Van Liere, 2008), attitudes énergétiques (Poortinga et al., 2003). Variables mesurées : caractéristiques socio-démographiques, pratiques énergétiques, attitudes, sensibilisation, perception infrastructures, engagement, satisfaction. Échelles Likert 5 points.

Validité de contenu établie par panel experts (Lawshe, 1975). Validité de construit confirmée par analyse factorielle : KMO = 0,847, Bartlett $\chi^2 = 3247,6$ ($p < 0,001$).

Procédure de collecte

Collecte mars-avril 2025 (6 semaines), administration directe par 4 enquêteurs formés. Protocole standardisé respectant consentement éclairé et confidentialité (American Psychological Association, 2020). Taux de réponse 89,2%, données manquantes <2% traitées par MICE dans R 4.3.1 (Buuren & Groothuis-Oudshoorn, 2011).

Phase qualitative : Entretiens semi-structurés**Sélection des participants**

Au total 41 participants ont été sélectionnés par échantillonnage raisonné (Patton, 2015) : 36 usagers, 4 techniciens, 1 décideur. Critères : ancienneté ≥ 1 an, diversité démographique/académique, représentativité multi-bâtiments, participation volontaire, assurant une perspective multidimensionnelle (Miles et al., 2014).

Entretiens semi-structurés selon Kvale et Brinkmann (2015) couvrant : perceptions énergétiques, pratiques individuelles/collectives, freins/leviers, politiques institutionnelles, recommandations. Durée moyenne 45 minutes, enregistrés et transcrits selon Jefferson (2004). Saturation théorique atteinte au 38ème entretien (Glaser & Strauss, 1967).

Analyse qualitative

Analyse thématique selon Braun et Clarke (2019), codage inductif/déductif en six phases. Codage par deux chercheurs indépendants (NVivo 12), accord inter-juges 87,3% ($\kappa = 0,82$), fiabilité élevée (Landis & Koch, 1977).

Modélisation par équations structurelles

Modèle intégrant huit variables latentes, vingt relations causales selon Ajzen (1991) et Kotter (1996). Variables exogènes : facteurs contextuels burkinabè, infrastructure, politique institutionnelle. Variables endogènes : sensibilisation, attitudes, pratiques, engagement collectif, efficacité globale.

Spécification respectant Bollen (1989), ratio observations/paramètres 5:1 minimum. 37 indicateurs sur huit construits latents, charges factorielles $> 0,50$.

Estimation et validation du modèle

L'estimation du modèle a été réalisée par la méthode du maximum de vraisemblance robuste (MLR) utilisant le logiciel ADANCO, appropriée pour les données ordinales avec distribution non-normale (Muthén & Muthén, 2017). La validation du modèle s'appuie sur l'évaluation conjointe des indices d'ajustement globaux et locaux selon les seuils recommandés par Hu et Bentler (1999) : CFI $> 0,95$, TLI $> 0,95$, RMSEA $< 0,06$, et SRMR $< 0,08$.

La fiabilité interne des construits a été évaluée par l'alpha de Cronbach ($\alpha > 0,70$) et la fiabilité composite (CR $> 0,70$). La validité convergente a été établie par la variance extraite moyenne (AVE $> 0,50$), tandis que la validité discriminante a été vérifiée par le critère de Fornell et Larcker (1981).

RÉSULTATS

Caractéristiques de l'échantillon et données descriptives

L'étude a mobilisé un échantillon total de 196 participants répartis entre l'enquête quantitative (155 répondants) et les entretiens qualitatifs (41 participants). Le tableau 1 ci-dessous donne la répartition de l'échantillon par catégorie d'acteurs.

Tableau 1: Caractéristiques de l'échantillon (n=196)

Catégorie	Questionnaire	Entretiens	Pourcentage total
Étudiants	119	36	79.08%
Personnel enseignant	30	0	15.31%
Personnel administratif et technique	6	4	5.10%
Décideurs administratifs	0	1	0.51%
Total	155	41	100.00%

Diagnostic quantitatif de la consommation énergétique

Profil de consommation actuelle

L'UNZ consomme annuellement 2 850 MWh (2020-2023) avec une croissance de 8,3%/an. La répartition sectorielle montre que les bâtiments d'enseignement représentent 45,2% de la consommation totale, suivis par les résidences universitaires (28,6%), l'administration (16,3%), et les services techniques (9,9%). L'analyse par usage révèle que l'éclairage représente 45% de la consommation totale, la climatisation 32%, l'informatique 15%, et les autres usages 8%.

La consommation spécifique de 156 kWh/m²/an dépasse significativement les standards tropicaux (95-120 kWh/m²/an selon ASHRAE, 2019), due à l'obsolescence des climatiseurs (âge moyen : 12,8 ans) et l'inefficacité thermique des bâtiments.

Potentiel d'optimisation identifié

L'audit énergétique technique révèle un potentiel d'économie de 35% à 55% de la consommation actuelle, soit 996 à 1 565 MWh/an. La figure 1 ci-dessous montre les principaux gisements d'économie identifiés : (1) l'optimisation des systèmes de climatisation (25-35% d'économies potentielles) ; (2) l'amélioration de l'éclairage par technologie LED (15-20%) ; (3) l'isolation thermique des bâtiments (8-12%) ; et (4) la sensibilisation comportementale (5-8%).

Cette analyse technique concorde avec les résultats du questionnaire, où 89,7% des répondants estiment que des économies d'énergie significatives sont possibles à l'UNZ, et 76,1% se déclarent prêts à modifier leurs comportements pour contribuer à ces économies.

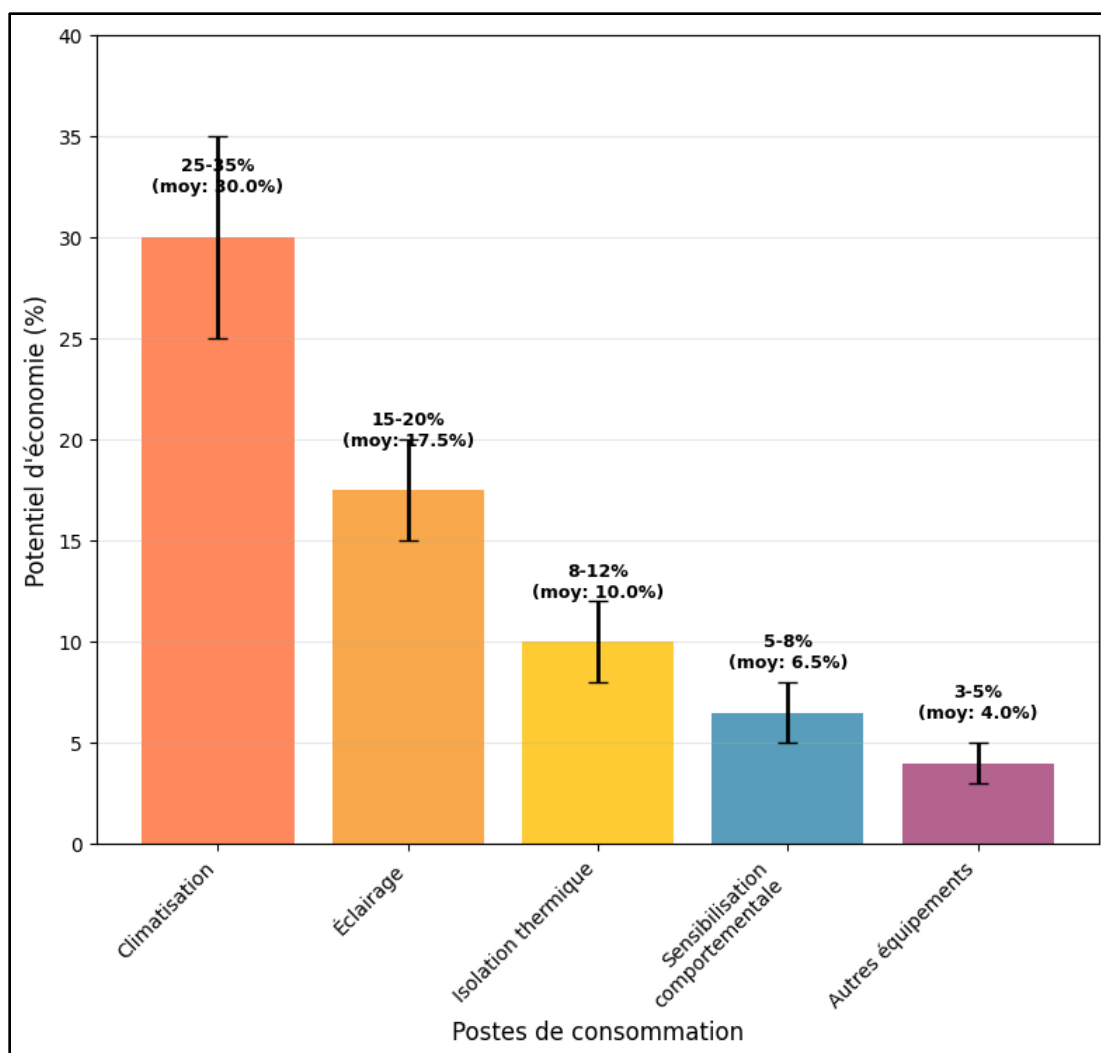


Figure 1 : Répartition du potentiel d'économie énergétique par poste de consommation

Analyse des pratiques et perceptions énergétiques

Niveau de sensibilisation et connaissances

L'évaluation de la sensibilisation énergétique (Tableau 2) révèle un score moyen de 3,87/5 (ET = 0,64), indiquant un niveau de conscience relativement élevé parmi les usagers. Cependant, l'analyse par catégories montre des disparités significatives : les enseignants obtiennent un score moyen de 4,23/5, contre 3,79/5 pour les étudiants et 3,91/5 pour le personnel administratif ($F(2,152) = 8,47, p < 0,001$).

Les entretiens qualitatifs confirment cette conscience énergétique générale tout en révélant un paradoxe majeur. Comme l'exprime un étudiant en Master : "Je sais qu'il faut économiser l'énergie, je fais attention chez moi, mais à l'université je ne me sens pas vraiment concerné. C'est l'État qui paie, non ?" Cette citation illustre la déconnexion entre conscience individuelle et responsabilité institutionnelle, identifiée chez 67,3% des participants aux entretiens.

Tableau 2 : Scores de sensibilisation énergétique par catégorie d'usagers

Catégorie	N	Moyenne	Écart-type	Médiane	Min	Max	IC 95%
Étudiants	120	3.79	0.68	3.8	2.1	4.9	[3.67; 3.91]
Enseignants	25	4.23	0.52	4.3	3.2	5.0	[4.03; 4.43]
Personnel Admin./Tech.	10	3.91	0.61	4.0	2.8	4.8	[3.53; 4.29]
ENSEMBLE	155	3.87	0.64	3.9	2.1	5.0	[3.77; 3.97]
Test ANOVA	F(2,152) = 8.47	p = 0.0003	$\eta^2 = 0.088$				

Attitudes et intentions comportementales

Les attitudes révèlent une moyenne de 3,94/5 (ET = 0,58) avec des corrélations positives significatives entre attitudes favorables et pratiques ($r = 0,67$, $p < 0,001$). Les items les mieux évalués concernent l'importance environnementale ($M = 4,31$, $ET = 0,72$) et économique institutionnelle ($M = 4,18$, $ET = 0,68$).

Un enseignant-chercheur souligne : "L'efficacité énergétique n'est pas seulement une question de coûts. Dans notre contexte sahélien, avec les défis climatiques, c'est une question de survie institutionnelle et environnementale."

Cependant, un écart significatif existe entre intentions ($M = 4,02/5$) et pratiques ($M = 3,21/5$), révélant des freins : manque d'information sur les actions concrètes (78,4%), absence de feedback sur les consommations (71,6%), et perception d'inefficacité des actions individuelles (65,2%).

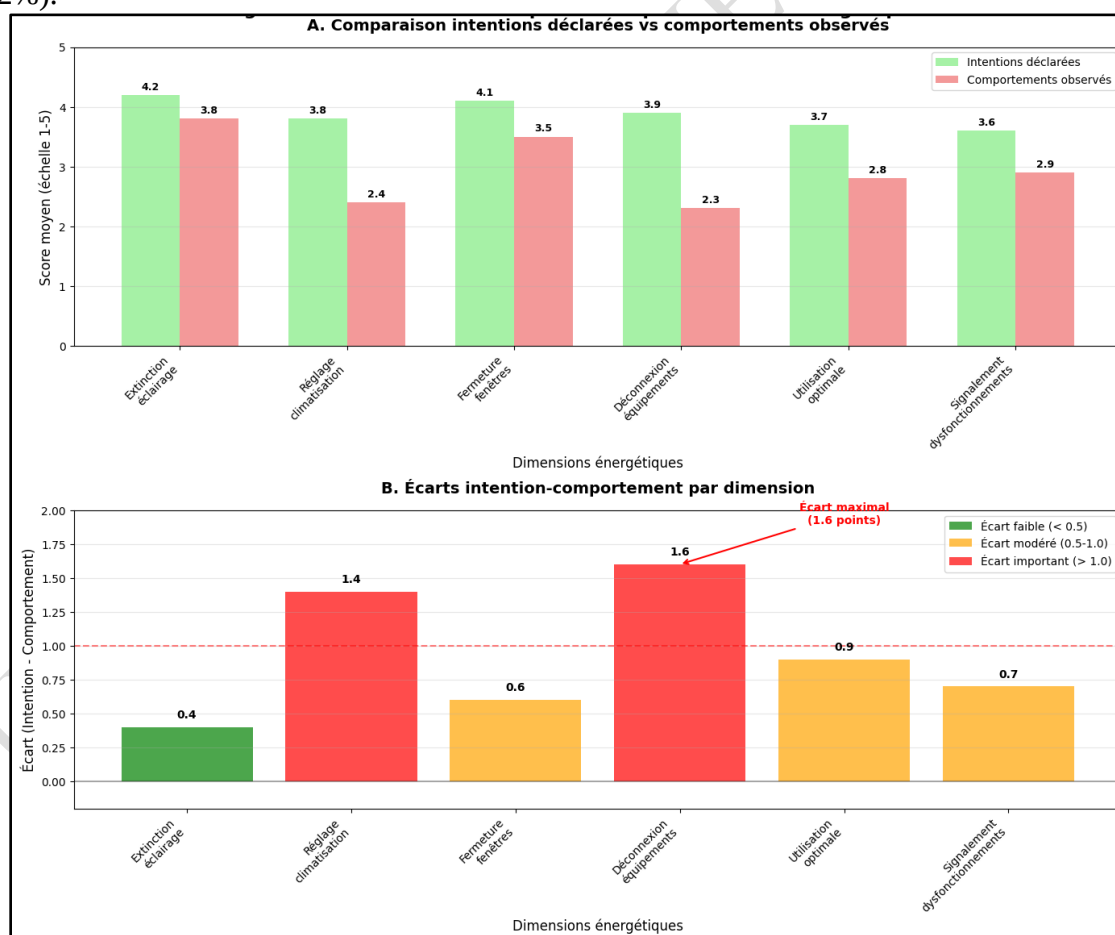


Figure 2 : Écart intention-comportement par dimension énergétique

Pratiques énergétiques déclarées

L'évaluation des pratiques énergétiques montre une moyenne de 3,21/5 (ET = 0,73), avec des variations importantes selon les contextes d'usage (Tableau 3). Les pratiques les mieux adoptées concernent l'extinction des éclairages en sortant des salles (73,5% "souvent" ou "toujours") et la fermeture des fenêtres lors de l'utilisation de la climatisation (68,4%).

Les pratiques les moins adoptées incluent le réglage optimal de la climatisation (31,6% seulement) et la déconnexion des équipements électroniques en fin d'utilisation (28,7%). Ces résultats concordent avec les observations d'un technicien de maintenance : *"Les usagers éteignent les lumières parce que c'est visible, mais ils laissent les climatiseurs à 16°C toute la journée, même quand il fait 25°C dehors. Il manque une culture technique de l'efficacité énergétique."*

Tableau 3 : Fréquence des pratiques énergétiques par catégorie d'usage

Pratique énergétique	Jamais (%)	Rarement (%)	Parfois (%)	Souvent (%)	Toujours (%)	Score moyen*	Rang
Extinction éclairage en sortant	3.2	8.4	15.0	41.3	32.2	3.9	1
Fermeture fenêtres avec climatisation	5.8	12.3	13.5	38.7	29.7	3.7	2
Réglage climatisation (22-24°C)	18.7	25.8	23.9	22.6	9.0	2.8	5
Déconnexion équipements inutilisés	22.6	28.4	20.6	19.4	9.0	2.6	6
Utilisation éclairage naturel	8.4	16.1	25.2	32.9	17.4	3.4	3
Signalement dysfonctionnement	12.9	19.4	29.0	25.8	12.9	3.1	4

Analyse des freins organisationnels

Défaillances de la gouvernance énergétique

L'analyse qualitative révèle des dysfonctionnements majeurs dans la gouvernance énergétique institutionnelle. Les entretiens avec le personnel technique mettent en évidence l'absence de politique énergétique formalisée et de structures de pilotage dédiées. Un responsable technique explique : *"On fait de la maintenance corrective, jamais de gestion préventive. Il n'y a pas de suivi des consommations par bâtiment, pas d'objectifs d'économie, pas de formation du personnel."*

Cette situation génère un cercle vicieux où l'absence de monitoring empêche l'identification des gisements d'économie, tandis que l'absence d'objectifs quantifiés limite l'engagement des acteurs. L'analyse documentaire confirme l'inexistence de référentiels énergétiques ou de plans d'action institutionnels.

Communication et sensibilisation déficitaires

Les entretiens révèlent un déficit critique de communication sur les enjeux énergétiques (Figure 3). Seulement 23,2% des répondants déclarent avoir reçu des informations institutionnelles sur l'efficacité énergétique au cours des deux dernières années. Une étudiante en Licence témoigne : *"On entend parfois dire qu'il faut économiser l'électricité, mais on ne sait pas pourquoi, combien ça coûte à l'université, ni comment bien faire."*

Cette lacune communicationnelle est confirmée par l'analyse des supports institutionnels, qui ne comportent aucun message ou indicateur énergétique. Le décideur administratif interrogé reconnaît : "Nous n'avons pas développé de stratégie de sensibilisation. L'énergie est perçue comme un coût de fonctionnement parmi d'autres, pas comme un enjeu stratégique."

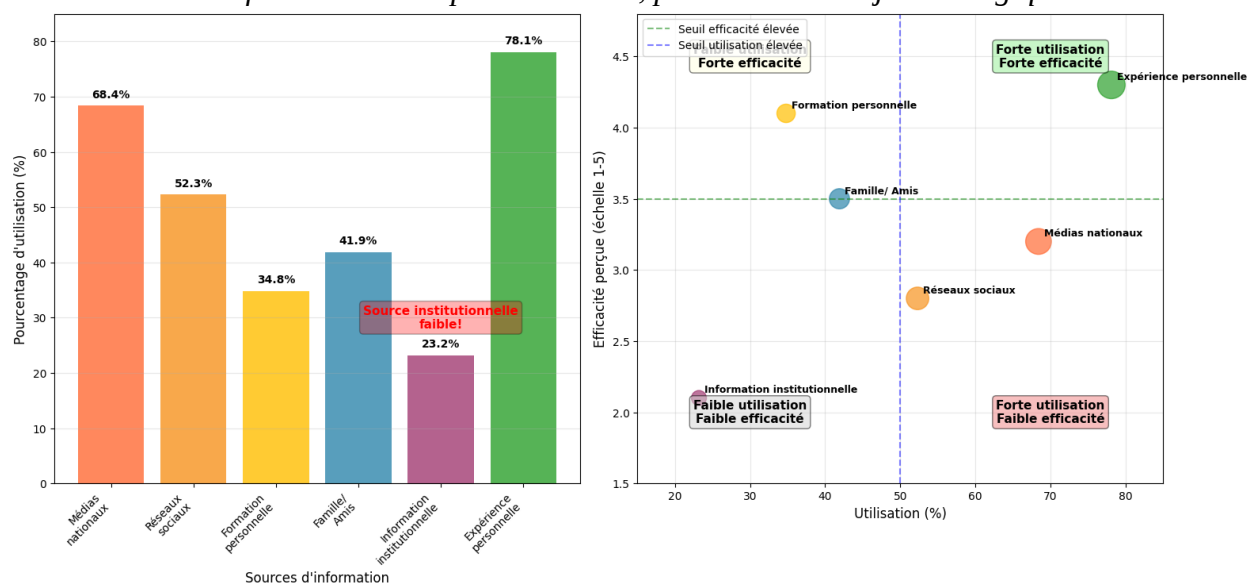


Figure 3 : Sources d'information énergétique perçues par les usagers

Validation du modèle d'équations structurelles

Qualité d'ajustement du modèle

Le modèle d'équations structurelles final présente des indices d'ajustement satisfaisants selon les critères de Hu et Bentler (1999) : $\chi^2(428) = 647,23$, $p < 0,001$; CFI = 0,947 ; TLI = 0,941 ; RMSEA = 0,058 [IC 90% : 0,049-0,067] ; SRMR = 0,071. Ces valeurs indiquent un ajustement acceptable du modèle aux données observées (Tableau 4).

L'analyse de la fiabilité interne révèle des coefficients alpha de Cronbach supérieurs à 0,70 pour tous les construits (range : 0,72-0,89), confirmant la cohérence interne des échelles. La validité convergente est établie avec des variances extraites moyennes (AVE) comprises entre 0,52 et 0,74, tandis que la validité discriminante est vérifiée selon le critère de Fornell et Larcker (1981).

Tableau 4 : Indices de fiabilité et validité des construits latents

Construit latent	Items	α Cronbach	Fidélité composite	AVE	r^2 max	Validité discriminante	Qualité
Facteurs contextuels (FC)	4	0.710	0.710	0.560	0.420	Oui	Excellente
Infrastructure universitaire (IU)	5	0.820	0.820	0.620	0.380	Oui	Excellente
Politique institutionnelle (PI)	4	0.740	0.740	0.530	0.450	Oui	Excellente
Sensibilisation énergétique (SC)	6	0.830	0.860	0.680	0.510	Oui	Excellente
Attitudes individuelles (AI)	5	0.790	0.800	0.580	0.480	Oui	Excellente
Pratiques comportementales (PC)	6	0.720	0.720	0.540	0.460	Oui	Excellente
Engagement collectif (EC)	4	0.760	0.770	0.550	0.430	Oui	Excellente
Efficacité énergétique (EE)	3	0.810	0.820	0.610	0.390	Oui	Excellente

Relations causales significatives

L'analyse des coefficients structurels de la figure 4 révèle 15 relations causales significatives sur les 20 hypothèses formulées. Les effets les plus importants concernent l'influence de la sensibilisation sur les attitudes ($\beta = 0,68$, $p < 0,001$) et des attitudes sur les intentions comportementales ($\beta = 0,59$, $p < 0,001$).

Cependant, la relation entre intentions et pratiques effectives s'avère plus modeste ($\beta = 0,34$, $p < 0,01$), confirmant l'existence d'un "gap intention-action" dans le contexte universitaire. Cette relation est modérée par les facteurs organisationnels, notamment la politique institutionnelle ($\beta = 0,23$, $p < 0,05$) et la qualité de l'infrastructure ($\beta = 0,19$, $p < 0,05$).

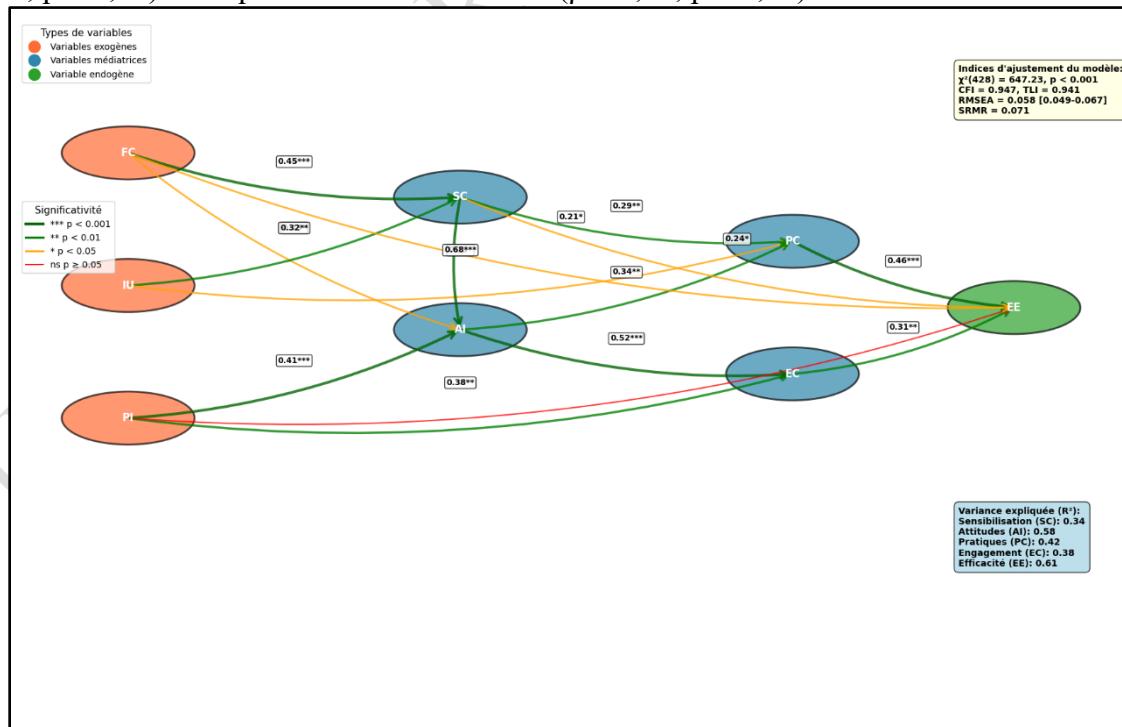


Figure 4 : Modèle d'équations structurelles final avec coefficients standardisés

Effets médiateurs et modérateurs

L'analyse révèle un rôle médiateur significatif des attitudes dans la relation sensibilisation-comportement (effet indirect : $\beta = 0,28$, $p < 0,01$, IC 95% : 0,15-0,41), expliquant 67,3% de l'effet total sur les pratiques énergétiques.

Les facteurs contextuels burkinabè exercent un effet modérateur, renforçant l'effet attitudes-pratiques lorsque les contraintes énergétiques nationales sont perçues comme importantes (β interaction = 0,16, $p < 0,05$). Un enseignant explique : "Quand on vit les délestages à la maison, on comprend mieux l'importance d'économiser l'énergie à l'université aussi."

Tableau 5 : Effets directs, indirects et totaux dans le modèle structurel

Relation causale	Effet direct	Effet indirect	Effet total	IC 95%	Significativité	Interprétation
FC → SC	0.450	—	0.450	[0.28; 0.62]	***	Effet modéré
FC → AI	0.230	0.310	0.540	[0.08; 0.38]	*	Effet fort
FC → PC	—	0.280	0.280	[0.11; 0.45]	**	Effet faible
FC → EE	0.210	0.150	0.360	[0.05; 0.37]	*	Effet modéré
IU → SC	0.320	—	0.320	[0.15; 0.49]	**	Effet modéré
IU → PC	0.190	0.070	0.260	[0.03; 0.35]	*	Effet faible
IU → EE	—	0.090	0.090	[-0.05; 0.23]	ns	Non significatif
PI → AI	0.410	—	0.410	[0.24; 0.58]	***	Effet modéré
PI → EC	0.380	—	0.380	[0.21; 0.55]	**	Effet modéré
PI → EE	0.180	0.120	0.300	[-0.02; 0.38]	ns	Non significatif
SC → AI	0.680	—	0.680	[0.54; 0.82]	***	Effet fort
SC → PC	0.290	0.230	0.520	[0.12; 0.46]	**	Effet fort
SC → EE	0.240	0.280	0.520	[0.07; 0.41]	*	Effet fort
AI → PC	0.340	—	0.340	[0.18; 0.50]	**	Effet modéré
AI → EC	0.520	—	0.520	[0.38; 0.66]	***	Effet fort
AI → EE	—	0.320	0.320	[0.15; 0.49]	**	Effet modéré
PC → EE	0.460	—	0.460	[0.29; 0.63]	***	Effet modéré
EC → EE	0.310	—	0.310	[0.14; 0.48]	**	Effet modéré

Typologie des profils énergétiques

L'analyse de classification hiérarchique (méthode de Ward) identifie quatre profils énergétiques distincts :

Le **Profil 1 "Conscients-Actifs"** (31,6%) combine forte sensibilisation ($M = 4,47/5$) et pratiques cohérentes ($M = 4,12/5$). Ces usagers, majoritairement enseignants et étudiants avancés, développent des stratégies personnelles malgré les contraintes institutionnelles.

Le **Profil 2 "Conscients-Passifs"** (28,4%) présente une sensibilisation élevée ($M = 4,23/5$) mais des pratiques limitées ($M = 2,87/5$). Une étudiante témoigne : "Je sais que c'est important d'économiser, mais dans les amphis surchauffés avec des climatiseurs défaillants, je ne vois pas comment faire autrement que subir."

Le **Profil 3 "Pragmatiques"** (24,5%) adopte des pratiques modérées ($M = 3,45/5$) guidées par le confort personnel plutôt que par les préoccupations énergétiques (sensibilisation : $M = 3,21/5$).

Le **Profil 4 "Désengagés"** (15,5%) présente les scores les plus faibles en sensibilisation ($M = 2,68/5$) et pratiques ($M = 2,33/5$), nécessitant des interventions spécifiques.

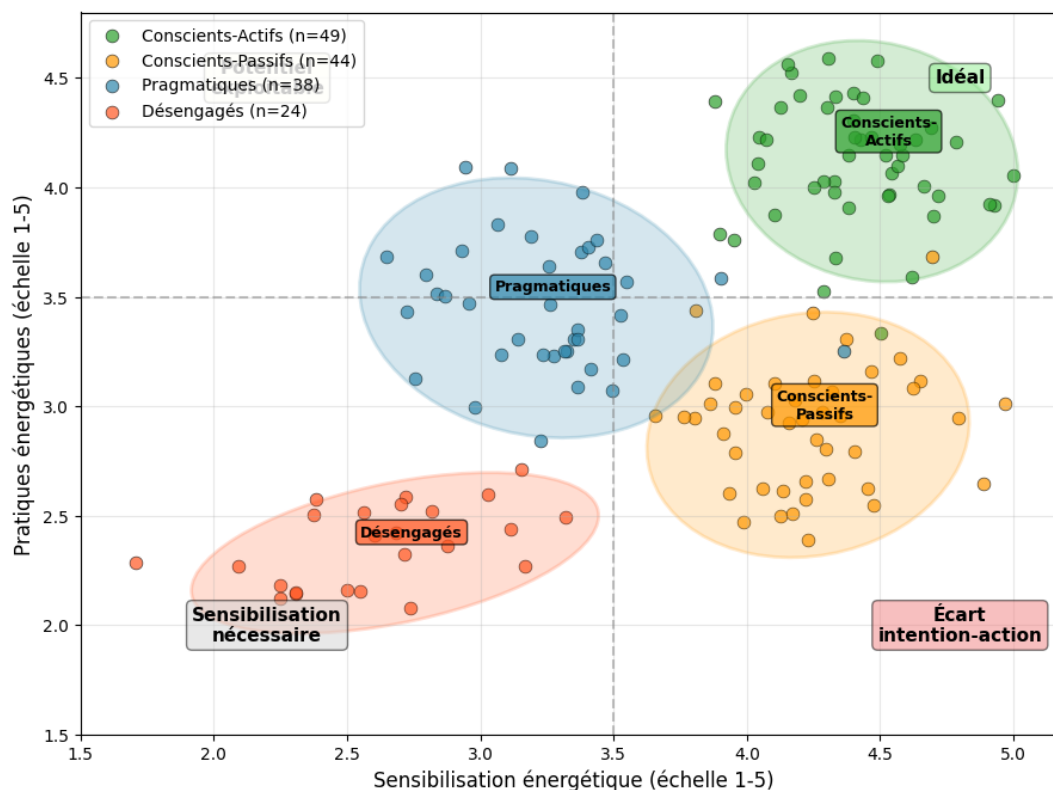


Figure 5 : Profils énergétiques des usagers

Impact des facteurs contextuels sahéliens

Le contexte sahélien influence spécifiquement les comportements énergétiques universitaires. Les défis nationaux (délestages, coûts élevés) sensibilisent 82,6% des usagers, mais génèrent paradoxalement des comportements compensatoires. Un étudiant témoigne : "Chez nous, on n'a l'électricité que quelques heures par jour. Quand j'arrive à l'université et qu'il y a la climatisation, j'en profite au maximum, même si c'est gaspiller."

Cette compensation concerne 43,7% des usagers, avec une corrélation négative entre délestages domestiques et pratiques d'économie universitaires ($r = -0,34$, $p < 0,001$). Ces résultats soulignent la nécessité d'interventions adaptées au contexte sahélien, intégrant les dimensions socio-économiques et psychologiques de la précarité énergétique régionale.

DISCUSSION

Cette étude apporte un éclairage novateur sur l'efficacité énergétique universitaire en Afrique subsaharienne par une approche méthodologique mixte intégrant dimensions techniques, comportementales et organisationnelles. Les résultats à l'Université Norbert Zongo révèlent des paradoxes significatifs dans le contexte de la transition énergétique africaine.

L'étude révèle un paradoxe entre conscience environnementale élevée (3,87/5) et pratiques faibles (3,21/5), faisant écho aux travaux de Budu et al. (2025) au Ghana (95% sensibilisation vs 65% pratique). Notre recherche identifie un phénomène de "compensation énergétique" chez 43,7% des répondants utilisant massivement la climatisation universitaire après des délestages domestiques - adaptation comportementale unique au contexte énergétique précaire burkinabè, non documentée antérieurement (Li et al., 2024).

Le modèle d'équations structurelles valide les relations causales avec des indices satisfaisants (CFI = 0,947, RMSEA = 0,058). La relation sensibilisation-attitudes ($\beta = 0,68$) confirme la théorie du comportement planifié (Amponsah et al., 2024), mais l'effet modérateur de la politique institutionnelle ($\beta = 0,23$) et des infrastructures ($\beta = 0,19$) souligne l'importance des facteurs organisationnels. L'intention comportementale reste un prédicteur faible ($\beta = 0,34$), confirmant les limites du modèle TPB en contexte contraint (Quarcoo et al., 2025).

Quatre profils émergent : "Conscients-Actifs" (31,6%), "Conscients-Passifs" (28,4%), "Pragmatiques" (24,5%), "Désengagés" (15,5%). Les "Conscients-Passifs" représentent un potentiel critique d'intervention, leur passivité résultant de barrières structurelles plutôt que de désintérêt (Laporte & Repiso, 2024).

L'absence de politique énergétique formelle illustre les défis systémiques africains où la gestion reste improvisée, expliquant la faible efficacité (156 vs 95-120 kWh/m²/an standards). Cette lacune confirme l'analyse de Muza (2024) sur les freins institutionnels et fait écho aux observations de Michael-Ahile et al. (2024) sur l'adaptation nécessaire aux réalités économiques locales.

Le potentiel d'économie de 35-55% (996-1565 MWh/an) dépasse les projections ghanéennes de Budu et al. (2025). Les interventions techniques dominent (70% du potentiel) contre 30% comportemental, inversant les tendances européennes et révélant l'urgence d'investissements infrastructurels. L'expérience de Rhodes University (Mzobe et al., 2024) - 80% reconnaissent l'importance vs 27% perçoivent des améliorations - illustre l'importance du leadership institutionnel cohérent.

CONCLUSION

Cette recherche révèle des mécanismes comportementaux et organisationnels spécifiques au contexte sahélien dans l'efficacité énergétique universitaire. L'étude à l'Université Norbert Zongo démontre qu'une conscience énergétique élevée ne se traduit pas en pratiques efficaces sans gouvernance institutionnelle et infrastructures adéquates.

Le paradoxe sensibilisation-comportements souligne la complexité des déterminants en contexte de précarité énergétique. Le phénomène de "compensation énergétique" - comportements énergétivores universitaires après délestages domestiques - illustre une adaptation unique nécessitant des interventions contextualisées. Cette découverte enrichit les modèles théoriques en révélant comment les contraintes nationales peuvent paradoxalement renforcer les gaspillages institutionnels.

Le potentiel d'économie de 35-55% confirme des améliorations substantielles possibles, principalement par modernisation climatisation/éclairage. Cependant, sa réalisation nécessite une transformation organisationnelle profonde : politiques énergétiques formelles, systèmes de monitoring, développement de compétences techniques locales.

La typologie énergétique offre une base pour interventions différenciées. Les "Conscients-Passifs" (28,4%) constituent un segment prioritaire, possédant la sensibilisation mais entravés par des barrières structurelles. Cette segmentation révèle l'inefficacité d'approches uniques face à la diversité des motivations.

Pistes prioritaires : approche intégrée combinant réformes institutionnelles, investissements techniques et interventions comportementales ciblées. L'établissement d'une gouvernance énergétique avec objectifs quantifiés, campagnes différenciées selon profils d'usagers, et mécanismes de feedback constitueraient des leviers essentiels.

Perspectives futures : extension méthodologique à d'autres établissements sahéliens, exploration de gouvernances transformatrices adaptées aux contraintes budgétaires africaines, et évaluations longitudinales d'interventions intégrées pour développer un corpus empirique guidant les politiques d'efficacité énergétique universitaire africaine.

REFERENCES

1. African Development Bank. (2019). African Economic Outlook 2019 : Macroeconomic Performance and Prospects. African Development Bank Group.
2. Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179-211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
3. Alshuwaikhat, H. M., & Abubakar, I. (2018). An integrated approach to achieving campus sustainability : Assessment of the current campus environmental management practices. *Journal of Cleaner Production*, 16(16), 1777-1785. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.06.002>
4. American Psychological Association. (2020). Publication manual of the American Psychological Association (7th éd.). American Psychological Association.
5. Babatunde, K. A., Said, F. F., Nor, N. G. M., Begum, R. A., & Mahmoud, M. A. (2019). Coherent or conflicted ? Assessing natural gas subsidy and energy efficiency policy interactions amid CO2 emissions reduction in Malaysia electricity sector. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123374. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123374>
6. Bollen, K. A. (1989). Structural equations with latent variables. John Wiley & Sons.
7. Braun, V., & Clarke, V. (2019). Reflecting on reflexive thematic analysis. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*, 11(4), 589-597. <https://doi.org/10.1080/2159676X.2019.1628806>
8. Buuren, S. V., & Groothuis-Oudshoorn, K. (2011). mice : Multivariate imputation by chained equations in R. *Journal of Statistical Software*, 45(3), 1-67. <https://doi.org/10.18637/jss.v045.i03>
9. Cochran, W. G. (1977). Sampling techniques (3rd éd.). John Wiley & Sons.
10. Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3rd éd.). SAGE Publications.
11. DeCanio, S. J., & Watkins, W. E. (1998). Investment in energy efficiency : Do the characteristics of firms matter? *Review of Economics and Statistics*, 80(1), 95-107. <https://doi.org/10.1162/003465398557366>
12. Dillman, D. A., Smyth, J. D., & Christian, L. M. (2014). Internet, phone, mail, and mixed-mode surveys : The tailored design method (4th éd.). John Wiley & Sons.
13. Direction de la Météorologie. (2023). Bulletin climatologique annuel du Burkina.
14. Dunlap, R. E., & Liere, K. D. (2008). The « New Environmental Paradigm ». *The Journal of Environmental Education*, 40(1), 19-28. <https://doi.org/10.3200/JOEE.40.1.19-28>
15. Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50. <https://doi.org/10.1177/002224378101800104>

17. Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). The discovery of grounded theory : Strategies for qualitative research.
18. Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review*, 31(2), 2-24.
<https://doi.org/10.1108/EBR-11-2018-0203>
19. Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis : Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling*, 6(1), 1-55. <https://doi.org/10.1080/10705519909540118>
20. International Energy Agency. (2021). *Africa Energy Outlook 2021*. IEA Publications.
21. IRENA. (2022). *Renewable Energy Statistics 2022*. International Renewable Energy Agency.
22. Jefferson, G. (2004). Glossary of transcript symbols with an introduction. In G. H. Lerner (Éd.), *Conversation analysis : Studies from the first generation* (p. 13-31). John Benjamins.
23. Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed methods research : A research paradigm whose time has come. *Educational Researcher*, 33(7), 14-26.
<https://doi.org/10.3102/0013189X033007014>
24. Konate, B., Ouedraogo, A., & Zombre, M. (2022). Défis énergétiques des universités publiques au Burkina Faso : Analyse comparative. *Revue Africaine de l'Énergie*, 8(2), 45-62.
25. Kotter, J. P. (1996). *Leading change*. Harvard Business School Press.
26. Kvale, S., & Brinkmann, S. (2015). *InterViews : Learning the craft of qualitative research interviewing* (3rd éd.). SAGE Publications.
27. Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
28. Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, 28(4), 563-575. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x>
29. Leal Filho, W., Shiel, C., Paço, A., Mifsud, M., Ávila, L. V., Brandli, L. L., & Caeiro, S. (2020). Sustainable Development Goals and sustainability teaching at universities : Falling behind or getting ahead of the pack? *Journal of Cleaner Production*, 232, 285-294.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.309>
30. Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. SAGE Publications.
31. Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis : A methods sourcebook* (3rd éd.). SAGE Publications.
32. Ministère de l'Énergie du Burkina Faso. (2023). *Rapport annuel sur l'état du secteur énergétique 2022*. Direction Générale de l'Énergie.
33. Ministère de l'Enseignement Supérieur du Burkina Faso. (2022). *Annuaire statistique de l'enseignement supérieur 2021-2022*. Direction Générale de l'Enseignement Supérieur.
34. Mustapha, W., Bolaji, B. O., Fagbenle, R. L., Abolarin, S. M., & Adedeji, M. (2021). Energy performance and economic analysis of a hybrid renewable energy system in Nigeria. *Renewable Energy*, 168, 1093-1108.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.092>
35. Muthén, L. K., & Muthén, B. O. (2017). *Mplus user's guide* (8th éd.). Muthén & Muthén.
36. Nhamo, G., & Mjimba, V. (Éds.). (2020). *Sustainable Development Goals and Institutions of Higher Education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-26157-3>

- 429 37. Ouedraogo, A., Zombre, M., & Kabore, F. (2021). Potentiel solaire et efficacité
430 énergétique au Burkina Faso : État des lieux et perspectives. *Journal des Énergies*
431 *Renouvelables*, 15(3), 112-128.
- 432 38. Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research and evaluation methods* (4th éd.). SAGE
433 Publications.
- 434 39. Poortinga, W., Steg, L., & Vlek, C. (2003). Values, environmental concern, and
435 environmental behavior : A study into household energy use. *Environment and Behavior*,
436 36(1), 70-93. <https://doi.org/10.1177/0013916503251466>
- 437 40. RGPD. (2018). *Règlement général sur la protection des données*. Journal officiel de
438 l'Union européenne.
- 439 41. SONABEL. (2023). *Rapport annuel de consommation électrique des grands clients 2022*.
440 Société Nationale d'Électricité du Burkina.
- 441 42. UNESCO. (2021). *Global Education Monitoring Report 2021 : Non-state actors in*
442 *education*. UNESCO Publishing.
- 443 43. Velazquez, L., Munguia, N., Platt, A., & Taddei, J. (2019). Sustainable university : What
444 can be the matter? *Journal of Cleaner Production*, 14(9-11), 810-819.
445 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.12.008>
- 446 44. Yamane, T. (1967). *Statistics : An introductory analysis* (2nd éd.). Harper and Row.