

# Bâtiments NZEB : État des lieux et applicabilité à un bâtiment de bureaux dans le contexte tropical chaud du Burkina Faso

Bazam Amonet OUOBA/NEBIE<sup>1;2\*</sup>, Monica SIROUX<sup>1</sup>, Abdou LAWANE GANA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INSA Strasbourg ICUBE Université de Strasbourg, France (auteur correspondant : [bazam.ouoba@etu.unistra.fr](mailto:bazam.ouoba@etu.unistra.fr))

<sup>2</sup>Laboratoire Eco-Matériaux et Habitats Durables (LEMHaD), Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), 1, Rue de la Science, Ouagadougou 01 BP 594, Burkina Faso

**Résumé** - La présente étude dresse un état des lieux des recherches portant sur les bâtiments « *nearly zero energy building* » (NZEB) dans le contexte tropical ouest-africain et les différents paramètres d'applicabilité pour un bâtiment de bureaux type au Burkina Faso. Ainsi les différentes méthodes passives, actives sont explorées afin de déterminer les plus pertinentes applicables au contexte climatique du Burkina Faso. La collecte de données énergétiques effectuée dans un bâtiment de bureaux a permis d'avoir un aperçu de son état de consommation énergétique. Il ressort que la climatisation et l'enveloppe du bâtiment sont des paramètres qui influencent fortement cette consommation.

## Nomenclature

<i>fconso</i>	taux de couverture énergétique	<i>d</i>	énergie importée (kWh)
<i>N</i>	nombre de données sur une année	<i>PPd</i>	indicateur lié à l'énergie importée
<i>p</i>	production énergétique, kWh	<i>PPe</i>	indicateur lié à l'énergie exportée
<i>c</i>	consommation énergétique, kWh	<i>E</i>	bilan net de l'énergie exporté (kWh)
<i>i</i>	vecteur énergétique	<i>L</i>	consommation d'énergie du bâtiment (kWh)
<i>t</i>	temps, jour	<i>A</i>	indice de flexibilité
<i>fréseau</i>	indice d'interaction	<i>Min</i>	minimum
<i>ET</i>	ecart-type	<i>Max</i>	maximum
<i>e</i>	énergie exportée (kWh)		

## 1. Introduction

Le secteur du bâtiment représente environ 40 % de la consommation énergétique mondiale. Au Burkina Faso, ce secteur consommerait environ 60% de la production nationale d'électricité. De plus, la demande en électricité du pays a augmenté en moyenne de 8,36 % par an entre 2010 et 2018[1], avec un taux d'accès à l'électricité de moins de 30%, selon le Ministère de l'Energie. Les bâtiments publics figurent parmi les gros consommateurs de l'Energie. En 2020, ils ont consommé environ 10% de la production totale et la facture électrique totale ne cesse d'augmenter d'année en année (figure1). Ouédraogo et al.(2012) [2] ont également démontré que la consommation d'électricité de ces bâtiments pourrait augmenter de 99% d'ici 2079 en raison du réchauffement climatique. Par conséquent, le concept de bâtiment à énergie quasi nulle (NZEB) pourrait être une alternative intéressante. Dans cet article, après une étude de l'état de l'art du concept NZEB notamment en Afrique de l'Ouest, une analyse de la consommation énergétique d'un bâtiment public servant de bureaux a été réalisée dans le but d'envisager plus tard la faisabilité de ce concept pour le contexte climatique de la ville de Ouagadougou.

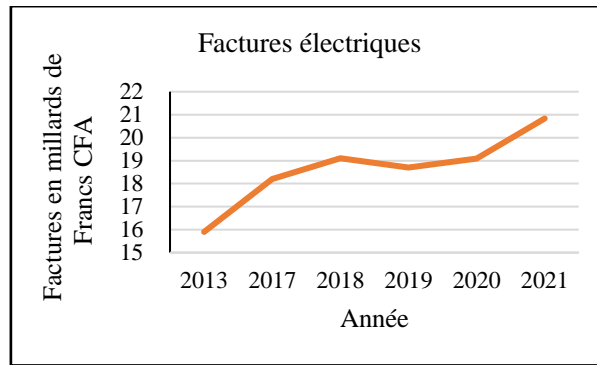


Figure 1: Evolution des factures électriques (Francs CFA)<sup>1</sup> des bâtiments publics du Burkina Faso

## 2. Définition et caractéristiques liées à la couverture énergétique

### 2.1. Définition du concept NZEB

Selon la Directive de l'Union Européenne [3], un bâtiment à consommation d'énergie quasi nulle ou *Nearly Zero-energy Building (NZEB)* est « un bâtiment dont la performance énergétique est très élevée et dont la quantité d'énergie requise est quasi nulle ou très faible. Cette énergie devant être couverte dans une très large mesure par de l'énergie produite à partir de sources renouvelables produites sur place ou à proximité. ». Selon la référence [3], la performance énergétique d'un bâtiment correspond à l'énergie totale calculée ou mesurée sur une base annuelle, qui permettra de prendre en compte tous les besoins énergétiques liés à l'utilisation normale du bâtiment (chauffage, refroidissement, ventilation, production d'eau chaude, éclairage, etc.). Pour atteindre cet objectif, il faut agir sur plusieurs stratégies dites passives et actives et sur l'utilisation d'énergies renouvelables. La figure 2 donne un aperçu des paramètres à prendre en compte pour réussir le concept du NZEB.

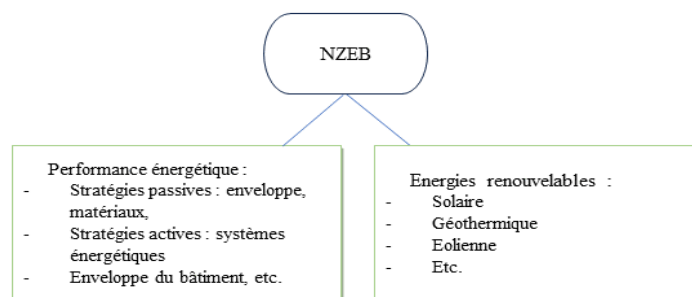


Figure 2 : Différents paramètres à prendre en compte pour réussir le NZEB

### 2.2. Quelques caractéristiques liées au NZEB

Le taux de couverture énergétique est un indicateur qui caractérise la corrélation moyenne entre la consommation et la production du bâtiment. Il se calcule à partir de l'équation[4] (1) :

$$f_{conso, i} = \frac{1}{N} \sum_{année} \min \left[ 1, \frac{p_i(t)}{c_i(t)} \right] \quad (1)$$

<sup>1</sup> FCFA : Monnaie des Etats membres de la Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest(CEDEAO). 1 euro~ 656,28 Francs CFA

Avec  $p$  la production,  $c$  la consommation,  $i$  le vecteur énergétique et  $t$  le temps (heure, jour, mois).  $N$  correspond au nombre de données sur une année[4].

L'indice d'interaction évalue les échanges entre le bâtiment et le réseau électrique :

$$fr_{\text{réseau}, i} = ET \left[ \frac{e_i(t) - d_i(t)}{|max[e_i(t) - d_i(t)]|} \right] \quad (2)$$

$e$  l'énergie exportée,  $d$  l'énergie importée et  $ET$  représente l'écart-type.

Un autre indicateur important est l'indice de flexibilité des interactions avec le réseau. Il représente la capacité du bâtiment à s'adapter aux signaux du réseau en ajustant ses stratégies de consommation, de production et de stockage. Cet indice est évalué par la différence entre 2 indicateurs (équation 3). Le premier (équation 4) où la priorité est d'exporter un maximum l'énergie produite, le second (équation 5) où la priorité est d'exporter le moins possible sur le réseau, l'autoconsommation et le stockage sont alors maximisés.

$$A = PP_d - PP_e \quad (3)$$

$$PP_d = \frac{\max[E_i(t)]}{L} \quad (4) \quad PP_e = \frac{\min[E_i(t)]}{L} \quad (5)$$

$E$  est le bilan net d'énergie exporté sur le réseau et  $L$  la consommation d'énergie du bâtiment.

### 3. Etat de l'art des NZEB dans le contexte ouest Africaine

En 2020, une étude menée par T. Ahmad & D. Zhang[5] avait démontré qu'entre les années 1990 et 2017, l'évolution de l'intensité énergétique <sup>2</sup> de l'Afrique était la plus élevée du monde même si elle avait diminué au fil des années. Les NZEB sont beaucoup développés dans les pays européens et américains, contrairement à l'Afrique. En effet, une recherche bibliographique sur le NZEB dans le monde en 2021 a révélé que sur 1246 articles de recherche évalués, seuls 22 traitaient des NZEB en Afrique [6]. Ces 22 articles étaient repartis comme suit : Égypte - 9, Nigeria - 3, Afrique du Sud - 3, Algérie - 2, Maroc - 2, Libye - 1, et Kenya -1[6]. Le tableau 1 donne un aperçu des quelques études NZEB en Afrique de l'Ouest.

Aucune directive en Afrique n'a encore abordé ce concept du NZEB [7]. En Afrique de l'Ouest, seule la Directive n°05/20207cm/uemoa fixant des mesures d'efficacité énergétique dans la construction de bâtiments des États membres de l'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine a été adopté en 2020.

Réf.	Lieu d'étude	Résumé de l'étude
[8]	Cameroun Sénégal Côte D'Ivoire	Proposition de lignes directrices pour une transition en douceur vers des bâtiments NZEB au Cameroun, au Sénégal et en Côte D'Ivoire. Les étapes proposées sont: la réalisation d'une évaluation, la création des normes énergétiques pour les bâtiments, le renforcement des capacités et la sensibilisation, la mise en place de mécanismes de financement, la création d'une chaîne d'approvisionnement solide, la mise en place d'un cadre de suivi et d'évaluation, le pilotage de projets NZEB.

<sup>2</sup> L'intensité énergétique est mesurée en divisant les besoins cumulés de consommation d'énergie d'une région donnée par le produit intérieur brut (PIB). Elle estime la quantité absolue d'énergie nécessaire pour générer une seule unité de PIB [5]. Le PIB est indiqué à un taux de change constant et à une parité croissante de puissance pour exclure l'inflation, qui influence et indique la diversité de la consommation d'énergie et les niveaux généraux des prix de l'énergie dans le projet économique réel.

[6]	Nigéria	Modélisation et optimisation multi-objectifs d'un système d'énergie renouvelable hybride photovoltaïque-batterie-hydrogène (HRES) pour atteindre le concept NZEB d'une maison résidentielle individuelle à Lagos.
[9]	Burkina Faso	Proposition d'une conception d'un abri d'urgence type NZEB pour les communautés pauvres dans la ville de Pô (Burkina Faso).
[10]	Ghana	Etude de faisabilité pour la rénovation d'un bâtiment résidentiel dans le but de convertir en bâtiment à énergie net zéro dans le contexte du climat tropical humide du Ghana.
[11]	Nigeria	Les auteurs ont montré qu'environ 25 % des professionnels du bâtiment, n'étaient pas au courant des concepts NZEB. Plusieurs mesures sont proposées pour permettre l'intégration du concept au Nigéria.
[12]	Nigéria	Les bâtiments passifs sont proposés comme une solution viable pour réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments. Il a été aussi recommandé à la commission universitaire nigériane d'inclure dans son programme d'études des cours sur les bâtiments NZEB.

Tableau 1: *Liste des études menées sur les NZEB dans le contexte ouest africain*

Parmi les études menées, les auteurs se sont intéressés au secteur résidentiel. Cependant, des recherches ont révélé que les bâtiments de bureaux sont également de grands consommateurs d'énergie. Notre étude sur le NZEB adaptée aux bâtiments de bureaux trouve donc tout son sens.

## 4. Méthodologie

### 4.1. Description du site

Le Burkina Faso est situé à la latitude 13° nord et à la longitude 2° ouest, à environ 1000 km de la mer[2]. Il a un climat essentiellement tropical avec deux saisons bien distinctes. La saison des pluies d'environ 4 mois, s'étend de mai/juin à septembre/octobre tandis que la saison sèche est marquée par l'harmatan, un vent chaud et sec (provenant du Sahara) entre mars et mai. Pendant cette période les températures avoisinent les 45°C. La figure 3 (obtenue par les données de la station météorologique de type A75x addWAVE GSM/GPRS Series 4 installée à l'Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'Environnement, coordonnées 12° 22' 45" nord, 1° 30' 13" ouest) illustre l'évolution de la température et de l'humidité dans la ville de Ouagadougou. L'ensoleillement moyen est d'environ 5,5 kWh/m<sup>2</sup>/jour, justifiant ainsi l'augmentation de la part de la production solaire photovoltaïque observée dans le pays depuis 2015 [13]. La partie nord-est du Burkina est une zone qui est caractérisée par un bon régime éolien à 80 m au-dessus du sol, tandis qu'il est généralement faible dans les autres parties du pays [14]. La géothermie pourrait présenter un potentiel énergétique, selon Woodson et al.[15].

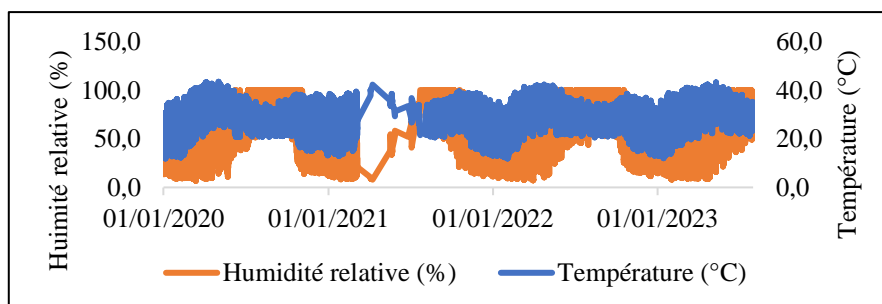


Figure 3: *Evolution de la température et de l'humidité pendant la période de 2020-2023*

## 4.2. Collecte des données d'un bâtiment de bureaux

Pour réussir à mettre en œuvre le concept NZEB, il est essentiel de réaliser un état des lieux afin de connaître la performance énergétique du bâtiment et de pouvoir l'améliorer. La figure 4 illustre le processus proposé pour atteindre le NZEB. La collecte des données concerne la forme physique du bâtiment, les matériaux de construction, les équipements électriques, les factures électriques, la surface et le volume de chaque bureau, les habitudes de consommation énergétique des occupants, etc. Le bâtiment concerné (Figure 5) est divisé en deux blocs distincts (A et B). Les caractéristiques du bâtiment sont répertoriées dans le tableau 2. On peut remarquer que l'orientation de la façade est/ouest n'est pas optimale.

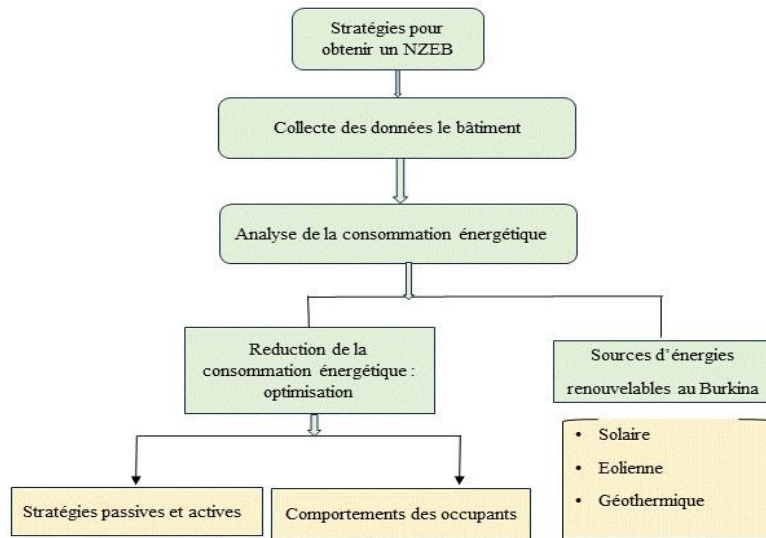


Figure 4 : Processus adopté pour atteindre le NZEB pour un cas de bâtiment de bureaux

Localisation	Ouagadougou: 12°19'42"N 1°30'06"O Période d'enquête: juin 2023
Paramètres géométriques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bâtiment construit R+4 de 2017</li> <li>• Bloc A: Longueur=19,35 m, largeur=12,3 m ; hauteur=19,04 m</li> <li>• Bloc B: Longueur=19,35 m; largeur=8,76 m ; hauteur=19,04 m</li> </ul>
Paramètres physiques et architecturaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bâtiments construits en parpaing de forme rectangulaire et sans d'isolation du bâtiment.</li> <li>• Façade principal orienté ouest avec des ouvertures en simples vitrages</li> <li>• Epaisseur parpaing: 20 cm avec toiture en hourdis</li> <li>• Partie ouest en grande partie vitrée</li> </ul>
Occupants	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 63 occupants</li> </ul>

Tableau 2 : Caractéristiques du bâtiment enquêté



Figure 5: vues de face et de dessus du bâtiment

## 5. Résultats et Discussion

Les données collectées des factures électriques et des équipements électriques ont permis les tracés des figures 6 et 7.

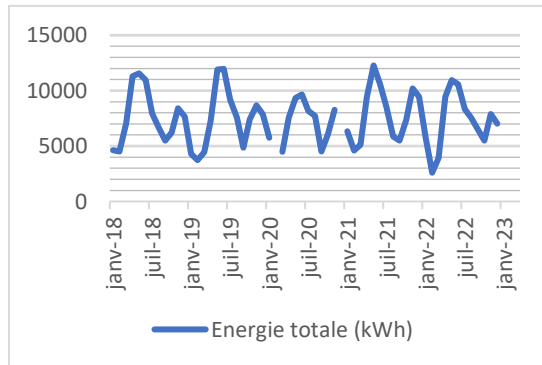


Figure 6 : Evolution de la consommation énergétique du bâtiment entre 2018-2023

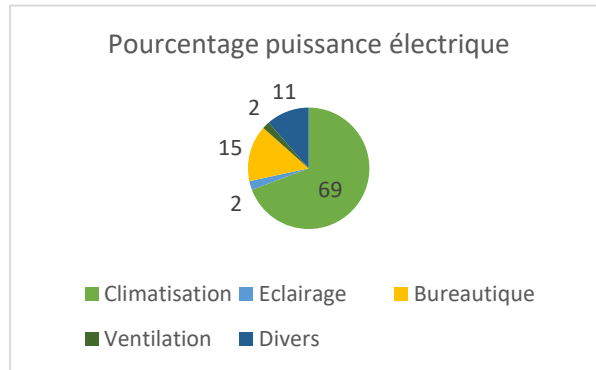


Figure 7 : Part de la puissance électrique installée en fonction des différents équipements électriques

La climatisation (figure 7) représente la plus grande partie de puissance installée soit 69% de puissance totale installée. Les périodes de forte consommation d'énergie se situent chaque année entre les mois de mars et juin (figure 6). Cette période correspond à la période de fortes chaleurs (figure 3), pendant laquelle la climatisation est fortement sollicitée entraînant grande consommation d'énergie électrique.

Les figures 8 et 9 montrent des images d'une partie du toit (au niveau du R+4) prises par une caméra thermique (Fluke Ti300). Ces images révèlent une grande infiltration importante du flux solaire au niveau de la toiture qui est sans isolation. De plus, l'orientation est/ouest du bâtiment entraîne également une grande exposition au flux solaire à travers les ouvertures des différents bureaux au niveau des différents bureaux du bloc A.

La figure 10, obtenue par un analyseur de réseau (Fluke 1738/EUS) qui a été placé au niveau du compteur électrique pendant une semaine. Les différentes mesures ont permis de montrer que la période de grande consommation de l'énergie est située entre 9 heures et 17 heures.

Les résultats, présentés tableau 3, indiquent que le coût moyen de l'électricité est élevé par rapport à la moyenne nationale, qui avoisine les 100 FCFA/kWh. Cette situation pourrait être attribuée aux différentes pénalités liées au dépassement de la puissance souscrite et au manque de batteries de condensateur. Cela entraîne ainsi une consommation d'énergie réactive au niveau du réseau national de distribution de l'électricité. De plus, il est apparu qu'en moyenne, un agent de la structure consomme 1440 kWh/an d'électricité. Cette valeur est environ trois fois plus élevée que la consommation moyenne d'un habitant du secteur résidentiel de la même ville de Ouagadougou[1]. Quelques indices de performance énergétique ont été aussi évalués.



Figure 8 : Image infrarouge du toit situé au R+4 du bâtiment



Figure 9 : Image infrarouge du toit situé au R+2 du bâtiment

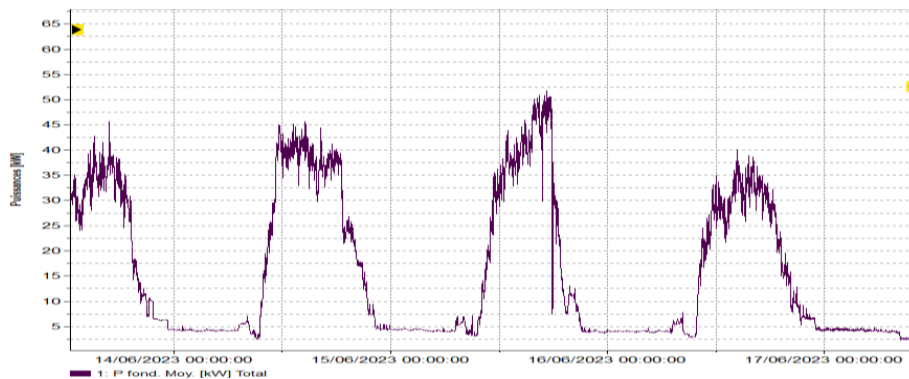


Figure 10 : Evolution de la consommation énergétique entre le 13/06/2023 au 17/06/2023

Conditions climatiques		Valeurs énergétiques	
		Nbre(bureaux, salle de réunion...)	58
Zone climatique	BWh	Surface utile (m <sup>2</sup> )	1352
Temp moy (01/20-07/23)	28°C	Surface refroidie (m <sup>2</sup> )	1352
Période chaude : mars-mai		Volume refroidie (m <sup>3</sup> )	3786
		Surface Ouverture (m <sup>2</sup> )	279
		Heure moyenne climatisation	5,82
		Température de consigne moyenne (°C) (enquête)	24
		Occupation bureaux moyenne (enquête)	8 h-16h
<b>Consommation énergétique issue de l'analyse des factures (2018-2022)</b>			
	Moy/an	Coût TTC moy/an	Coût de l'électricité
Electricité	90723,75 kWh 67,10 kWh/m <sup>2</sup> /an	16 430 137 FCFA 25 035 euros	181 FCFA/kWh 0,28 euros/kWh
Agents (63)	1440 kWh/an/agent	260795 FCFA/Agent 397 euros/Agent	12 145 FCFA/m <sup>2</sup> /an 19 euros/m <sup>2</sup> /an

Tableau 2 : Indices de performance énergétique évalués

## 6. Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence que le concept de bâtiment NZEB est une bonne alternative pour réduire la consommation énergétique des bâtiments de bureaux. L'analyse bibliographique a révélé que peu d'études ont été menées au niveau du contexte de l'Afrique et plus particulièrement au niveau de la région ouest africaine. Ainsi pour réussir le concept de bâtiment NZEB au Burkina, nous avons mené une collecte des données d'un bâtiment de bureaux pour voir l'état des lieux de la consommation et d'évaluer des indices de performance énergétique.

Les perspectives de l'étude seront de simuler la consommation de l'énergie consommée par le bâtiment et procéder à une optimisation multicritère. A l'étape actuelle, nous estimons pour le cas d'un bâtiment en rénovation dans le contexte du Burkina Faso, pour atteindre le concept NZEB, il serait judicieux d'améliorer l'efficacité énergétiques des équipements électriques installés. Ensuite, il faudra procéder à l'installation des protections solaires au niveau des surfaces vitrées et enfin mettre en place un système solaire photovoltaïque pour la production de l'énergie.

## Références

- [1] K. H. S. Tete, Y. M. Soro, S. S. Sidibé, and R. V Jones, “Energy & Buildings Urban domestic electricity consumption in relation to households’ lifestyles and energy behaviours in Burkina Faso : Findings from a large-scale , city-wide household survey,” *Energy Build.*, vol. 285, p. 18, 2023.
- [2] B. I. Ouedraogo, G. J. Levermore, and J. B. Parkinson, “Future energy demand for public buildings in the context of climate change for Burkina Faso,” *Build. Environ.*, vol. 49, no. 1, pp. 270–282, 2012.
- [3] Official Journal of the European Union, “DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast),” 2010.
- [4] M. FROSSARD, “Optimisation robuste multicritère pour l’écoconception de bâtiments zéro-énergie,” Université Paris Sciences et lettres, 2020.
- [5] T. Ahmad and D. Zhang, “A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 1973–1991, 2020.
- [6] A. A. Adeyemo and O. T. Amusan, “Modelling and multi-objective optimization of hybrid energy storage solution for photovoltaic powered off-grid net zero energy building,” *J. Energy Storage*, vol. 55, no. PA, p. 105273, 2022.
- [7] R. Terblanche, “Achieving net zero status in South Africa,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 323, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/323/1/012182.
- [8] B. U. Mohammed, Y. S. Wiysahnyuy, N. Ashraf, B. Mempoou, and G. M. Mengata, “Pathways for efficient transition into net zero energy buildings (nZEB) in Sub-Saharan Africa. Case study: Cameroon, Senegal, and Côte d’Ivoire,” *Energy Build.*, vol. 296, no. June, p. 11, 2023.
- [9] G. Salvalai, M. M. Sesana, D. Brutti, and M. Imperadori, “Design and performance analysis of a lightweight flexible nZEB,” *Sustain.*, vol. 12, no. 15, pp. 1–26, 2020, doi: 10.3390/su12155986.
- [10] E. Ohene, S. C. Hsu, and A. P. C. Chan, “Feasibility and retrofit guidelines towards net-zero energy buildings in tropical climates: A case of Ghana,” *Energy Build.*, vol. 269, p. 15, 2022.
- [11] D. O. Nduka, A. N. Ede, K. D. Oyeyemi, and O. M. Olofinnade, “Awareness, benefits and drawbacks of net zero energy building practices: Construction industry professional’s perceptions,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 640, no. 1, 2019.
- [12] B. U. Iwuagwu and I. Onyegiri, “Analysing the challenges of designing Nearly Zero Energy Buildings and retrofitting of the existing housing stuck in Nigeria: A study of South-Eastern Nigeria.,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 609, no. 7.
- [13] A. Ouedraogo *et al.*, “Analysis of the solar power plant efficiency installed in the premises of a hospital — Case of the Pediatric Charles De Gaulle of Ouagadougou,” *Sol. Energy*, vol. 241, no. May, pp. 120–129, 2022.
- [14] M. Landry, Y. Ouedraogo, Y. Gagnon, and A. Ouedraogo, “On the wind resource mapping of Burkina Faso,” *Int. J. Green Energy*, vol. 14, no. 2, pp. 150–156, 2017.
- [15] T. Woodson, Y. Coulibaly, and E. Traoré, “Earth Air Heat Exchangers for Passive Air Conditioning : Case study Burkina Faso,” in *Sud Sciences & Technologies*, 2009, p. 13.