



Journal de Physique de la Soaphys
Volume 2, Numéro 2, Décembre 2020

Directeur de publication

- Prof. Jean KOULIDIATI

Comité scientifique

- Prof. Jean CHABI OROU (Benin)
- Prof. Félix HONTINFINDE (Benin)
- Prof. Dieudonné Joseph BATHIEBO (Burkina Faso)
- Prof. Frédéric OUATTARA (Burkina Faso)
- Prof. Adama DIAWARA (Côte d'Ivoire)
- Prof. Vafi DOUMBIA (Côte d'Ivoire)
- Prof Abdramane BA (Mali),
- Prof. Badié DIOURTHE (Mali),
- Prof. Saïdou MADOUGOU (Niger)
- Dr. Haoua AMADOU, MC (Niger)
- Prof. Kossi NAPO (Togo)
- Prof. Magolmèèna BANNA (Togo)
- Prof. Oumar KA (Sénégal)
- Prof. Diouma KOBOR (Sénégal)

Rédacteur en chef

- Prof. Antoine BERE (Burkina Faso)

Rédacteur en chef adjoint

- Dr. Milohum Mikesokpo DZAGLI, MC, (Togo),

Secrétaire technique

- Dr. Sié Zacharie KAM, MA, (Burkina Faso)

Journal de Physique de la Soaphys
Volume 2, Numéro 2, Décembre 2020

SOMMAIRE

Thermal destruction of gas generated from household waste <i>Palm et al.,</i>	.....	C20A15 :1-5
Energy calculations of the (2p ² 1D); (3d ² 1G) and (4f ² 1I) doubly excited states of helium isoelectronic sequence ($Z \leq 20$) via the modified atomic orbital theory <i>Sow</i>	.....	C20A16 :1-7
Potentiel érosif de la pluie : identification du meilleur estimateur d'énergie cinétique de la pluie à partir des données de dropsize distribution (DSD) de pluies mesurées au nord-ouest du Bénin <i>Adjikpe et al.,</i>	.....	C20A17 :1-5
Le carbone 14 (¹⁴ C) un traceur idéal pour la surveillance de la pollution atmosphérique en dioxyde de carbone (CO ₂) anthropogénique dans la zone de Dakar <i>Sène et al.,</i>	.....	C20A18 :1-8
Influences of local materials on the building behavior and evaluation of the cooling loads <i>Amadou et al.,</i>	.....	C20A19 :1-7
Evaluation du potentiel en petite hydroélectricité du bassin versant de Wassadou en utilisant le modèle hydrologique SWAT <i>Ndiaye et al.,</i>	.....	C20A20 :1-9
Modélisation de la distribution granulométrique des gouttes de pluie par la loi gamma généralisée <i>Kougbeagbede et al.,</i>	.....	C20A21 :1-5
Adaptive proportional integral controller based on ANN for DC link voltage control single-phase inverter connected to grid <i>Traoré et al.,</i>	.....	C20A22 :1-6
Evaluation du pouvoir méthanogène de la jacinthe d'eau sur le lac Nokoué à Ganvie au Bénin <i>Dohou et al.,</i>	.....	C20A23 :1-5
Evaluation du potentiel de production du biogaz émanant des déchets organiques : cas de Bamako <i>Koné et al.,</i>	.....	C20A24 :1-6
Modélisation du rayonnement solaire global incident sur un plan horizontal et incliné par quatre modèles semi-empiriques sur le site de la ville de Ouagadougou <i>Ouédraogo et al.,</i>	.....	C20A25 :1-9
Modélisation et simulation d'un bâtiment classique vers un bâtiment à énergie positive (BEPOS) <i>Sawadogo et al.,</i>	.....	C20A26 :1-7
Recherche de tendances récentes dans les séquences sèches : cas des stations synoptiques du Bénin <i>Gnihatin et al.,</i>	.....	C20A27 :1-17
Theoretical and experimental analysis of a boost converter <i>Badiane et al.,</i>	.....	C20A28 :1-9

MODÉLISATION ET SIMULATION D'UN BÂTIMENT CLASSIQUE VERS UN BÂTIMENT À ENERGIE POSITIVE (BEPOS)

Sawadogo Daouda *, Coulibaly Ousmane, and Daho Tizane

Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement (LPCE), Université Joseph KI-ZERBO,
Ouagadougou, Burkina Faso

* daoudasawadogo2017@gmail.com

INFOS SUR L'ARTICLE

Historique de l'article:

Reçu le : 26 novembre 2020

Reçu en format révisé le: 19 février 2021

Accepté le : 12 mai 2021

Mots-Clés : BEPOS ; charges de climatisation ; panneau photovoltaïque ; modélisation ; simulation.

RESUME

Cette étude porte principalement sur la modélisation et la simulation d'un bâtiment à usage d'habitation et orienté vers le Bâtiment à Energie POSitive (BEPOS). C'est un bâtiment de niveau R+1 et notre étude a porté au niveau de Rez-De-Chaussée. Le Logiciel KoZiBu nous a permis d'entreprendre une simulation du bâtiment en situation de référence et optimisé. Les conclusions de ces travaux, ont montré pour les charges de climatisation que le bâtiment en situation optimisé présente une économie d'énergie de 20,16% par rapport au bâtiment en situation de référence. De plus la production d'énergie à l'aide des panneaux photovoltaïques sous PV SYST est comparée avec les consommations d'énergie électrique du bâtiment pour analyser son autonomie énergétique. Une étude comparée au niveau de la variation de température à l'intérieur du bâtiment étudié en situation de référence et optimisé a été réalisée. Enfin, une étude économique et écologique du projet d'isolation du bâtiment nous a permis de savoir que son temps de retour est de 7 ans 5 mois et permet d'éviter l'émission de 256,5 tonnes eq de CO₂ en 50 ans.

I. INTRODUCTION

La réduction de la consommation énergétique dans le secteur de bâtiments est aujourd'hui une priorité dans les politiques des pays industrialisés.

En France, « Dès 2020, tous les bâtiments neufs seront à énergie positive, c'est-à-dire qu'ils produiront davantage d'énergie qu'ils n'en consomment » déclarait Nicolas Sarkozy lors de la restitution des conclusions du Grenelle de l'environnement (PREAT, 2009). Cette affirmation prouve que la réduction de la consommation énergétique est devenue une préoccupation mondiale majeure favorisée par une volonté économique, écologique et d'indépendance énergétique. En effet, le domaine du bâtiment qui est l'un des plus gros consommateurs de l'énergie représente environ 32% de la consommation mondiale annuelle (Henri-Luc et al).

Au Burkina Faso, les bâtiments ont été conçus jusqu'à nos jours sans contrainte énergétique. Il en résulte des charges très élevées surtout pour les exploitants non sensibilisés à l'utilisation rationnelle de l'énergie. Ainsi, la consommation énergétique des bâtiments du secteur public, notamment pour le fonctionnement des appareils de conditionnement d'air est estimée à 30 000 MWh/an, ce qui correspond à un coût financier estimé à 3,4 milliards de FCFA/an (DGE, 2003).

S'inspirant d'études conduites sur ce thème (G. Krauss et al., 2005) ont conduit des travaux sur la modélisation sous TRNSYS d'une maison à énergie positive, ils ont mis l'accent sur la conception bioclimatique de l'enveloppe et la ventilation. (Grade et al., 2006) ont procédé à la réalisation d'un bâtiment à énergie positive à l'île de la réunion, de la phase programme à la conception. (T. Recht et al., 2016) dans leurs travaux, ont présenté une démarche sur l'éco-conception de maison à énergie positive assistée par optimisation multicritère. (Saadon et al.,) ont conduit des travaux sur la modélisation et la simulation thermique d'un bâtiment équipé d'une façade photovoltaïque ventilée. La modélisation adoptée décrit l'enveloppe active à partir d'une approche simplifiée.

Dans notre travail, nous effectuons d'abord l'étude des mesures d'efficacité énergétique sur les besoins énergétiques d'un bâtiment résidentiel conditionné par des données météorologiques de la ville de Ouagadougou ensuite l'optimiser afin de le rendre plus performant. Enfin nous allons dimensionner une installation photovoltaïque couplée au réseau électrique de distribution Société Nationale d'Electricité du Burkina (SONABEL) pour rendre le bâtiment producteur d'énergie.

II. MATERIEL ET METHODE

2.1 Description du modèle de KoZiBu et propriétés des matériaux.

2.1.1 Le logiciel KoZiBu

KoZiBu est un logiciel de simulation pour l'analyse dynamique des performances thermiques et hydriques d'un bâtiment. En sus, il est destiné à mener des études de chauffage et de refroidissement, de conditionnement d'air et de ventilation, de choix de matériaux d'isolation. L'objectif principal de KoZiBu est la prédiction de la consommation d'énergie, et de l'amplitude de variation de la température et de l'humidité.

KoZiBu permet d'estimer la puissance de chauffage ou de climatisation nécessaire pour maintenir une consigne donnée, ou pour déterminer l'évolution des températures lorsque le système de chauffage ou de climatisation est insuffisant. L'humidité est traitée de la même façon.

KoZiBu est basé sur l'assemblage de briques simples pour former un bâtiment complexe avec ses équipements. A l'aide de l'interface graphique, l'utilisateur construit un modèle de son bâtiment en utilisant des éléments de base (volumes d'air, murs, fenêtres). L'utilisateur peut ajouter à son modèle de bâtiment des charges internes et des éléments de régulation, et réaliser ensuite des calculs thermiques (Jean Noel et al.).

2.1.2 Les propriétés des matériaux

Le **tableau 1** récapitule la composition et les propriétés des différents types de parois et ouvertures qui ont été considérés pour le bâtiment en situation de référence.

Tableau 1 : Propriétés thermo-physiques des matériaux en situation de référence en parping creux, (IEPF, PRISME, 2002), (IEPF, PRISME, 2006),

Désignation	Matériaux	Conductance thermique (W/m.K)	Capacité thermique (J/kg.K)	Masse volumique (kg/m³)	Epaisseur (m)
Murs extérieurs	Enduit plâtre	0,52	1000	1300	0,01
	Parpaing creux	0,67	880	1250	0,15
	Laine de roche	0,038	1030	140	0,06
	Enduit ciment	0,87	105	2200	0,01
Dalle	Enduit plâtre	0,52	1000	1300	0,02
	Air	0,026	1007	1,20	0,05
	Béton-hourdi	1,27	650	1300	0,2
	Laine de roche	0,038	1030	140	0,10
	Mortier de ciment	1,5	840	2000	0,02
Cloisons intérieurs	Enduit plâtre	0,52	1000	1300	0,01
	Parpaing creux	0,67	880	1250	0,15
	Enduit plâtre	0,52	1000	1300	0,01
Plancher	Carreaux de grès	1,20	1000	2000	0,005
	Béton	1,75	653	2100	0,15
Porte d'entrée	Métallique	50	450	7800	0,15
Portes intérieures	Bois	0,12	2510	593	0,15
Fenêtres (double vitrage peu émissif)	Verre	1,15	1000	840	0,004
	Argon	0,01772	520	1,7	0,016
	Verre	1,15	1000	840	0,004

Le **tableau 2** récapitule la composition et les propriétés des différents types de parois et ouvertures qui ont été considérés pour le bâtiment en situation optimisée.

Tableau 2 : Propriétés thermo-physiques des matériaux en situation optimisée, (IEPF, PRISME, 2002), (IEPF, PRISME, 2002)

Désignation	Matériaux	Conductance thermique (W/m.K)	Capacité thermique (J/kg.K)	Masse volumique (kg/m³)	Epaisseur (m)
Murs extérieurs	Enduit plâtre	0,52	1000	1300	0,025
	Parpaing creux	0,67	880	1250	0,15
	Enduit ciment	0,87	105	2200	0,025
Dalle	Enduit plâtre	0,52	1000	1300	0,02
	Air	0,026	1007	1,20	0,05
	Béton-hourdi	1,27	650	1300	0,2
	Mortier de ciment	1,5	840	2000	0,02
Cloisons intérieurs	Enduit plâtre	0,52	1000	1300	0,025
	Parpaing creux	0,67	880	1250	0,15
	Enduit plâtre	0,52	1000	1300	0,025
Plancher	Carreaux de grès	1,20	1000	2000	0,005
	Béton	1,75	653	2100	0,15
Porte d'entrée	Métallique	50	450	7800	0,15
Portes intérieures	Bois	0,12	2510	593	0,15
Fenêtres (Vitrage simple)	Verre	1,15	1000	840	0,004

2.2 Modélisation de la maison sous KoZiBu

2.2.1 Description du bâtiment

L'étude menée concerne un logement résidentiel d'environ 180,96 m² de surface (**Figure 1**), pour un volume de 361,92 m³, dont la façade principale est orientée Ouest. La configuration du bâtiment représentée à la figure 1. C'est un bâtiment de R+1 dont le Rez-De-Chaussée est composé de 3 chambres, 2 toilettes, 1 séjour, 1 salle à manger, 1 dégagement, 1 garage, 1 terrasse et 1 escalier. Les murs extérieurs non isolés sont en parpaing creux de 20 cm avec enduits extérieur et intérieur au ciment, peinture blanche à l'intérieur et jaune foncée à l'extérieur (soit 15cm avec 2,5 cm d'enduit intérieur et 2,5 cm d'enduit extérieur) ; les séparations sont en parpaing creux de 15 cm et l'enduit est en plâtre sur les deux côtés d'épaisseur 2,5 cm chacune. Le plancher bas est constitué de 15 cm de béton, couvert de carrelage d'épaisseur 5 cm. La dalle est en béton-hourdi d'une épaisseur de 20 cm, une chape en mortier de ciment de 2 cm d'épaisseur, intercalée par un espace vide d'une épaisseur de 5 cm remplir d'air et un enduit intérieur en plâtre de 2 cm d'épaisseur également. Les portes intérieures sont en bois et extérieures en métalliques, châssis double avec encadrement en fer. Le vitrage est simple et de 4 mm d'épaisseur avec cadre en fer, d'une conductance hors résistance superficielles égale à 5,7 W/(m².K) et de facteur solaire égale à 0,85.

2.2.2 Modélisation en multizone

Le modèle du bâtiment multizone est utilisé. Les simulations sont effectuées sur l'année avec un pas de temps d'une heure (0 à 8760h) dans l'environnement de simulation de KoZiBu. Afin d'avoir une modélisation plus fine de l'habitat en fonction de son utilisation, nous l'avons subdivisé en neuf (9) zones pour le décrire dans KoZiBu :

- Zone 1 : Séjour ;
- Zone 2 : Dégagement ;
- Zone 3 : Chambre 1 ;
- Zone 4 : Chambre 2 ;
- Zone 5 : Chambre 3 ;
- Zone 6 : Toilette 1 + Dressing ;
- Zone 7 : Toilette 2 ;
- Zone 8 : Garage + terrasse ;
- Zone 9 : Escalier.

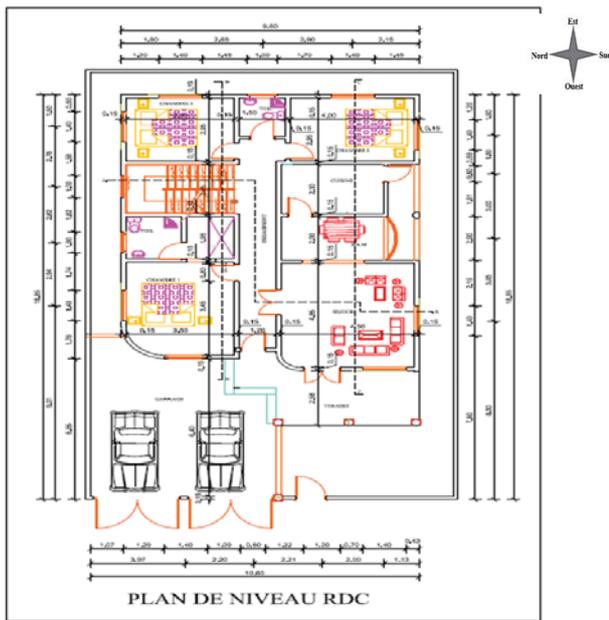


Figure 1. Plan du bâtiment du RDC

2.2.3 Données météorologiques

Le bâtiment se situant dans la ville de Ouagadougou, les données météorologiques METEONORM de cette ville sont utilisés pour la simulation.

2.2.4 Charges internes et appareils de régulation

Nous supposons que le climatiseur est mis en route lorsque la température intérieure passe au-dessus de 26°C avec une humidité relative de 50%. La ventilation et l’infiltration sont fixées à un volume par heure. Des scénarios d’occupation semaine et weekends correspondant aux chambres et au séjour ont été créés. Le nombre d’occupants est de 6 pour le séjour et 2 par chambre. Pour l’éclairage, 18 lampes fluorescentes de 8W/m² sont utilisées au total pour le bâtiment. Le séjour comporte une télévision de 64W et un décodeur Canal+ de 60W, 2 réfrigérateurs de 70W et de 125W ayant un coefficient d’utilisation de 100% chacun et 2 ordinateurs portables de 80W chacun dont le coefficient d’utilisation est fixé à 100% chacun également.

2.3 Vers le BEPOS : Autonomie avec le système PV

Le logiciel de dimensionnement PV syst : PV SYST est un logiciel de dimensionnement de panneaux solaires permettant d’obtenir diverses informations telles que la production d’énergie, l’irradiation et le coût de l’installation, la surface nécessaire, ou la production annuelle d’énergie. Un mode avancé permet d’obtenir beaucoup plus d’informations pour une étude très complète (Damien MAZILLE et al.).

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats de dimensionnement PV syst

Le tableau 3 regroupe les projets de dimensionnement avec les éléments de système photovoltaïque de chacun.

- Le projet I est le dimensionnement du bâtiment étudié non climatisé.
- Le projet II représente le dimensionnement du bâtiment étudié avec chambre principale climatisée.
- Le projet III constitue le dimensionnement du bâtiment étudié avec chambre principale et séjour climatisés.
- Le projet IV donne le dimensionnement du bâtiment étudié avec les trois chambres climatisées suivi du séjour.

Tableau 3. Résultat de dimensionnement par le logiciel PV SYST des différents projets

Projet	Projet I	Projet II	Projet III	Projet IV
Eléments de système				
Consommation par jour (Wh/j)	8996	19796	30596	52196
Consommation par mois (kWh/mois)	269,88	593,88	917,88	1565,88
Voltage de système (V)	24	24	24	48
Nombre de batteries	4	10	15	26
Type de batterie	12V/200Ah	12V/200Ah	12V/200Ah	12V/200Ah
Nombre de panneaux	06	14	22	37
Type de panneau	250Wc/24V	250Wc/24V	250Wc/48V	250Wc/48V
Régulateur	24V/30A	24V/60A	2x24V/60A	3x48V/60A
Capacité suggérée (Ah)	882	1941	3000	5117
Puissance crête suggérée (Wc)	1606,42	3535	5463,6	9320,7
Investissement Brut (F CFA)	2 505 000	5 500 000	8 200 000	13 500 000

3.2. Etude économique et financière

L’analyse économique et financière va nous permettre de juger la faisabilité de nos projets et d’estimer leur rentabilité dans les vingt premières années. En effet, nous avons adopté un calcul très simple, qui va nous permettre d’estimer nos projets, à savoir les gains, et les temps du retour d’investissement.

Le tableau 4 regroupe la production annuelle du système PV, l’énergie utilisée, le prix d’électricité pendant les heures pleines, le coût total d’investissement, le gain de la production PV et le temps de retour sur investissement (TRI) pour les différents projets.

Tableau 4. Résultat de temps de retour sur investissement des différents projets

	Projet I	Projet II	Projet III	Projet IV
Production annuelle PV (kWh)	3238,56	7126,56	11014,56	18790,56
Energie utilisée (kWh)	2934,56	6237	9854,56	17950,65
Prix électricité (F CFA)	102	102	102	102
Coût total d’investissement (F CFA)	2 505 000	5 500 000	8 200 000	13 500 000
Gain de production PV (F CFA)	299325	636 174	1 005 165	1 830 966
Temps de Retour (TRI)	8 ans 5 mois	7 ans 8 mois	8 ans 2 mois	7 ans 5 mois

3.3 Etude écologique

Les émissions de CO₂ par kWh d’électricité varient d’un pays à l’autre en fonction des sources d’énergie utilisées pour la production d’électricité.

Au Burkina Faso, il est estimé à 3,23 kg eq.CO₂/kWh par la SONABEL (Document, 2ie-edu.org).

Le **tableau 5** récapitule le taux d'émission de CO₂ par an et la masse de CO₂ évitée pour 20 ans des différents projets.

Tableau 5. Résultat de calcul écologique des différents projets

Projet	Projet I	Projet II	Projet III	Projet IV
Taux d'émission CO ₂ /an (kg eq)	9478,63	20145,51	31830,23	57980,60
Masse de CO ₂ pour 20 ans (tonnes eq)	189,57	429,9	633,60	1159,62

3.4 Analyse de l'autonomie

3.4.1 Charges sensibles, charges latentes et charges totales de climatisation

Les charges sensibles (**Figure 2**), latentes (**Figure 3**) et de climatisation (**Figure 4**) d'un bâtiment en situation de référence et en situation optimisée.

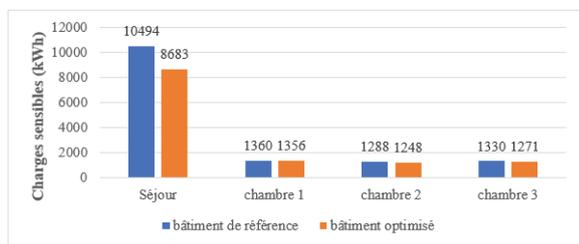


Figure 2. Charges sensibles

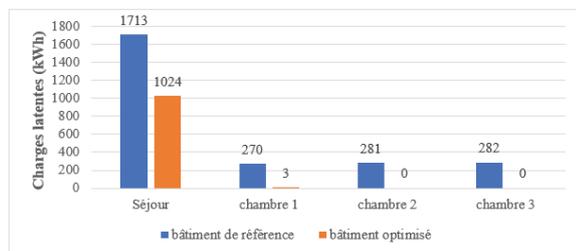


Figure 3. Charges latentes

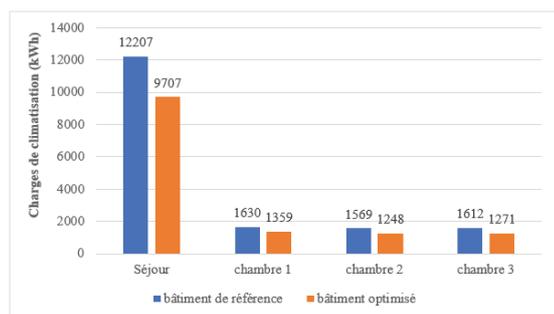


Figure 4. Charges de climatisation

Les charges sensibles, latentes et de climatisation, les valeurs obtenues pour le bâtiment en situation de référence sont supérieures à celui en situation optimisée. Cependant pour les charges latentes, une remarque importante est à noter du fait de la particularité du climat chaud et sec comme celui du Burkina Faso, le refroidissement de l'air est presque toujours suivi d'une déshumidification de cet air d'où le nom de climatisation.

3.4.2 Comparaison des courbes de températures maximales de séjour et chambre 1

Les températures maximales de séjour (**Figure 5**) et de chambre 1 (**Figure 6**) du bâtiment en situation de référence et en situation optimisée.

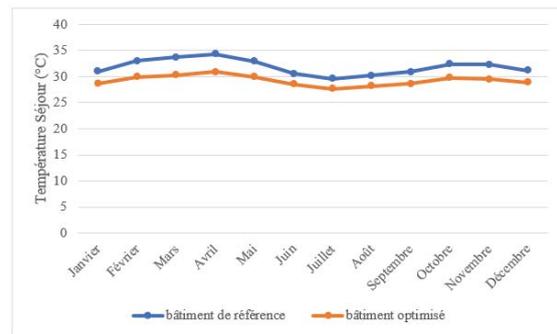


Figure 5. Courbe de température pour le séjour pour le bâtiment en situation de référence et optimisée.

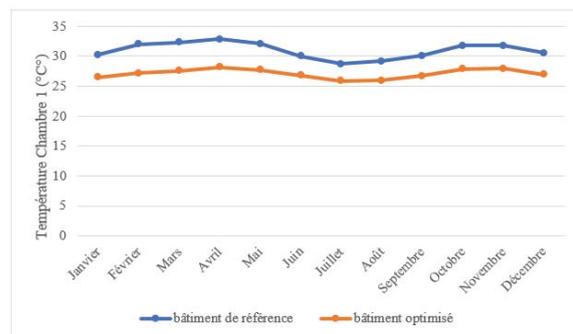


Figure 6. Courbe de température pour la chambre 1 pour le bâtiment en situation de référence et optimisée.

Il est présenté sur les courbes, l'évolution des températures mensuelles dans le séjour et la chambre 1 du bâtiment climatisé en situation de référence et aussi celui climatisé en optimisée. Ces courbes de température au-dessus montrent que le bâtiment en situation optimisée présente une basse température par rapport au bâtiment en situation de référence. On observe une configuration identique au niveau des deux courbes ; notamment des pics de température au-dessus de 30°C pour le bâtiment en situation de référence et en dessous de 30°C pour le bâtiment en situation optimisée pour le mois d'avril. Cela s'explique par le fait que le parpaing creux (Cp = 0,88 kg. K) du bâtiment en situation de référence stocke la chaleur la journée dû à l'air emprisonné dans les parties creuses pour après la diffusé dans le local la nuit et l'infiltration ou fuites d'air parasites passant par l'enveloppe du bâtiment.

➤ Simulation du bâtiment en situation de référence et optimisée sans climatiseur.

Les températures maximales de séjour (**Figure 7**) et de chambre 1 (**Figure 8**) du bâtiment en situation de référence et en situation optimisée sans climatiseur.

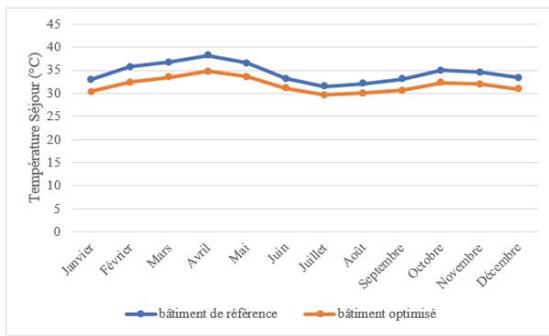


Figure 7. Courbe de température pour le séjour pour le bâtiment en situation de référence et optimisé.

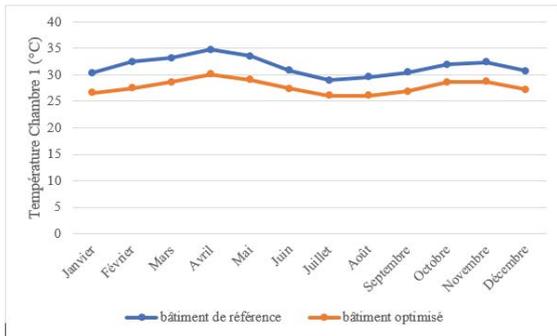


Figure 8. Courbe de température pour la chambre 1 pour le bâtiment en situation de référence et optimisé.

L'évolution de ces courbes de température au-dessus montrent que le bâtiment non climatisé en situation optimisé présente également une faible variation de température par rapport au bâtiment non climatisé en situation de référence. On observe de même une configuration identique au niveau des deux courbes ; notamment des pics de température au-dessus de 35°C pour le bâtiment non climatisé en situation de référence et en dessous de 35°C pour le bâtiment non climatisé en situation optimisé pour le mois d'avril. Cela s'explique également par le fait que le parpaing creux ($C_p = 0,88 \text{ kg.K}$) du bâtiment non climatisé en situation de référence stocke la chaleur la journée dû à l'air emprisonné dans les parties creuses pour après la diffusé dans le local la nuit et l'infiltration ou fuites d'air parasites passant par l'enveloppe du bâtiment.

3.4.3 Isolation, comparaison et production d'électricité avec panneaux poly-cristallins

Nous comparons les panneaux, aux charges de climatisation du bâtiment en se limitant au cas du mur en parpaing creux.

Le **tableau 7** indique l'effet de l'isolation pour la réduction de la consommation énergétique et la contribution des productions des panneaux poly-cristallins aux consommations d'énergie électrique totale du bâtiment. Sans isolation, les consommations totales d'électricité du bâtiment sont de 9879,95 kWh. Donc les productions des panneaux poly-cristallins représenteraient 188,26% de ces consommations d'électricité du bâtiment. Mais si l'on simule le bâtiment en optimisant les fenêtres et en supposant une isolation de 10 cm de panneaux de laine de

roche pour la toiture, les consommations d'électricité du bâtiment seraient de 9195,72 kWh. Les productions des panneaux poly-cristallins représenteraient 202,27% de ces consommations totales d'électricité du bâtiment. Les proportions atteignent 242,19% pour les panneaux poly-cristallins, si l'on ajoute une isolation extérieure de 6 cm de la laine de roche sur le mur. Ces proportions montrent qu'avec l'abondance du rayonnement solaire en climat tropical sec, on peut réduire le nombre de panneaux et les surfaces de productions si l'on conjugait toutes les méthodes passives liées à la conception architecturale (orientation, protections solaires...). Par ailleurs, les valeurs des ratios de consommation varient de 126,21 kWh/m² climatisé/an pour le bâtiment non isolé à 98,11 kWh/m² climatisé/an après isolation de 6 cm du mur (Cas 4) (tableau 6). Cela met ainsi en évidence l'amélioration de la qualité du bâtiment. Par comparaison, nous constatons que la valeur de référence de consommation énergétique d'un appartement en climat tropical humide (pas de référence dans la littérature pour le climat tropical sec) qui est de l'ordre de 160 kWh/m²/an se trouve dans la plage de consommation énergétique de ce bâtiment [8].

L'isolation par les panneaux de laine de roche a été choisie du fait de son bon rapport qualité-prix.

Tableau 6. Effet de l'isolation sur la contribution des productions des panneaux aux consommations d'énergie et Ratio R0

Cas d'isolation considérée	Cas1 : non isolée	Cas2 : Optimisation fenêtres	Cas3 : cas2 + isolation toiture	Cas4 : cas3 + isolation mur	Cas5 : isolation toiture + isolation mur
Charges thermiques (kWh)	17017	16245	14964	10417	12252
Consommation électrique de climatisation (kWh)	5672,33	5415,00	4988,00	3472,33	4084
Consommation électrique + spécifiques (kWh)	9879,95	9622,72	9195,72	7680,05	8291,72
Energie économisée	-	257,33	684,23	2199,90	1588,23
Energie économisée (%)	-	02,60	06,93	22,27	16,07
Ratio R0 (kWh/m ² /an)	126,21	122,93	117,47	98,11	105,92
Contribution (poly) (%)	188,26	193,29	202,27	242,19	224,32

Pour le **bâtiment non climatisé**, pas d'effet d'isolation sur la contribution des panneaux aux consommations d'énergie.

➤ Étude économique et financière

L'analyse économique et financière va nous permettre d'estimer la rentabilité de l'isolation (**Cas 5**) durant la durée de vie de notre bâtiment. En effet, la laine de roche (l'un des isolants thermique et acoustique les plus performants pour l'habitat) a une durée de vie généralement identique à celle du bâtiment.

On a :

- Énergie économisée : 1588,23 kWh
- Prix d'électricité, pendant les heures pleines : 102 F CFA/kWh
- Économie estimée = $1588,23 \text{ kWh/an} \times 102 \text{ F CFA/kWh} = 162\,000 \text{ F CFA}$
- Coût de panneau de laine de roche 100 mm : 6 695 F CFA/m²
- Coût de panneau de laine de roche 60 mm : 4 365 F CFA/m²
- Surface toiture : 180,96 m²
- Surface total de mur : 63,84 m²
- Coût d'investissement (coût des panneaux de laine de roche + ossature + installation ...etc.) : 1 200 000 F CFA

$$\text{Temps de retour (TRI)} = \frac{\text{coût total d'investissement}}{\text{économie estimée}}$$

$$\text{Temps de retour (TRI)} = \frac{1\,200\,000}{162\,000} = 7 \text{ ans } 5 \text{ mois}$$

➤ Étude écologique

L'énergie électrique économisée par l'isolation du bâtiment (**Cas 5**) est d'environ : 1588,23 kWh/an.

Notre projet d'isolation évitera un taux d'émission de CO₂ égale à :

$$1588,23 \text{ kWh/an} \times 3,23 = 5130 \text{ kg eq CO}_2 \text{ par an}$$

Sachant que la durée de vie du projet d'isolation est de plus de 50 ans, la masse de CO₂ évitée sera d'environ : 256,50 tonnes eq/50 ans.

IV. CONCLUSION

Cette étude a permis de modéliser et simuler un bâtiment à usage d'habitation et s'orienter vers le Bâtiment à Energie POSitive (BEPOS). Comme attendu, le logiciel KoZiBu nous a permis de modéliser et simuler un bâtiment avec les données météorologiques relatives à la ville de Ouagadougou. Des simulations de l'évolution des paramètres tel que les températures caractérisant l'atmosphère intérieur du logement en situation de référence et optimisé ont été effectuées. L'évolution de l'énergie nécessaire (charges sensibles et latentes) pour la climatisation de chaque local a été déterminée.

Il ressort des résultats obtenus de cette simulation, que le bâtiment en situation optimisée présente une économie énergétique de 20,16% par rapport au bâtiment en situation de référence. Les différentes charges obtenues du fait de la température de base de refroidissement montrent la nécessité d'une réglementation pour limiter les consommations d'énergie.

Nous constatons également du fait des températures très élevées et l'ensoleillement en climat tropical sec,

l'orientation du bâtiment influence beaucoup sur les charges de climatisation. Nous notons aussi l'isolation des bâtiments permettra en plus d'optimiser l'économie d'énergie. De plus, l'autonomie du bâtiment indique que non seulement on obtient un surplus de production (« bâtiment à énergie positive ») mais que l'on peut augmenter également les panneaux et les surfaces de productions si l'on suppose que le bâtiment est connecté à un réseau de distribution électrique.

De plus la consommation énergétique de notre bâtiment est dans la plage de consommation énergétique d'un appartement en climat tropical humide qui est de l'ordre de 160 kWh/m²/an. Et, l'analyse économique de l'isolation du bâtiment (toiture et mur) nous a permis d'estimer son temps retour sur investissement à 7 ans 5 mois. Enfin, de l'étude écologique de l'isolation du bâtiment (toiture et mur), nous constatons que 256,50 tonnes eq, CO₂ seront évitées en 50 ans.

Si l'on augmentait les panneaux photovoltaïques et les surfaces de production, on constaterait que la production sera supérieure à 100%. De plus l'apport de l'installation photovoltaïque de ces projets est supérieur à 100 %, ces taux indiquent que le bâtiment produit plus d'énergie qu'il n'en consomme, ce qui fait de lui un bâtiment à énergie positive.

REFERENCES

- Damien MAZILLE, Vincent BOITIER, Documentation pour l'utilisation du logicielPVSystemV5. (webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://vincent.boitier.free.fr/photovoltaique/Notice%2520PV%2520Syst/notice_PVSystem.pdf).
- DGE, Direction Générale de l'Énergie Audit Énergétique, et Stratégie Énergétique Domestiques (SED), Ministère de l'Énergie et des Mines du Burkina Faso, 2003
- documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=1764, consultée le 20 avril 2019
- François Garde, Dalila Bentaleb, Alain Bastide, Eric Ottenwelter, Eric Pothin, réalisation d'un bâtiment à énergie positive à l'île de la réunion. De la phase programme à la conception, Journée thématique SFT-IBPSA mars 2006
- Henri-Luc Directeur du plan bleu, El Habib El Andaloussi. Chargé de mission Energie au plan bleu. L'efficacité énergétique dans le bâtiment en Méditerranée.
- Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), Ouvrages PRISME, Efficacité énergétique de la climatisation en région tropicale, Bilan Thermique. Tome 1 : Conception des nouveaux bâtiments, <http://www.iepf.org>, 2002

Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), Ouvrages PRISME, Efficacité énergétique de la climatisation en région tropicale, Bilan Thermique. Tome 2 : exploitation des installations existantes, ISBN : 2-89481-010-5, <http://www.iepf.org>, 2002.
<http://www.iepf.org/ressources/ressources-pub.php?id=2&annee=2006>

Jean NOEL, Jean-Jacques ROUX, Joseph VIRGONE, présentation et perspectives du logiciel CODYBA.

Krauss, G., Lips, B., Virgone, J., and Blanco, E., Modélisation sous TRNSYS d'une maison à énergie positive, 2005

PREB4T, vers des bâtiments à énergie positive, Proposition de structuration des actions de recherche, juin 2009.

Syamimi SAADON, Leon GAILLARD, Christophe MENEZO, modélisation et simulation thermique d'un bâtiment équipé d'une façade photovoltaïque ventilée.

Thomas Recht, Maxime Robillart, Charles Garnier, Patrick Schalbart, Bruno Peuportier, Éco-conception de maisons à énergie positive assistée par optimisation multicritère, Conférence IBPSA France – Marne-la-Vallée – 2016.



Journal de Physique de la Soaphys
Volume imprimé avec la contribution de :

