

Conception bioclimatique de bâtiments en climat tropical sec par une approche innovante: Simulation et mesures expérimentales in situ

[Bioclimatic design of buildings in a dry tropical climate using an innovative approach: Simulation and in situ experimental measurements]

Kananokba Ouedraogo¹ and David Y.K. TOGUYENI¹⁻²

¹Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement (LPCE), Université JKZ-UFR, SEA-03 BP 7021 Ouagadougou, Burkina Faso

²Ecole Polytechnique de Ouagadougou (EPO), Ouagadougou, Burkina Faso

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In a report published by the Intergovernmental Panel on Climate Change, CO₂ produced by human activities is the main cause of global warming, and for that published by the United Nations Program United for Environment and the Global Alliance for Buildings and Construction, the building sector accounts for approximately 37% of greenhouse gases globally. Therefore, collective or individual resilience is essential and calls on researchers to provide palliative solutions in the field of housing, including reducing the energy consumption of buildings. Studies have been done in this direction but the problem still remains relevant. Using an innovative approach, we are interested in the bioclimatic design of buildings in dry tropical climates. The objective of our study aims to design strategies or techniques for designing a bioclimatic building. The research methodology will be based on experimental and numerical studies followed by a comparative study of the results of these. The experimental and numerical results made it possible to validate the strategies or design techniques thereof. By comparing the thermal and hygrothermal parameters of the control and bioclimatic buildings, we noted an improvement in the thermal and hygrothermal environment from 6°C to 7.5°C and 10% to 14% relative humidity within a bioclimatic building. compared to that of a model building offering interesting perspectives for the eco-design of habitats.

KEYWORDS: global warming, bioclimatic design, dry tropical climate, innovative approach, thermal or hygrothermal comfort, bioclimatic building.

1 INTRODUCTION

L'efficacité énergétique dans le bâtiment reste toujours pour la communauté scientifique un défi majeur à relever. En effet le comportement hygrothermique de nos bâtiments actuels laisse à désirer face aux effets des changements climatiques. Les changements climatiques s'expliquent par le fait que les conditions météorologiques sur le plan mondial telles que les températures ont subi une augmentation moyenne générale due en grandes parties par des actions anthropiques. Ces actions anthropiques impactent le secteur du bâtiment qui émet à lui seul plus de trente-cinq pour cent (35%) des gaz à effet de serre dans le monde soit 40% de l'énergie totale consommée [5]. Des recherches scientifiques ont été menées dans ce sens afin de proposer des bâtiments bioclimatiques.

Parmi ces travaux de recherches, nous avons celle de Idris Omar Abdou [6]. Son projet de thèse a consisté d'une part, à élaborer des nouveaux critères d'analyse qui ont permis de quantifier les potentiels énergétiques d'un site et d'autre part développer des stratégies de performance bioclimatique comme solutions constructives au regard de ces potentiels. Nous avons également celle de Nallapaneni Manoj Kumar [7]. Ces travaux étaient orientés à la recherche sur les technologies

thermiques, le confort, les conditions de santé et le confort de sommeil dans ces contextes qui restent limités, en particulier sur des durées prolongées. Dans cette étude, il a présenté et discuté des informations étalées sur une période de 20 ans (2001-2021) sur les comportements thermiques et énergétiques de l'Universiade Nacional sur les résidences étudiantes bioclimatiques de La Pampa en Argentine. Le bâtiment, s'appuyant sur 20 ans de données mesurées et simulées, révèle des économies d'énergie de chauffage prometteuses tout en préservant le confort ambiant intérieur. Sur la période 2001-2021, l'énergie de chauffage de la consommation moyenne s'élevait à 109 kWh/m²/an, soit une économie de 33 % par rapport aux immeubles collectifs classiques du même secteur. Les résultats de ces travaux soulignaient les défis de la conception passive en cas de chaleur extrême, avec des températures estivales dépassant le confort seuils dans les bâtiments dépourvus de climatisation. Une analyse plus approfondie révèle des pourcentages d'inconfort d'environ 15 % (nuit) et 32 % (sieste) pendant les périodes de sommeil, augmentant jusqu'à 80 % pendant les canicules. Ces résultats font écho aux inquiétudes concernant les espaces surchauffés dans bâtiments bioclimatiques dans le centre de l'Argentine, soulignant l'impératif de stratégies efficaces de refroidissement estival. À travers des données de mesure et simulations, cette étude a mis en lumière l'interaction complexe entre la conception du bâtiment, les conditions environnementales, et le confort des occupants, offrant des informations précieuses sur les pratiques de conception et de gestion durables. A celles-ci s'ajoutent celle de Belkhouane, Hamza Hensen, Jan Attia, Shady [8]. Dans cette étude il était question de savoir quel était le meilleur modèle de confort à recommander afin de réduire la consommation énergétique d'un bâtiment de type bureaux dans le climat chaud (cooling dominated) tout en garantissant le confort thermique intérieur. Le but de cette recherche est de mettre en parallèle à la fois les modèles de confort et la consommation énergétique dans les climats chauds, choisir le modèle de confort qui garantit la meilleure qualité d'environnement intérieure et de comparer la consommation d'énergie du bâtiment pour chaque modèle afin de choisir le moins énergivore. Nous pouvons également nommer d'autres chercheurs dans ce domaine tels que Ness, Maria Coral [9]. Dans leurs études, il s'avère que le climat et confort représente une étape fondamentale pour la mise en œuvre de l'efficacité énergétique des bâtiments. Il est donc indispensable de déterminer les stratégies de conception les mieux adaptées à un climat spécifique, le contexte, ainsi que le niveau de complexité architecturale. Le but de cet article était de réviser les méthodes et outils existants pour la conception de bâtiments bioclimatiques, puis réfléchir à la manière dont celles-ci pourraient être appliquées pour évaluer la pertinence de différentes stratégies passives dans des contextes pertinents cas de construction. A ce propos, pour M Madi Kaboré, ces études ont porté sur le comportement thermique des bâtiments à travers une simulation [10]. Dans son travail les outils de simulation des performances énergétiques ainsi que les outils d'optimisation sont utilisés pour mener des investigations sur un bâtiment type construit en matériaux conventionnels au Burkina Faso suivant deux principales approches. Les résultats ont permis d'élaborer des solutions passives permettant d'améliorer les performances thermiques des composants et du bâtiment à travers des applications de la simulation comme outil d'aide à la conception. Selon Belkacem BERGHOUT, la consommation énergétique excessive dans l'habitat en milieu aride renvoie à une réflexion à l'architecture vernaculaire dont l'objectif d'améliorer les besoins énergétiques de l'habitat du présent sans nuire aux générations futures. Les résultats issus de cette analyse illustrent concrètement d'une part, l'interrelation entre la problématique énergétique et les différents choix de conception et d'autre part, de quelle façon le choix des dispositifs vernaculaires peut conditionner le comportement énergétique de l'habitat intégration des aspects énergétiques et du confort ambiant passif dans la conception de l'habitat en milieu aride. D'autres recherches aussi ont été effectuées sur l'enveloppe du bâtiment en vue de rendre celui-ci performante énergétiquement. Selon Etienne MALBILA, ces recherches se sont portées sur l'étude comparative de deux maisons dont les matériaux de leurs enveloppes sont différents [11]. Les résultats de ces études ont montré que dans un bâtiment en BLT avec un scénario d'occupation il y'a une réduction de moitié des gains thermiques pour des murs d'épaisseur de 15 cm à 37,5 cm et a aussi donné une estimation du gain thermique global moyen du bâtiment construit en BLT qui est de l'ordre de 0,308 kW/m²/mois et à 33,24 kW/m²/an. Ce qui a permis de conclure qu'une optimisation du comportement thermique du bâtiment est envisageable en fonction de l'utilisation projetée. Des travaux de recherche de Fati ZOMA concernaient la caractérisation des matériaux à base de terres argileuses et de renfort végétaux [12] dont l'objectif est de les utiliser dans l'enveloppe des bâtiments. Tous ses travaux de recherche montrent que la recherche d'un confort thermique adéquat a toujours été une préoccupation majeure dans la recherche. En plus de ces travaux précités, nous avons aussi les études de PIO Amandine [13] qui se sont faites sur une maison à ossature bois afin d'étudier le comportement hygrothermique des parois et de la pièce principale et a aussi permis de mettre en évidence l'effet de sollicitations thermiques sur le comportement hydrique d'une paroi comportant un matériau hygroscopique montrant ainsi la capacité du modèle développé. Une étude comparative (expérimentale et numérique) a été menée sur l'effet de stabilisation sur des blocs de terre comprimée (CEB) produit à partir d'un matériau terreux riche en quartz-kaolinite stabilisé avec 0% - 25% de résidus de carbure de calcium (CCR). L'analyse des résultats de l'étude a permis de comprendre que l'inconfort thermique humide a été impacté pour la maçonnerie stabilisée à base de CEB en comparaison avec la maçonnerie à base de ciment. Le chaleureux inconfort du bâtiment composé à 20% de maçonnerie CCR-CEB était de 400 heures inférieure à celle du bâtiment maçonnerie en blocs de ciment creux. Ce qui a permis de dire que la maçonnerie stabilisée à base de CEB est moins énergivore et plus économique [14]. Malgré les multiples solutions qui ont été proposées la problématique reste toujours d'actualité. D'où l'intérêt de cette étude qui va consister à formuler des propositions de solutions innovantes pour la conception d'un bâtiment bioclimatique en

basant sur une étude de l'état des lieux et suivi d'une analyse et interprétation des résultats de l'étude. L'objectif de notre étude vise la validation des critères de conception du bâtiment bioclimatique. Pour atteindre notre objectif, nous allons mener d'abord des études expérimentales et numériques suivi d'une étude comparative des résultats issues deux études et en fin mener des discussions afin de mieux cerner le sujet.

2 ZONE D'ETUDE

2.1 PRÉSENTATION DU SITE

L'étude s'effectue au quartier Basséko situé au Nord-ouest de la ville de Ouagadougou, capitale du Burkina Faso. La cartographie du site est représentée sur la figure1. Cette localité est située dans la zone tropicale sèche, dont les coordonnées géographiques sont: 12°C Latitude Nord et 1,5° Ouest. La ville est soumise à un climat de type soudano-sahélien caractérisé par l'alternance de deux saisons très contrastées: une saison sèche et une saison des pluies ou hivernage. La saison est alternée par des vents sahariens et des moussons océaniques. [2]

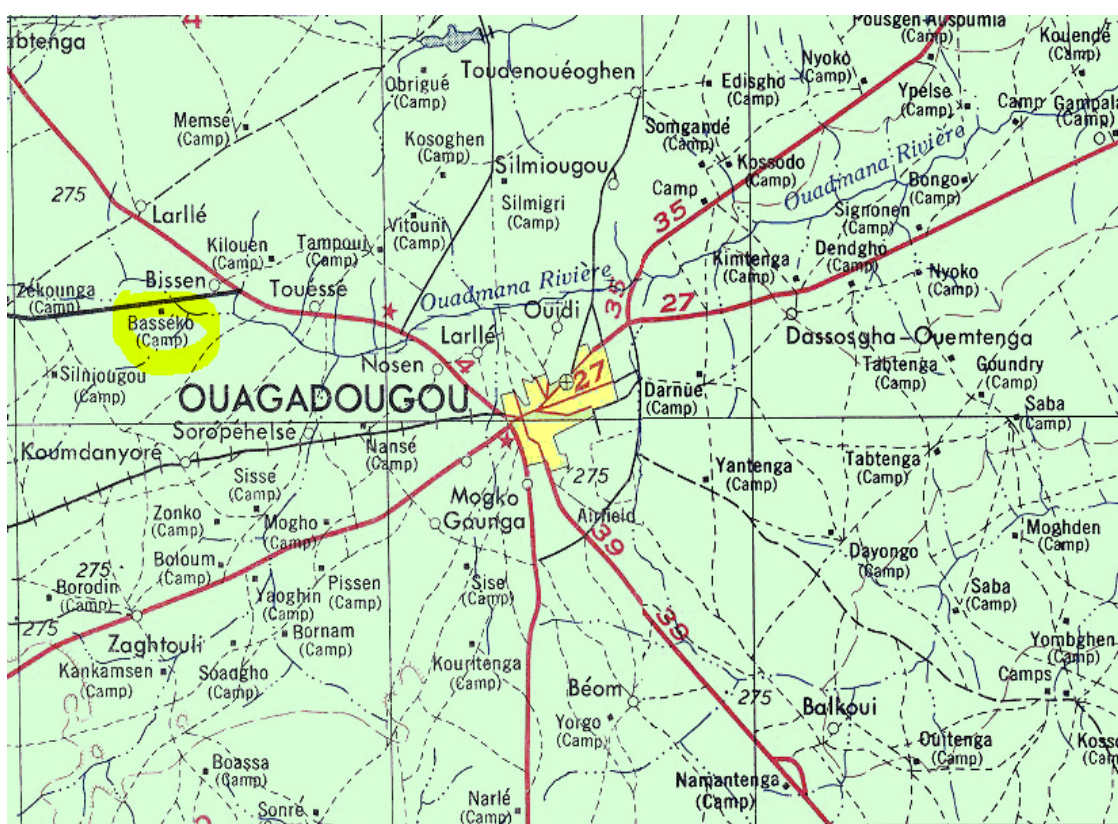


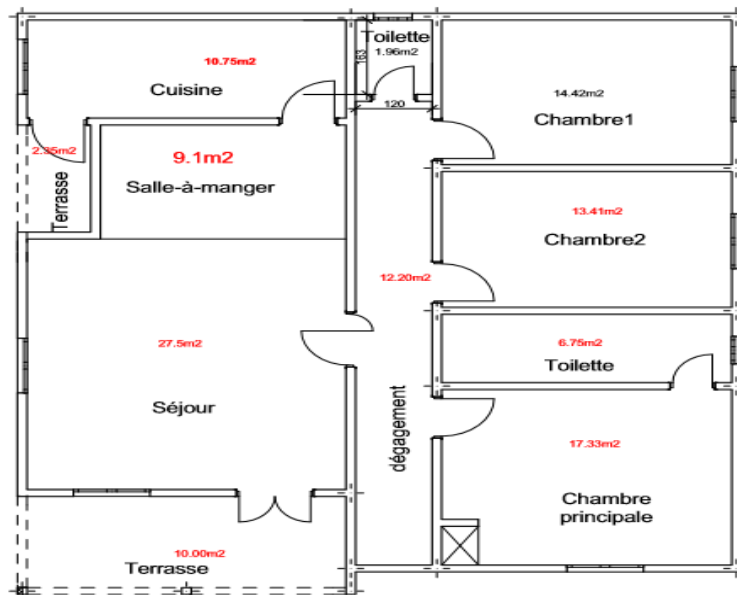
Fig. 1. Cartographie du site

2.2 CHOIX DE L'HABITAT

Selon une étude menée par forumConstruction.com les matériaux les plus utilisés dans la construction d'une maison, ce sont les parpaings qui sont les plus utilisés dans le monde. C'est pourquoi nous avons choisi les bâtiments en parpaings. Très solide, le parpaing possède une bonne qualité d'isolation thermique. IL est en effet un matériau bon marché et résistant à la fois au feu et au gel. Composé d'éléments naturels comme le gravier, le sable, l'eau, c'est un bon isolant acoustique et mécanique. Pour mener à bien notre étude expérimentale, la société immobilière CGE a mis à notre disposition un bâtiment de type F4 sur son site à Basséko. Les figures 2 et 3 illustrent parfaitement le bâtiment de l'étude expérimentale



Fig. 2. Façade principale du bâtiment témoin ou de l'étude



PLAN DE NIVEAU DU BATIMENT EXISTANT

Fig. 3. Plan de niveau du bâtiment témoin

2.3 MATÉRIELS

Le matériel expérimental est composé de:

2.3.1 UN DATALOGGER

Il est utilisé est appelé midi LOGGER GL220. Il est menu de 10 voies de mesures. L'appareil accepte des signaux d'entrées en tension, température, humidité, impulsion et logique. Ce qui nous a permis d'enregistrer des mesures telles que la température intérieure des surfaces des murs de façade. La mémoire flash étant 2G alors nous allons utiliser une clé USB de 16G pour un enregistrement de longue durée les données en toute sécurité. Les données stockées sur la clé seront relues sur un ordinateur portable sur le logiciel Excel.

2.3.2 LES THERMOCOUPLES

Un thermocouple est muni d'un capteur permettant de mesurer la température intérieure de surface des murs de façade. Il est composé de deux métaux différents, soudés entre eux à une extrémité. En d'autres termes un thermocouple est donc un instrument de mesure thermique. Il permet de mesurer la température de l'enveloppe d'une pièce ou d'une surface, par exemple. Pour calculer la température, il se base sur une propriété physique appelé effet Seebeck. L'effet Seebeck est un effet thermoélectrique selon lequel une différence de potentiel apparaît entre les jonctions de deux matériaux soumis à une différence de température (le physicien allemand, Johann Seebeck). Cette différence de température peut donc être à la base d'une génération d'électricité, par le biais de thermocouples. Comment fonctionne-t-il ? Pour comprendre l'effet Seebeck, le physicien Johann Seebeck utilise une boussole munie de deux conducteurs différents, comportant chacun une température différente l'une de l'autre à leurs jonctions et constate que l'aiguille de la boussole a dévié due à la naissance d'un champ magnétique. En effet cela s'explique à travers l'apparition d'une différence de potentiel qui est créée entre les deux jonctions et qui a donné naissance à un courant électrique dans les fils et d'un champ magnétique autour des jonctions. Lorsque l'un des deux conducteurs ou semi-conducteurs est chauffé, les électrons dans ce métal se déplacent vers le métal le plus froid c'est-à-dire qu'ils se déplacent vers le point où l'énergie est la plus faible où la température est la plus faible. Il se produit donc un transport constant d'électrons du conducteur positif vers le conducteur négatif engendrant le transfert de l'énergie thermique réduisant ainsi l'effet Seebeck [15].

Pour augmenter l'effet Seebeck il est intéressant de faire de nombreuses jonctions en série, afin d'obtenir différentes jonctions froides et différentes jonctions chaudes.

Selon physicien la tension existante est proportionnelle à la différence de température entre les deux jonctions. La constante de proportionnalité est appelée coefficient Seebeck. Il s'exprime en V.K⁻¹ et se calcule par la formule suivante:

$$S_{AB} = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{VY-VZ}{TW-TX} \text{ avec:}$$

S_{AB} = le coefficient Seebeck du couple de matériaux AB

ΔV = la différence de potentiel mesurée

ΔT = la différence de température entre les jonctions

Nous pouvons alors calculer le coefficient Seebeck manquant grâce à la formule suivante, en ayant trouvé le coefficient du couple de matériaux comme montré précédemment:

Les propriétés de cet effet sont obtenues grâce aux thermocouples associées à deux fils de matériaux conducteurs connectés ensemble à une de leurs extrémités. Le tableau ci-dessous donne les types de thermocouples.

Tableau 1. Types de thermocouples les plus communs (liste non exhaustive) [15]

Type	Conducteur +	Conducteur -	Plage de θ d'utilisation (en usage continu)
K	nichrome	nickel-aluminium	0 à 1100°C
T	cuivre	cuivre-nickel	-185 à 300°C
J	fer	cuivre-nickel	20 à 700°C
N	nichrome-silicium	nickel-silicium	0 à 1150°C

Pour notre étude nous avons choisi les thermocouples de type K.

2.3.3 LA STATION METEOROLOGIQUE PCE-FWS 20 WEATHER CENTER

Cette station météorologique est un appareil multifonctionnel. Elle permet de déterminer de façon précise la direction du vent, la vitesse du vent, la température, l'humidité relative et la pluviosité. Son écran tactile, nous permet d'avoir facilement les valeurs de la station météorologique. Un port USB est incorporé et permet de transférer les données de la station météorologique à un PC ou ordinateur portable.

2.3.4 TRNSYS 18

Le logiciel TRNSYS permet la simulation thermique dynamique appliquée au bâtiment. Il permet d'intégrer toutes les caractéristiques d'un bâtiment c'est à dire son emplacement, les matériaux de construction utilisés, l'architecture globale, le concept énergétique choisi, etc.

3 MÉTHODES DE COLLECTE DE DONNÉES

La collecte des données météorologiques telles que la températures (T en °C) et d'Humidité relative (Hr en %) a été faite de façon continue sur la période allant du mois de Mars 2022 juste qu'au 04 Novembre 2023 et de façon discontinue du 04 Novembre 2022 au 14 février 2023 dues à la disponibilité des appareils et équipements installés. Pour les mesures de température et humidité relative le datalogger et la tablette de la station météorologique enregistraient automatiquement toutes les 5mn les prises de mesures en continue et en discontinue. La figure4 présente l'ensemble du dispositif électrique et les appareils ayant servis à la prise des paramètres thermiques dans le bâtiment expérimental. L'orientation du bâtiment témoin était NORD-SUD. Il était inhabité et en évolution libre aussi.

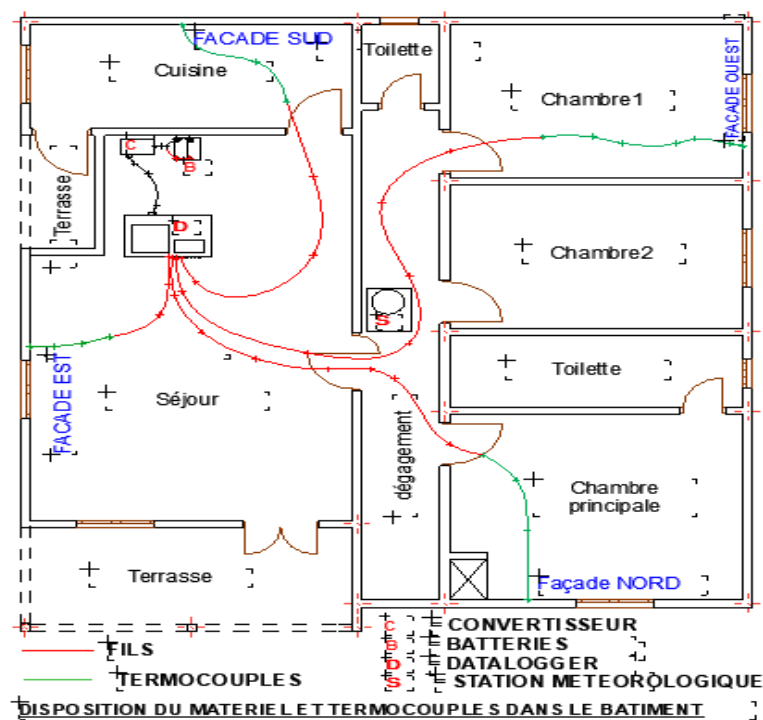


Fig. 4. Plan d'installation des appareils (datalogger, station météorologique et thermocouples)

4 RESULTATS ET ANALYSES

Les résultats obtenus issue de la campagne de prise de température intérieure de surface des murs de façade ont donné des diagrammes comme illustrent les figures 5 et 6.

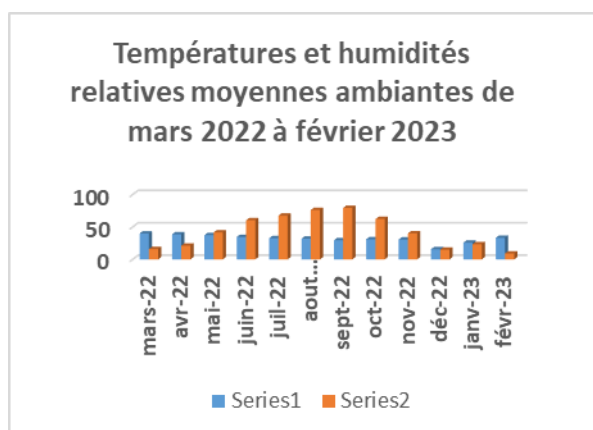


Fig. 5. Températures et humidités relatives moyennes ambiantes de mars 2022 à février 2023 (Série1: les températures ; Série2: l'humidité relative)

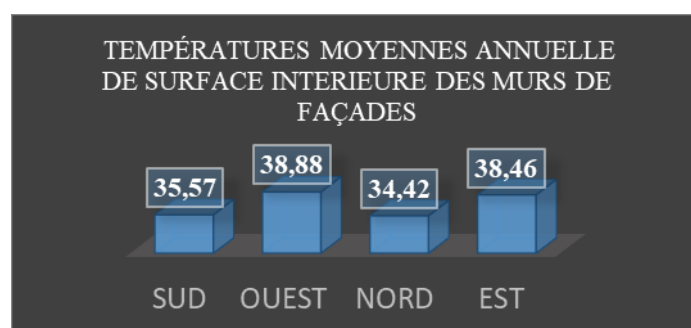


Fig. 6. Diagramme de températures moyenne annuelle de surface intérieure des murs de façade

5 DISCUSSION

La maîtrise des paramètres thermiques nécessite la connaissance de l'impact des radiations solaires et températures extérieures sur le confort thermique interne du bâtiment. L'impact de cette radiation nous a amené à utiliser deux équations:

$$QM = \alpha \cdot F \cdot S \cdot RM \quad (1)$$

Où,

- QM = Apports de chaleur par radiations, en W;
- α = coefficient d'absorption de la paroi recevant le rayonnement (fonction de la couleur et nature du mur);
- S = surface de la paroi, en m²;
- F = facteur de rayonnement solaire (part absorbée par la surface et transmise vers l'intérieur du local);
- RM = rayonnement solaire incident sur la surface du mur, en W/m²

(Données météorologiques), qui dépend:

- De la latitude sous laquelle le local se trouve;
- De l'orientation du mur;
- De l'heure à laquelle le calcul sera effectué.

Et,

$$QR = k \cdot S \cdot \Delta\theta \quad (2)$$

Où :

- QR = Apport de chaleur par conduction et convection, en W;
- k = coefficient de transmission thermique de la paroi ou du vitrage
- Considéré [W/m²K];
- S = surface de la paroi ou de la fenêtre considérée [m²];
- $\Delta\theta$ = différence de température entre les deux faces (extérieure/Intérieure) de la paroi considérée [K], aux heures les plus chaudes.

Comme le facteur de rayonnement, le coefficient d'absorption et rayonnement solaire incident sur la surface de mur peuvent varier d'une région, d'un continent à l'autre alors nous nous sommes contentés des résultats de l'étude expérimentale sur le bâtiment témoin.

D'après les figures 5 et 6, la façade ouest reçoit de l'énergie solaire incidente la plus forte due au rayonnement direct et diffus; suivie par la façade EST qui reçoit la même quantité d'énergie uniquement dans la matinée du au rayonnement direct. Quant à la façade Sud reçoit moins d'énergie et la façade Nord est la façade la mieux protégée contre le rayonnement solaire. En transformant ce diagramme en diagramme circulaire, il est presque identique à celui d'une zone méditerranéenne (voir diagrammes ci-dessous). La façade principale du bâtiment étant orienté suivant la direction Nord-Sud a pour conséquence: la façade Nord a le plus grand nombre (04Ouvertures) suivi de la façade OUEST (03), la façade EST deux (02) et la façade SUD une seule ouverture

En transformant le diagramme de la figure 6 en diagramme circulaire (figure 7), nous remarquons qu'il est presque identique à celui de la zone méditerranéenne illustré dans le diagramme de la figure 8 avec également d'énergies thermiques similaire.

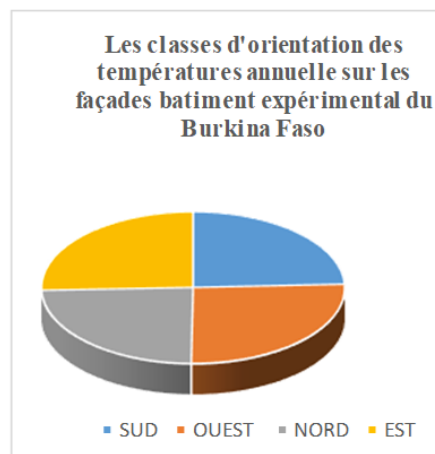


Fig. 7. Classes d'orientation des températures intérieures de surface sur les murs de façade du bâtiment témoin

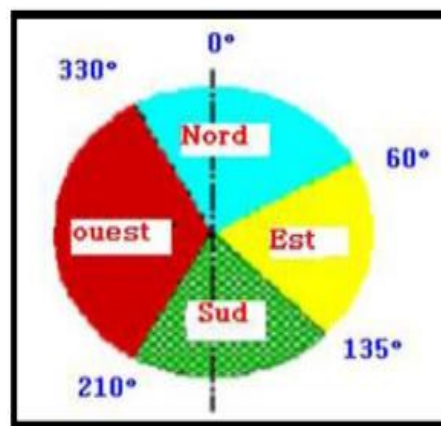


Fig. 8. Classe de température en zone Méditerranéenne

En climat méditerranéen l'orientation des bâtiments est Nord-Sud. Hors l'orientation du bâtiment Nord-Sud du bâtiment témoins et nous constatons également que les résultats obtenus sont presque identiques à celle des pays méditerranéens. Cette orientation préconise beaucoup plus d'ouvertures sur façade Nord et Sud et cela est vérifié sur la figure 9.

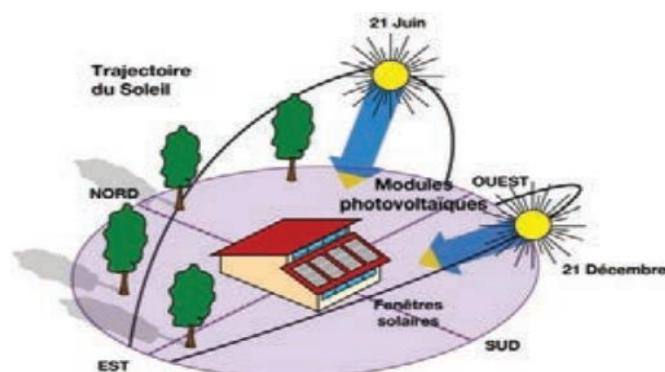


Fig. 9. Diagramme solaire [5]

Cette orientation NORD-SUD des ouvertures du bâtiment ayant servi de l'étude émane du règlement de la construction établi par le Ministère de l'Urbanisme, des Affaires Foncières et de l'Habitat (MUAFH) du Burkina Faso pour la seule raison: éviter la pénétration des rayons solaires à l'intérieur des bâtiments. En établissant les classes d'orientation annuelle des températures moyennes de l'étude et en les comparant à celles en climat méditerranéen et de l'orientation Nord-Sud du bâtiment témoins, nous pouvons conclure que l'orientation actuelle des bâtiments dictée par le Ministère de l'Urbanisme, des Affaires Foncières et de l'Habitat (MUAFH) du Burkina Faso émane de l'époque néocoloniale plus précisément l'orientation des bâtiments ici de la république française. Cette orientation des ouvertures ne favorise pas la circulation de l'air à l'intérieur de nos bâtiments et entraîne une consommation d'énergie de façon exponentielle dans le bâtiment provoquée par la ventilation artificielle dans la recherche d'un confort thermique acceptable. Pour apporter une réponse urgente à cet état de fait nous avons conçu et réalisé un bâtiment bioclimatique de type F4 qui prend en compte les paramètres climatiques et des ouvertures qui sont orientées dans le sens de la circulation de l'air. En saison sèche par exemple l'air circule de l'EST vers l'OUEST (l'Harmattan) et en saison hivernale de l'OUEST vers l'EST (la mousson). En effet, l'influence du vent sur la température d'un bâtiment est un facteur climatique important dans la détermination des besoins en énergie d'un bâtiment. Des recherches ont été menées dans ce sens à travers des simulations. Selon [16] nous évoque le débit d'air à travers une ouverture en utilisant l'équation de Bernoulli qui relie la vitesse d'un écoulement induite par une différence de pression à travers une ouverture en lien avec la relation débit-pression suivant cette formule:

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

où V représente le débit en $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ et A est l'aire de passage en m^2 .

Sa pression générale s'écrit comme suit:

$V = C (\Delta P)^n$ où C est dénommé coefficient de débit d'air et s'exprime en $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-n}$ (n varie entre 0,5 et 1), P est la pression statique de l'écoulement non perturbé du vent avec pour expression suivante: $P = P_2 - P_1 = \frac{1}{2} \rho V^2_{\text{vent}}$.

La figure 10 explique bien le phénomène selon la physique du bâtiment/les causes du renouvellement d'air naturel (page 111-119).

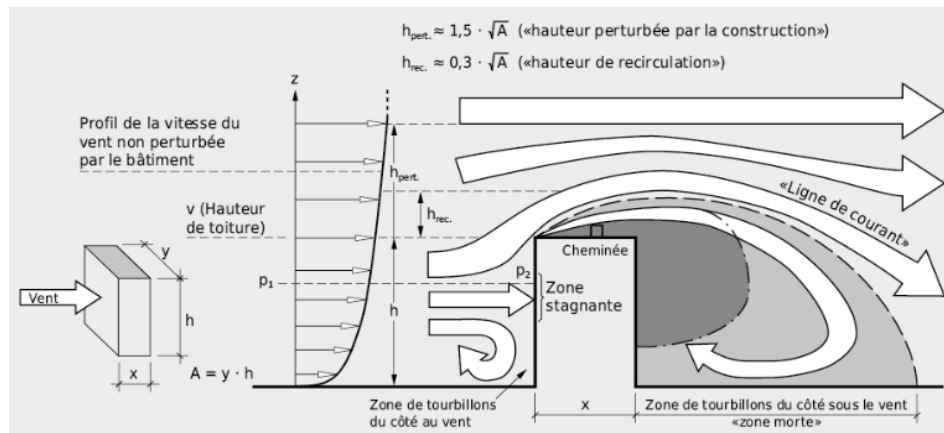


Fig. 10. Représentation simplifiée de l'écoulement du vent autour d'un bâtiment rectangulaire d'un site dégagé

En se basant sur les paramètres climatiques de notre pays nous avons adopté que désormais l'orientation d'un bâtiment en générale sera de l' EST vers l'OUEST dont les façades EST et OUEST doivent avoir beaucoup plus d'ouvertures dans le seul but de pouvoir assurer la circulation de l'air ainsi que la ventilation naturelle dans le bâtiment. Cette orientation offre également un meilleur éclairage naturel dans le bâtiment à travers l'ensoleillement qui est très abondant. Selon une étude intitulée Zagtouli, symbole solaire au pays des hommes intègres, le Burkina Faso bénéficie en effet d'un ensoleillement très favorable (3 000h de rayonnement solaire par an), avec gisement à 5,5 à 6 kwh par m² par jour. Le choix de cette nouvelle orientation des bâtiments se traduit par le fait que les vitesses moyennes du vent au Burkina Faso est 2.63m/s. La vitesse du vent étant faible, nous avons adopté comme orientation au BURKINA FASO, l'orientation **EST-OUEST** sans aucun risque pour faciliter la ventilation naturelle et un bon éclairage dans le bâtiment comme indique la figure 11.

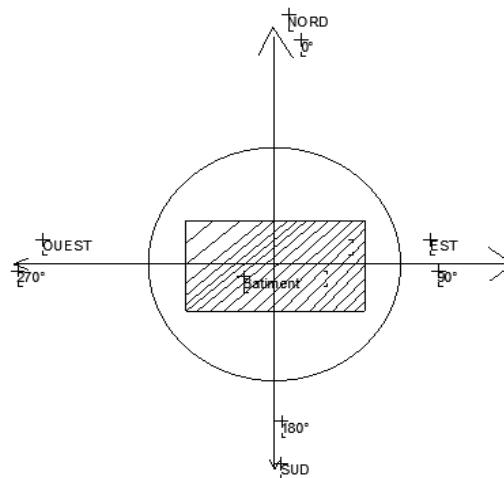


Fig. 11. Orientation du bâtiment bioclimatique

En plus de l'orientation, les techniques de conception est un facteur déterminant dans réalisation d'un bâtiment bioclimatique. La figure 12 permet de comprendre la circulation de l'air dans le bâtiment. A l'atteinte de la vitesse résiduelle de 0.2m/s a été possible grâce au renouvellement d'air.

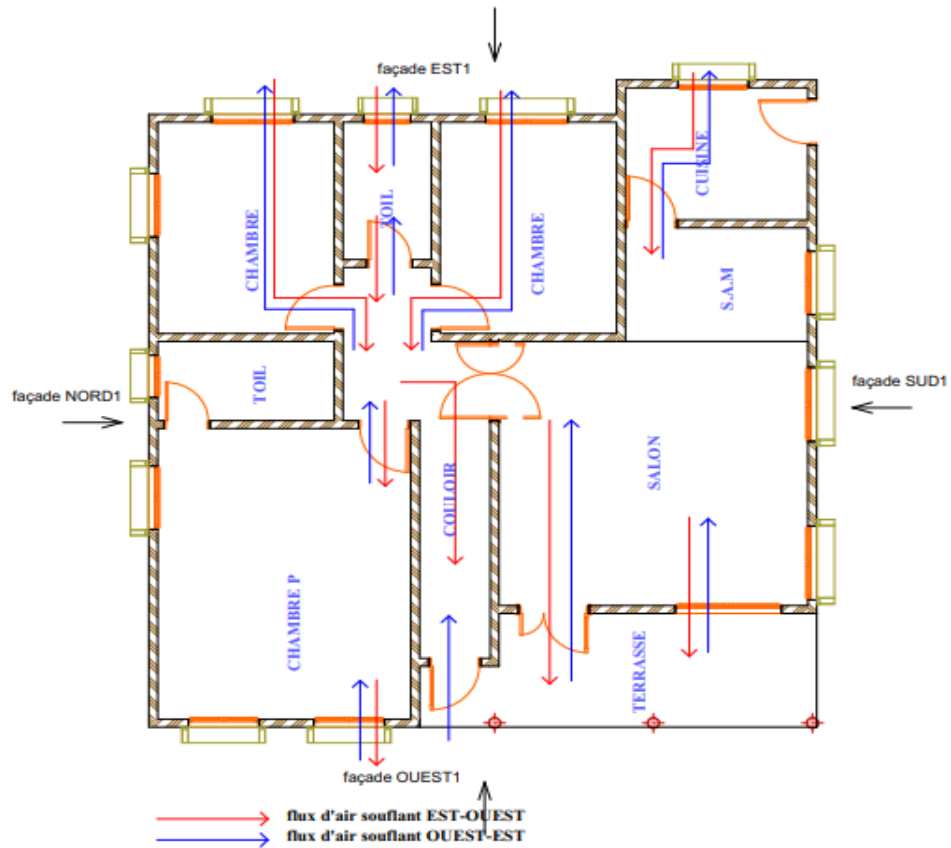


Fig. 12. Plan de circulation de l'air

Sur la figure 15, chaque fenêtre est dotée d'un dispositif de protection solaire pour les protéger du rayonnement solaire car celui-ci est source d'inconfort. L'intégration d'un microclimat comme illustrent la figure 13 autour du bâtiment va permettre de maintenir constant le taux d'humidité à l'intérieur du bâtiment pendant surtout les période chaude de l'année.

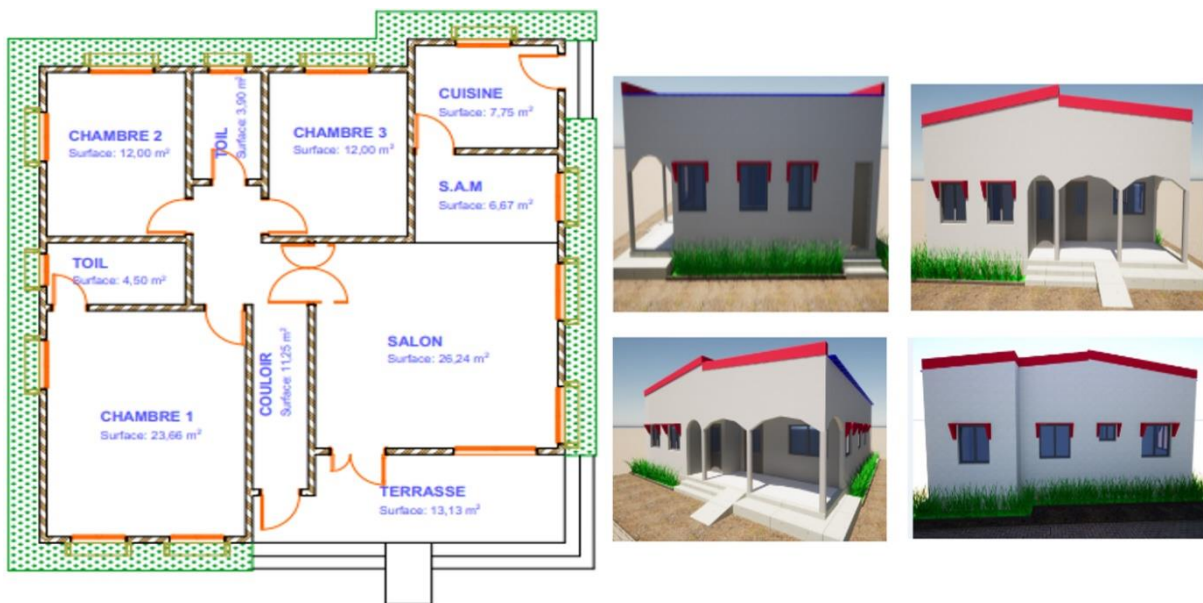


Fig. 13. Plan de repartition spatiale et microclimat

Dans la figure 14, avec une hauteur moyenne de 4m va permettre l'évacuation de chaleur provenant de la toiture à travers des aérations afin d'éviter la propagation de la chaleur venant de la toiture. La simulation réalisée sur le bâtiment bioclimatique et les prises de mesure faites sur le bâtiment bioclimatique ont donné les résultats des figures.

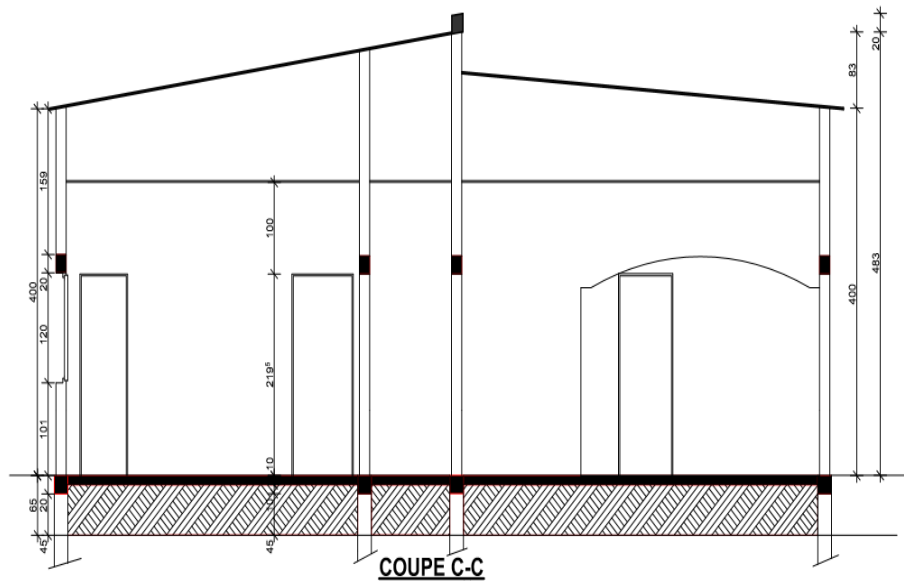


Fig. 14. Coupe du bâtiment bioclimatique



Des rideaux bleus au niveau des ouvertures pour lutter contre le rayonnement solaire

Fig. 15. Bâtiment bioclimatique avec dispositifs de protection solaire

En comparant les résultats simulés et mesurés de la figure 16 avec le diagramme bioclimatique de Victor Olgyay montrent que le bâtiment conçu et réalisé est bioclimatique car les températures moyennes mesurées et simulées à celle de la zone de confort de ce diagramme. D'autres études expérimentales menées au sein du bâtiment témoin et le bâtiment bioclimatique dont les résultats sont consignés dans les figures 17 et 18 montrent une amélioration de l'ambiance thermique et hygrothermique de 6°C à 7.5°C (perte) et 10% à 14% HR (gain) au sein d'un bâtiment bioclimatique par rapport à celle d'un bâtiment témoin offrant ainsi des perspectives intéressantes pour l'éco-conception des habitats.

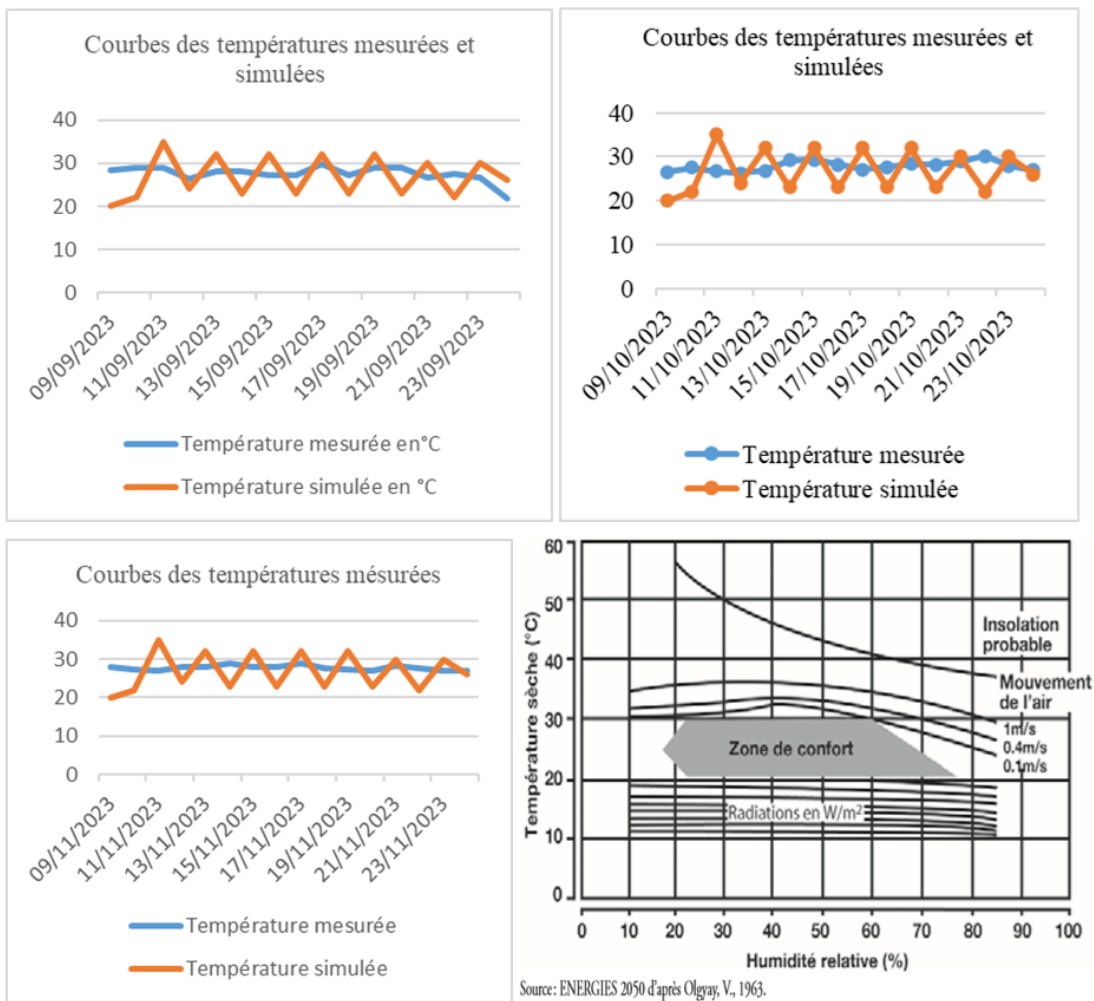


Fig. 16. Courbes des températures mesurées et simulées de septembre à novembre

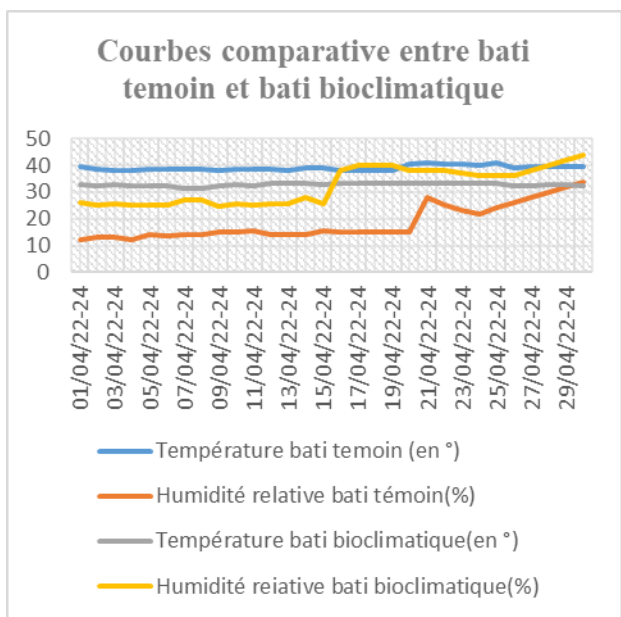


Fig. 17. Courbes comparatives entre bâti témoin et bâtiment bioclimatique

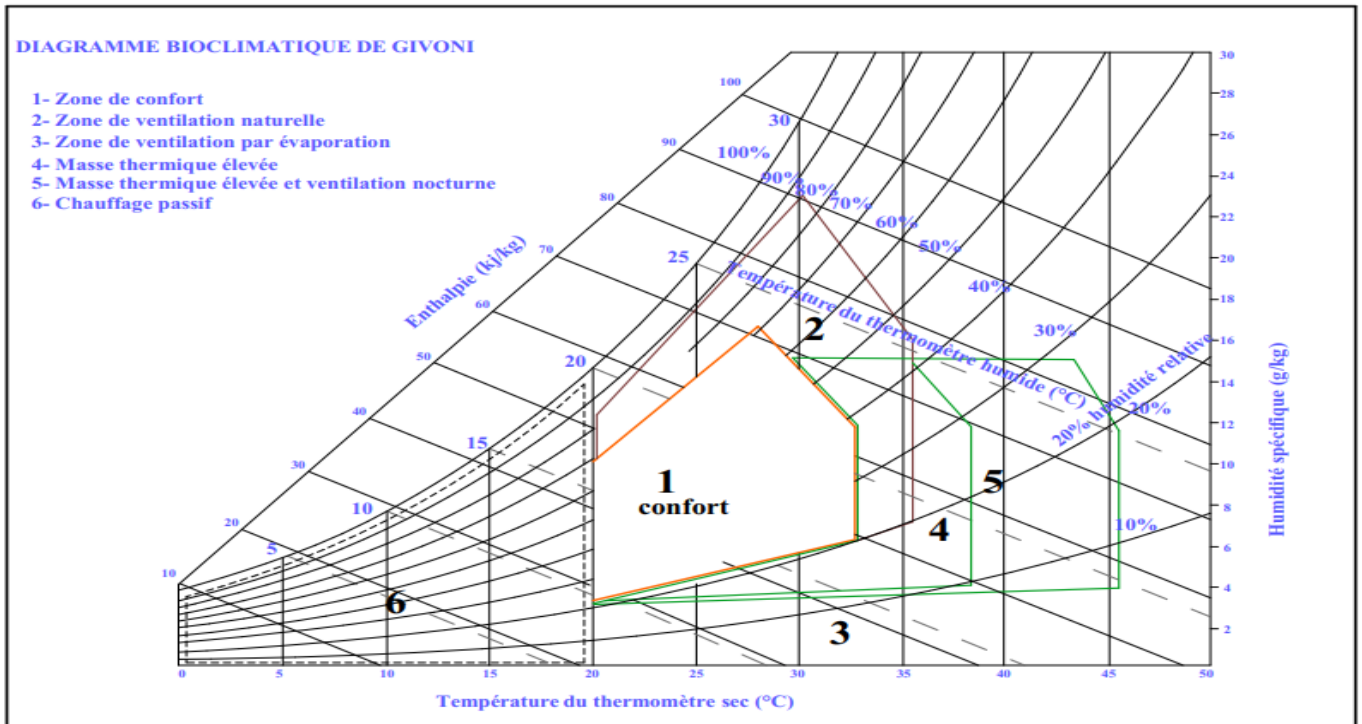


Fig. 18. Diagramme bioclimatique révisé

Tableau 2. Calcul de vitesse résiduelles

Désignation	L(m)	l(m)	h(m)	NR	Vitesse de l'air(m/s)	
Chambre1		4	3	4	180	0,2
Chambre2		4	3	4	180	0,2
Cuisine		3,10	2,5	4	180	0,2
Séjour		5,25	5	4	180	0,2
Chambre PP		5,5	4,3	4	180	0,2
La vitesse résiduelle de notre bâtiment					0,2 m/s	

$$\text{Vitesse de l'air intérieur} = \frac{\text{Débit d'air}}{A} = \frac{\text{Volume local} \times \text{Nombre de Renouvellement d'air (NR)}}{\text{section déplacement} \times 3600}$$

Tableau 3. Calcul de la profondeur d'éclairage

Désignation	L(m)	l(m)	H(m)	Profondeur d'éclairage(m)	limite	%d'éclairage naturel des pièces
Chambre1	4	3	4	4 < 9.23		100%
Chambre2	4	3	4	4 < 9.23		100%
Cuisine	2.5	3.35	4	2.5 < 8.11		100%
Séjour	5.25	5	4	5.25 < 8.10		100%
Chambre PP	5.5	4.3	4	5.5 < 9.85		100%

Avec cette formule $PL = \left\{ \frac{2}{1-RMOY} \right\} \left\{ \left(\frac{1}{w} \right) + \frac{1}{h} \right\} [5]$ nous avons pu calculer

- PL = profondeur maximale (m);
- RMOY = la réflectance moyenne de la surface (sans dimension) = 0,8;

- w = la longueur de la chambre (m); et
- h = hauteur mesurée depuis le haut de la fenêtre (m).

Les résultats obtenus montrent que chaque pièce est suffisamment éclairée ce qui signifie que le confort visuel est atteint à cent pour cent d'éclairage naturel

6 CONCLUSION

L'étude expérimentale avait pour objectif de déceler les problèmes qui empêchent l'atteinte du confort hygrothermique dans les bâtiments existants. Cette étude a permis également de trouver des solutions par rapport à l'orientation et de dimensionner des ouvertures entrant dans la conception et la réalisation du bâtiment bioclimatique. Les résultats obtenus issus des études expérimentales et numériques effectuées sur le bâtiment bioclimatique ont permis de valider les techniques ou les critères de conception des plans architecturaux qui sont des solutions innovantes en vue de réaliser des bâtiments bioclimatiques. Grâce aux résultats de l'étude comparative effectuée entre le bâtiment bioclimatique et le bâtiment témoin, nous constatons avec une grande satisfaction une amélioration de l'ambiance thermique et hygrothermique de 6°C à 7.5°C (perte) et 10% à 14% HR (gain) au sein d'un bâtiment bioclimatique par rapport à celle d'un bâtiment témoin offrant ainsi des perspectives intéressantes pour l'éco-conception des habitats. D'autres perspectives s'offrent toujours telle que l'établissement des abaques de référence qui vont aider le concepteur à opérer des choix par rapport au volume donné d'une pièce quant au nombre et dimensions des ouvertures pour une meilleure prise en charge du confort thermique et hygrothermique dans le bâtiment.

REFERENCES

- [1] UNEP and Global Alliance for Building and Construction, «Rapport sur l'état mondial des bâtiments et de la construction en 2022,» p. 14, 2022.
- [2] O. I. de la francophonie (OIF) I. de la Francophonie, *Guide du bâtiment durable en régions tropicales*. 2015.
- [3] I. O. Abdou, «Études de l'amélioration de la performance énergétique et de stratégies de conception architecturale bioclimatique en climat chaud et humide To cite this version : HAL Id : tel-03346755 THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON Études de l'améliorat,» Université Claude Bernard Lyon 1, 2021.
- [4] C. Filippín, S. F. Larsen, and M. Canori, «Energy use, health, and sleep in a bioclimatic university residence : a case study from 20 years of use,» no. August, 2024, doi: 10.20935/AcadEnergy7304.
- [5] H. Belkhouane, J. Hensen, and S. Attia, «Thermal comforts models for net zero energy buildings in hot climate,» pp. 132–139, 2017.
- [6] M. C. Ness, «Principles and tools for bioclimatic building design - An applied review and analysis in cold climates,» *Proc. 33rd PLEA Int. Conf. Des. to Thrive, PLEA 2017*, vol. 3, no. July, pp. 4196–4203, 2017.
- [7] K. M., «Madi Kabore, « Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques de des bâtiments en Afrique sub-saharienne », PhD, janvier 2015, Grenoble, 2015, [Online]. Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01207884>.
- [8] M. Etienne, «Etudes expérimentale et numérique comparatives des performances hygrothermiques sous climat tropical sec de deux maisons construites en Bloc latéritique taillé et en Parpaings : mise en évidence de l'influence de l'inertie thermique sur le confort thermiq,» Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO Mention, 2018.
- [9] Z. Fati, «Etude expérimentale des propriétés thermomécaniques et simulation de la performance énergétique de matériaux composites formulés à base de terres argileuses et de renforts végétaux: essai de qualification pour leur utilisation comme enveloppes de maison,» Université de Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO, 2016.
- [10] A. Pio, «Hygrothermique du bâtiment : expérimentation sur une maison à ossature bois en conditions climatiques naturelles et modélisation numérique,» Ecole doctorale Mécanique, Énergétique, Génie Civil, Acoustique, 2009.
- [11] H. S. Moussa, P. Nshimiyimana, C. Hema, O. Zoungrana, A. Messan, and L. Courard, «Comparative Study of Thermal Comfort Induced from Masonry Made of Stabilized Compressed Earth Block vs Conventional Cementitious Material,» *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 07, no. 06, pp. 385–403, 2019, doi: 10.4236/jmmce.2019.76026.
- [12] P. li, «MÉMOIRE DE RECHERCHE Projet : Une énergie éco-Seebeck », 2021.
- [13] M. C. Austin *et al.*, «Influence des effets du vent et du tirage thermique sur le taux de renouvellement de l'air d'un bâtiment ventilé naturellement : estimations par simulation aéraulique directe et par validation expérimentale d'une modélisation thermique,» *Conférence {IBPSA} {France} – {Bordeaux}*, no. May, pp. 13–21, 2018, [Online]. Available: http://ibpsa.fr/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=53&view=viewcategory&catid=81.