

BIOCLIMATISATION ET CONFORT THERMIQUE : ANALYSE DE LA CONCEPTION DU BATIMENT A PARTIR DU LOGICIEL COMFIE + PLEIADES.

**Mémoire pour l'obtention du Master d'Ingénierie de l'Eau et de
l'Environnement - Ingénieurs - 2iE**

Option : ENERGIE ET PROCEDES INDUSTRIELS

Présenté et soutenu publiquement le 18 juin 2011 par :

ABDERAMANE Choua

Travaux dirigés par :

Pr. Yézouma COULIBALY

M. Pierre ABADIE

M. Madi KABORE

UTER: Génie Energétique et Industriel

Jury d'évaluation :

Président : M. Yézouma COULIBALY

**Membres : M. Bruno BOUTEILLE
M. Francis SEMPORE
M. Henry KOTTIN
M. Pierre ABADIE**

Promotion 2010/2011

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à :

Feu mon père CHOUA ABDALLAH pour m'avoir donné la vie et l'éducation indispensable pour ma réussite ; QU'ALLAH LE TOUT PUISSANT L'ACCUEILLE DANS SON PARADIS.

Ma chère mère DOYA BORGOU pour ses sacrifices et son amour qu'elle nous a consacré ; Trouve en ce travail l'expression de toutes mes reconnaissances.

A mes oncles et tantes, frères, sœurs et amis, je dédie ce travail pour m'avoir soutenu tout le long de mon cursus.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce aux soutiens permanents et aux encouragements de plusieurs personnes, dont je tiens à les remercier sincèrement.

Tout d'abord à la Banque Africaine de Développement (**BAD**) pour m'avoir accordé une bourse d'études du cycle de Master.

Au **Dr Yao AZOUMAH** qui m'a accueilli dans son laboratoire.

A mes encadreurs, **Pr. Yézouma COULIBALY**, **Pr Didier LECOMTE** et **M. Madi KABORE** pour leur encadrement lors du déroulement de mon stage.

A Monsieur **Pierre ABADIE** et toute son équipe NEWANGO pour leurs échanges fructueux. En particulier à mon binôme **Nicolas BESSON** pour son esprit d'équipe et ses apports enrichissants.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance au personnel du laboratoire LESEE pour leur gentillesse et pour leur soutien constant durant mon séjour au laboratoire.

Aussi à exprimer toute ma gratitude au corps professoral du 2iE en général et de l'Unité Thématique d'Enseignant et de Recherche Génie Energétique et Industriel en particulier pour les connaissances dispensées pendant cette formation de master.

Mes sincères remerciements s'adressent à tous mes promotionnels, amis et frères, pour les agréables moments passés ensemble durant les deux années d'études.

RESUME

Les apports solaires par les parois et par les vitrages dus à un fort ensoleillement à Ouagadougou sont à l'origine de l'inconfort dans les bâtiments et augmentent les besoins en climatisation. La part de la climatisation sur les factures électriques est énorme alors que le coût du kWh ne cesse de croître. Cette étude vise à déterminer l'impact des différentes parties du bâtiment sur le besoin en climatisation avec le logiciel de simulation **COMFIE + PLEADES** afin d'économiser de l'énergie. Le test de ce logiciel a donné des résultats proches des données mesurées. Un bâtiment mono zone avec les configurations de l'immeuble NEWANGO a été caractérisé. Les résultats de simulations montrent que la protection des fenêtres permet d'économiser de **300 à 700 kWh/m²/an** en fonction du côté et les fenêtres larges sont nettement économes par rapport aux fenêtres hautes. Le double vitrage et les vitrages teintés réduisent nettement le besoin en climatisation. Le double mur permet de réduire les besoins en climatisations de **120 kWh/m²/an** par rapport au simple mur, tandis qu'un mur de 20cm isolé avec de la paille de 20cm d'épaisseur est plus économe ; on a une réduction de besoin en climatisation de **190kWh/m²/an** par rapport au simple mur de 20cm de parpaing.

Mots clés : Vitrage, Besoin en climatisation, Economie d'énergie, Simulation, bâtiment.

ABSTRACT

The reheating of walls and windows due to a high solar radiation in Ouagadougou leads to a discomfort into buildings and increases the need for air conditioning. The share of air conditioning on electric bills is enormous while the kWh cost is constantly growing. This study aims to determine the impact of different parts of the building on the need in air conditioning using the simulation software COMFIE + PLEADE in order to save energy. The test of this software gave results close to the measured data. A single building area with the features of the NEWANGO building was characterized. Simulation results show that the protection of windows can save **300 to 700 kWh / m² / year** and large windows are much efficient compared to high ones. The double glazed and tinted windows dramatically reduce the need in air conditioning. The double wall makes it possible to reduce the requirements in air-conditionings for **120 kWh/m²/an** compared to a simple wall, handed a 20cm wall insulated with straw 20cm is more economical; there is a reduction of requirement in air-conditioning for **190kWh/m²/an** compared to the 20 cm simple cinderblock wall.

Keywords: Glaze, Need air conditioning, energy saving, simulation, building.

ABREVIATIONS

2iE : Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et d'Environnement.

LESEE : Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie.

UTER : Unité Thématique d'Enseignements et de Recherche.

GEI : Génie Energétique et Industriel

FS : Facteur Solaire.

TL : Transmission Lumineuse.

U : facteur thermique

COP : Coefficient de performance.

CVC : Chauffage ventilation Climatisation.

NEWANGO : Bon arrivée en langue locale (**moré**).

TRY: Test Reference Year

CSTB: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

TRNSYS : TRaNsient SYstem Simulation

CoDyBa : COde de simulation DYnamique de BATiments.

Fla : Flux lumineux de lampes.

TRI : Temps de Retour sur Investissement.

E : Eclaircement.

Sommaire

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME	iii
ABSTRACT	iii
ABREVIATIONS	iv
LISTE DES TABLEAUX	3
LISTE DES FIGURES	4
I- INTRODUCTION GENERALE	5
I.1. Contexte	5
I.2. Problématique	5
I.3. Objectif	5
I.4- Présentation du Laboratoire : LESEE	6
II- Bibliographie	8
II.1. Confort thermique	8
II.1.1. Définition	8
II.1.2. Facteurs influant le confort thermique	8
II.1.3. Zone de confort dans les habitats à Ouagadougou	9
II.2. Comportement thermique de bâtiment	9
II.2.1. Transfert thermique dans le bâtiment	9
II.2.2. les apports thermiques	10
II.3. Synthèse des logiciels d'analyse du confort thermique et de la conception du bâtiment	14
II.3.1. CODYBA	14
II.3.2. TRNSYS	15
II.3.3. PLEIADES + COMFIE	15
II.3.4. DOE-2	16
II.3.5. ENERGY PLUS	16
II.3.6. DESIGNBUILDER	16
III- TEST DU LOGICIEL	18
III.1- Méthode du test	19
III.2- Résultats et discussion du test	19
IV- CARACTERISATION ET SIMULATION DU BATIMENT	21

III.1- Présentation du bâtiment NEWANGO _____	21
III.2- Hypothèses et données _____	22
III.3- Méthode de simulation _____	23
III.3.1- Les protections solaires _____	24
III.3.2- Dimensions des fenêtres _____	25
III.3.3- Types de vitrages _____	25
III.3.4 Principe du double mur avec trappe _____	27
V- Résultats et analyse _____	28
V.1- Protection _____	28
V.2- Dimensions des fenêtres _____	30
V.3- Type de vitrage _____	31
V.3- Double mur avec trappe _____	32
VI- CONCLUSIONS GENERALES _____	37
VII- RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES _____	38
VIII- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES _____	39
IX- ANNEXES _____	40

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1: l'année d'essai de référence</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 2: Compositions des parois.....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 3: Facteurs solaires de vitres.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 4: variation de dimension de fenêtre.....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 5: Economie de chaque orientation.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 6: simulation de type de vitrage sur la fenêtre Ouest.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 7: Calcul de nombre de lampes.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 8 : Economie et temps de retour sur investissement</i>	<i>36</i>

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Phénomènes physiques en jeu [6] _____	10
Figure 2 Types de Fenêtres [8] _____	11
Figure 3 Ecran horizontal et son indicateur d'ombre [8] _____	12
Figure 4 Ecran vertical 1 [8] _____	13
Figure 5 Indicateur d'ombre 2 [8] _____	13
Figure 6: Façade du bâtiment test _____	18
Figure 7: Plan du bâtiment test _____	18
Figure 8: Résultat mesurés et simulé _____	19
Figure 9 : Bâtiment NEWANGO _____	21
Figure 10 : Modèle réduit du bâtiment pour la simulation _____	23
Figure 11: Protections solaires _____	25
Figure 12: types de vitrages et solarimètre _____	26
Figure 13: Double mur avec trappe _____	27
Figure 14: Masque sur le diagramme solaire de Ouagadougou _____	28
Figure 15: Impact de la protection sur la fenêtre Sud _____	29
Figure 16: impact de la descente de la protection _____	29
Figure 17: Températures extérieure et entre les deux murs _____	33
Figure 18: Amortissement des températures intérieures du double et simple mur _____	34
Figure 19: Amortissement de la paille par rapport au double mur _____	35
Figure 20: Economie d'energie du double mur et du mur isolé _____	35

I- INTRODUCTION GENERALE

I.1. Contexte

La raréfaction de l'énergie fossile est aujourd'hui plus que jamais d'actualité mais à ce phénomène il faut ajouter les changements climatiques de ces dernières décennies alarmant la communauté scientifique qui appelle à une modification des comportements de la population. De ce fait, le prix du kWh électrique ne cesse de s'accroître au Burkina Faso et dans d'autres pays d'Afrique. Parallèlement les besoins en climatisation augmentent. Les niveaux de factures électriques dues à la climatisation sont tels que plusieurs institutions sont amenées à réglementer l'utilisation de la climatisation de leurs locaux. Récemment, l'Etat Burkinabé a décidé de mener une lutte pour la réduction de la consommation d'électricité due à la climatisation. Dans la plupart des pays africains chauds, la tendance est la même. Les frais de consommation électrique dus à la climatisation ne sont plus supportables ni par les sociétés ni par les Etats. C'est la raison pour laquelle un effort doit être fait dans la conception des bâtiments dans le but de réduire leur facture énergétique. On y arrive par une bonne conception du bâtiment pour atteindre le confort thermique à moindre coût par une optimisation des puissances de climatisation.

I.2. Problématique

Le Burkina Faso est un pays à climat tropical sec et chaud donc les besoins en climatisation sont élevés, ce qui fait augmenter la demande en électricité. Cependant, cette demande n'est pas couverte totalement par la production pendant ce temps. Pour le secteur du BTP, très énergivore avec 60 % à 75 % de la consommation d'énergie [1]. Il est primordial que les concepteurs tiennent en compte cette problématique et construisent des bâtiments qui continuent à assurer d'abri et de confort de l'utilisateur, mais devra, de plus, faire en sorte que l'impact du bâtiment sur l'environnement soit minimisé.

I.3. Objectif

Ce travail se fait dans le cadre de la construction d'un bâtiment bioclimatique dénommé NEWANGO situé dans la zone du projet ZACA. L'objectif visé par cette étude est l'économie d'énergie en utilisant des outils de simulations pour caractériser un bâtiment mono zone afin d'évaluer et minimiser l'impact de différentes parties du bâtiment sur le besoin en climatisation telles que :

- ✓ Les protections solaires ;
- ✓ Les fenêtres et les vitrages ;
- ✓ Les murs.

Ce document sera une aide à la prise de décision pour la construction du bâtiment NEWANGO. Pour ce faire, ce travail s'articule en deux grands points:

- 1- Une étude bibliographique sur le confort thermique au Burkina, les thermiques du bâtiment et les logiciels de simulation existants ;
- 2- Caractérisation d'un bâtiment mono zone.

I.4- Présentation du Laboratoire : LESEE

Notre stage de fin d'étude s'est déroulé au laboratoire Énergie Solaire et Économie d'Énergie (**LESEE**) de l'Unité Thématique d'Enseignement et de Recherche Génie Energétique et Industrielle (UTER GEI) du 2iE de Ouagadougou.

Les activités du laboratoire peuvent se regrouper en trois principaux axes à savoir :

❖ Étude des centrales solaire à concentration

- Élaboration de base de données et des cartes de DNI (ensoleillement direct) en Afrique,
- Élaboration des cartes des besoins en énergie pour l'Afrique (au sud du Sahara),
- Test des composants des centrales solaires à concentration (héliostats, miroirs de Fresnel, boucles thermiques),
- Conception optimale de nouveaux modèles de centrales solaires thermodynamiques (couplage & hybridation solaire/biomasse).

❖ Habitat, architecture bioclimatique et Systèmes solaire PV/thermique (basse température)

- Conception des habitats bioclimatiques (économiques en énergie),
- Intégration fonctionnelle et architecturale des systèmes solaires PVet thermique dans les habitats,
- Pompage photovoltaïque,
- Production d'énergie photovoltaïque à grande échelle: Procédé hybride Solaire PV/Diesel, Couplage au réseau/ Production électrique décentralisée.

❖ Conception optimale et optimisation thermodynamique des systèmes énergétiques

- Optimisation thermodynamique des procédés énergétiques,
- Conception optimale des procédés en utilisant des outils thermodynamiques couplés aux approches géométriques multi-échelle.

Notre travail s'inscrit dans le deuxième axe qui traite de l'architecture bioclimatique dans le but de faire de l'économie d'énergie.

Pour atteindre ses objectifs, le LESEE dispose des partenaires scientifiques et des entreprises :

- ✓ Kwame Nkrumah University of Science and Technology- Ghana,
- ✓ PROMES-CNRS- Université de Perpignan- France,
- ✓ INES/CEA- France,
- ✓ LOCIE-Université de Savoie- France,
- ✓ John Research Center- ISPRA- Italie,
- ✓ Duke University- USA,
- ✓ MicroSow- Burkina Faso,
- ✓ PPI- Burkina Faso.

Le laboratoire actuellement dirigé par Dr Yao AZOUMAH est composé d'une équipe de :

- + trois enseignants chercheurs,
- + quatre doctorants,
- + quatre ingénieurs de recherche,
- + un technicien de laboratoire,
- + Plusieurs professeurs associés.

II- Bibliographie

Dans cette partie, nous allons dans un premier temps faire la synthèse de ce qui a été fait sur le confort thermique en zone tropicale (Ouagadougou), puis présenter le comportement thermique du bâtiment et en fin lister les logiciels d'analyse du confort thermique et de la conception du bâtiment. Ce dernier point nous permettra de choisir un logiciel pour faire des simulations de notre bâtiment.

II.1. Confort thermique

II.1.1. Définition

Le confort thermique peut se définir comme la satisfaction exprimée par un individu à l'égard de l'ambiance thermique du milieu dans lequel il évolue. Ainsi, pour être en situation de confort thermique une personne ne doit avoir ni trop chaud, ni trop froid et ne ressentir aucun courant d'air gênant. Il y a donc une part personnelle dans l'appréciation du confort thermique, liée en particulier au métabolisme de chacun. Dans une même ambiance quelqu'un pourra se sentir bien (sensation de confort) alors qu'une autre personne pourra éprouver une certaine gêne (sensation d'inconfort).

II.1.2. Facteurs influant le confort thermique

En général, on distingue deux facteurs qui influencent le confort thermique :

✓ **Les facteurs subjectifs :**

- Le métabolisme ;
- L'habillement, par sa résistance (R_v)...

✓ **Les facteurs objectifs :**

- Température de l'air : T_a
- Température radiante moyenne (moyenne de la température des parois) : T_r
- Humidité relative de l'air : H_r
- Vitesse relative de l'air : v_a

Le résultat des travaux de Y. Jannot et de T. Djiako a montré que les paramètres les plus influant sur le confort sont :

- La température de l'air en limitant les apports de chaleur à travers les murs et le toit des habitations ;

- Et la température radiante moyenne en isolant le plafond qui est un véritable radiateur en période chaude [2].

II.1.3. Zone de confort dans les habitats à Ouagadougou

A Ouagadougou, des études ont été faites pour déterminer la zoner de confort thermique dans l'habitation. En effet, **LAWSON** a déterminé une zone de confort qui a une plage de température de [28°C; 35°C], une humidité relative comprise entre 30% et 68% [3]. Par contre, **MINANE J.** a déterminé une plage de température comprise entre [26°C ; 29°C], une humidité relative entre 31-33.2% et avec une vitesse de vent comprise entre 0.1 et 0.2 m/s [4]. Nous allons se référer dans la suite de notre travail à la zone de confort thermique déterminé par MINANE J. car il a tenu compte de la norme **ISO 7730**.

II.2. Comportement thermique de bâtiment

Les bâtiments sont conçus pour jouer un rôle de filtre thermique permettant de recréer un microclimat intérieur indépendant des fluctuations météorologiques extérieures. La forme, l'orientation, l'agencement et la composition des éléments constitutifs déterminent les caractéristiques de ce filtre. Les ambiances intérieures ne répondant pas toujours aux exigences de confort des occupants, la réponse du bâtiment est corrigée par des appareils de climatisation agissant comme des sources contrôlées de chaleur ou de froid, et ayant parfois un effet sur les taux d'humidité [5]. Nous allons identifier dans la suite les paramètres influant sur le comportement thermique du bâtiment.

II.2.1. Transfert thermique dans le bâtiment

Le comportement thermique d'un bâtiment est complexe et dépend des sollicitations auxquelles il est soumis. Un bâtiment est composé d'éléments liés entre eux et les transferts thermiques se font simultanément par :

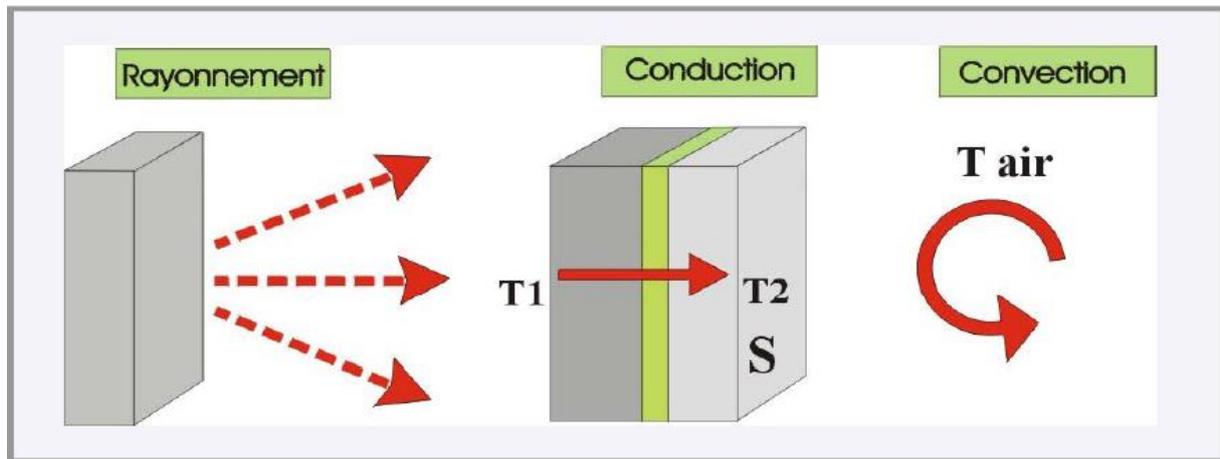


Figure 1 Phénomènes physiques en jeu [6]

- **Conduction :**

$$\phi = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{Loi de } \mathbf{Fourier})$$

Avec : λ : la conductivité thermique du milieu (W/m/K) ou (W/m/°C)

ϕ : Densité de flux (W/m²)

- **convection :**

$$\phi = h(T_2 - T_{air}) \quad (\text{Loi de } \mathbf{Newton})$$

Avec : h : coefficient de transfert par convection (W/m²/°C) ;

T₂ : Température de la paroi (°C) ;

T_{air} : Température du fluide (°C).

- **rayonnement :** $M = \sigma S T^4$ (loi de **Stefan-Boltzmann**)

Avec : $\sigma = 5,675 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{T}^4$, constante de Stefan-Boltzmann ;

S: section du corps noir, en m² ;

T : température du corps, en K

La capacité d'un édifice à emmagasiner ou à libérer de la chaleur est liée à son volume (et sa masse) alors que le taux auquel il gagne ou perd cette chaleur l'est à sa surface. Le rapport surface-volume détermine donc la cadence à la quelle l'édifice se réchauffe durant le jour et se refroidit au cours de la nuit. [7]

II.2.2. les apports thermiques

Dans cette partie, il est question de montrer l'incidence de certains paramètres sur le comportement thermique du bâtiment tels que :

- la température de l'air extérieur ;
- les flux solaires ;
- type de matériaux pour les constructions ;
- les divers flux de chaleur qui règnent à l'intérieur ;
- l'orientation du bâtiment.

Les caractéristiques des matériaux, la ventilation, l'orientation et la morphologie sont autant de leviers qui permettent au concepteur de créer un outil à vivre (ou à travailler) qui apporte le bien-être et le confort thermique à ses occupants.

Il s'agit de mettre en œuvre des moyens pour que le confort thermique soit le moins dégradé possible et que la consommation en énergie soit économe.

a- Apports solaires par les baies

En période d'ensoleillement la quantité d'énergie solaire transmise au travers de vitrages peut entraîner par effet de serre (fig.2.a), des surchauffes inadmissibles pour le confort des occupants. Dans le cas de locaux climatisés, la présence de protections solaires efficaces doit permettre une diminution notable de la quantité de froid à produire (fig.2.b). Pour réduire ces impacts il faut:

- diminuer la surface des baies,
- adapter l'orientation des baies,
- améliorer le facteur solaire du vitrage,
- intégrer des ombrages ou des écrans mobiles, tout en conservant une transmission lumineuse des vitrages suffisante. [8]

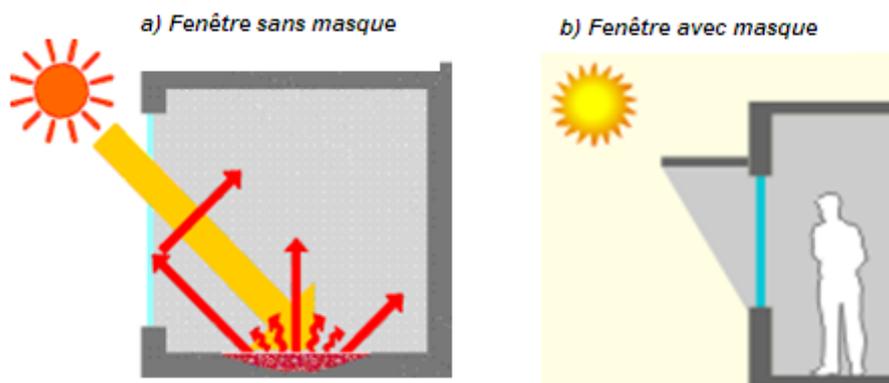


Figure 2 Types de Fenêtres [8]

➤ **Profil d'ombre d'un écran horizontal**

Pour dessiner le profil d'ombre d'une fenêtre équipée d'un écran horizontal, il faut commencer par déterminer les angles a, b et c. L'angle "a" représente un ombrage de la fenêtre de 100 %, l'angle "b" un ombrage de 50 % et l'angle "c" un ombrage nul. Ensuite, il convient de repérer les trois lignes d'ombre relatives aux angles "a", "b" et "c" sur l'indicateur d'occultation. [8]

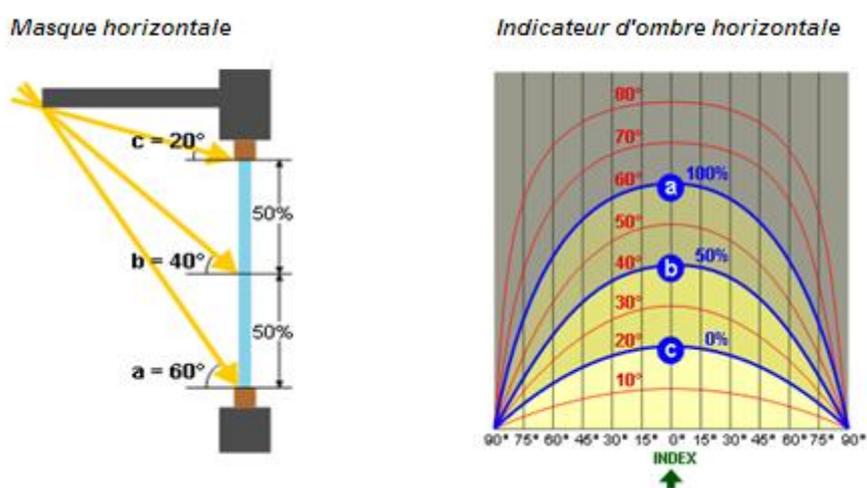


Figure 3 Ecran horizontal et son indicateur d'ombre [8]

➤ **Profil d'ombre d'un écran vertical**

Il existe deux types fondamentaux de pare-soleil vertical : les avancées perpendiculaires à la façade et celles qui lui sont obliques. Premièrement, on détermine les angles "a" et "b". Ceux-ci correspondent à l'occultation complète de la baie. Ensuite, il faut déterminer les angles "c" et "d" qui représentent une occultation à 50 % et enfin les angles "e" et "f" pour une occultation nulle. On trace alors les lignes verticales relatives aux angles "a", "b", "c", "d", "e", "f" à partir de la base de l'indicateur d'ombre. [8]

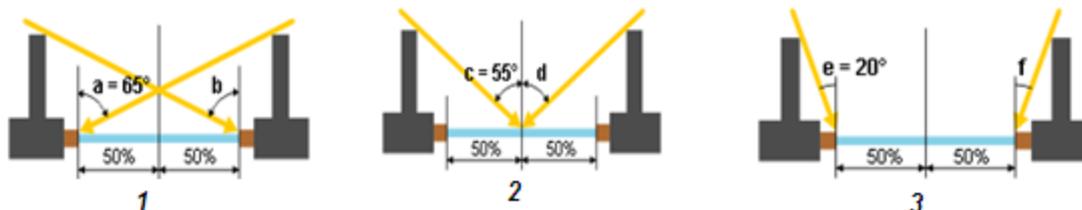


Figure 4 Ecran vertical 1 [8]

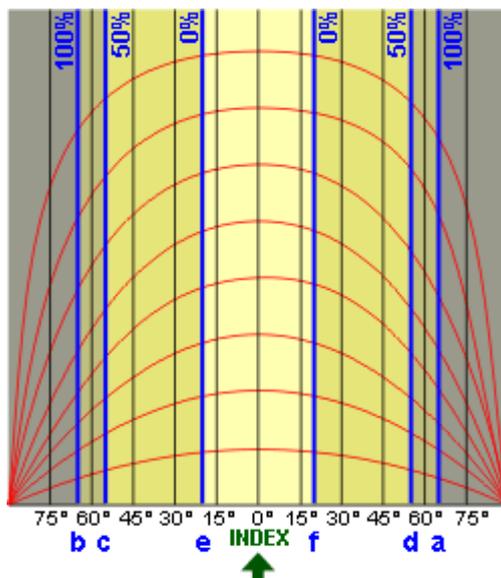


Figure 5 Indicateur d'ombre 2 [8]

➤ Vitrage

De nombreux facteurs influencent les flux d'énergie qui traversent une paroi vitrée: la conception architecturale, l'albédo du sol, les menuiseries, etc. Mais, les principales différences entre des fenêtres avec les mêmes dimensions dans le même climat sont dues à leur orientation et surtout à la nature du vitrage. Elle est caractérisée par son facteur solaire (FS), son facteur lumineux (TL) et son facteur thermique (U). Pour assurer le confort thermique et visuel il faut jouer sur les trois (3) paramètres caractéristiques. Pour ce faire, on applique des couches sur le vitrage, double les vitres, place des stores ou des rideaux.

b- Apports de chaleur par les parois

Le rayonnement solaire frappe la surface de la toiture et les parois de bâtiments. Celles-ci s'échauffent progressivement. La chaleur ainsi accumulée est alors réémise en partie à l'intérieur du bâtiment, en partie à l'extérieur. Les matériaux lourds de la construction tels que béton, brique, pierre, etc. ont une grande capacité à stocker de la chaleur. Le rayonnement

solaire irradiant une paroi de brique ou de béton est, en partie, absorbé par celui-ci, transformé en chaleur et accumulé en son sein. Pour atténuer ces apports, on joue sur plusieurs paramètres tels que :

- les matériaux de construction ;
- l'isolation des parois ;
- forme de la toiture ;
- l'inertie des parois ;
- etc.

II.3. Synthèse des logiciels d'analyse du confort thermique et de la conception du bâtiment

De nos jours, il existe plusieurs logiciels qui analysent le confort thermique dans le bâtiment, mais nous allons énumérer ceux qui sont beaucoup utilisés et retenir le mieux adapté au contexte climatique de Ouagadougou.

II.3.1. CODYBA

CoDyBa est un logiciel utilisé pour analyser en dynamique les performances thermiques et hydriques d'un bâtiment lorsque celui-ci est soumis à des conditions climatiques variées. Cet outil 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 **CoDyBa** est la prédiction de la consommation d'énergie, et de l'amplitude de variation de la température et de l'humidité. [9]

Il 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). Avec l'interface, l'utilisateur peut ajouter à son modèle de bâtiment des charges internes et des éléments de régulation, et réaliser ensuite des calculs thermiques. [9]

Public cible : Ingénieurs, chercheurs, architectes, consultants HQE (bureaux d'études ou d'architecture, services, fabricants) [9]. C'est un produit commercial pour les bâtiments multizones et gratuit pour les bâtiments mono zone.

Il est compatible avec Windows 95 à XP, un processeur Pentium avec 20 Mo de RAM est recommandé. [9]

II.3.2. TRNSYS

TRNSYS est un logiciel de simulation numérique du comportement thermique des bâtiments et de leurs équipements développé par **CSTB**, TRNSYS est particulièrement utile pour étudier avec précision des systèmes dont le comportement thermique varie fort dans le temps. TRNSYS permet, par exemple, de calculer avec précision les consommations énergétiques, d'évaluer les performances thermiques de systèmes très divers, d'effectuer des analyses de sensibilité en vue d'optimiser la conception d'un système énergétique, etc. Il possède une bibliothèque standard d'environ 50 composants (modèles génériques de bâtiments, de pompes à chaleur, de composants de réseaux hydrauliques, etc.) mais tout utilisateur ayant des connaissances en FORTRAN a la possibilité de créer ses propres bibliothèques de modèles.

Public cible : Chercheurs, ingénieurs, professeurs, spécialistes de la thermique du bâtiment et des systèmes de chauffage ou de climatisation. [10]

Logiciel nécessite une mémoire vive de 640 Ko. Il peut être porté sur différentes configurations matérielles (exemples: Macintosh sous OS/mac, stations de travail sous UNIX, DECVAX sous VMS, etc.) [10].

II.3.3. PLEIADES + COMFIE

Ce logiciel est le produit de la collaboration entre IZUBA énergies et le Centre d'énergétique de l'école des Mines de Paris. L'ensemble du logiciel PLEIADES + COMFIE permet la conception de projets bioclimatiques en régime dynamique, l'analyse des performances et des ambiances, la formation et l'enseignement sur le comportement thermique de l'habitat. PLEIADES + COMFIE est particulièrement adapté à la conception solaire bioclimatique et l'étude de bâtiments où la qualité thermique et environnementale des ambiances doit être particulièrement prise en compte.

PLEIADES + COMFIE intègre plusieurs bibliothèques de données thermiques sur les matériaux et les éléments constructifs, les menuiseries, les états de surface, les albédos et les écrans végétaux. Le logiciel comprend aussi des bibliothèques de modes de gestion du bâtiment étudié selon un scénario horaire pour une semaine-type (occupation, apports internes, températures de consigne de chauffage ou de climatisation, gestion des occultations). L'interface PLEIADES, par sa rapidité et son apprentissage intuitif, permet enfin aux architectes de pouvoir calculer un projet bioclimatique dès la phase d'esquisse et d'avant-projet. Il est également adapté aux calculs thermiques des bureaux d'études ou des chercheurs en phase de conception, de dimensionnement ou de contrôle des ambiances. Il fonctionne sur ordinateur de type PC équipé de Windows XP, Vista ou Windows7 [11].

Configuration minimale : Processeur 1 GHz avec 512 Mo de mémoire vive sous XP [11].

Configuration recommandée : processeur multi core 2.4 GHz avec 2 Go de RAM sous XP [11].

Ce logiciel n'est pas adapté en zone tropicale humide et il est déconseillé de faire une simulation d'un bâtiment à côté d'une piscine [11].

II.3.4. DOE-2

DOE-2 est un programme d'analyse énergétique du bâtiment. Il utilise une description de l'aménagement du bâtiment, constructions, l'utilisation des systèmes de climatisation (éclairage, climatisation, etc.). L'utilisateur peut fournir des taux d'utilitaires, ainsi que les conditions météo, les données pour effectuer une simulation horaire de la construction.

Configuration minimale : Processeur 1 GHz avec 512 Mo de mémoire vive sous XP [12].

Public cible : Chercheurs, ingénieurs, professeurs, spécialistes de la thermique du bâtiment.

II.3.5. ENERGY PLUS

EnergyPlus est un programme de simulation conçu pour la modélisation des bâtiments avec tous leurs systèmes de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de ventilation, et les flux d'énergie. Il calcule le chauffage et les charges de refroidissement nécessaire pour maintenir les consignes de régulation thermique, les conditions de tout un système de CVC et la consommation d'énergie primaire. Bon nombre des caractéristiques de simulation ont été héritées de programmes BLAST et DOE-2. C'est un programme qui nécessite une interface d'entrée telle que : DesignBuilder, Easy EnergyPlus ou Google SketchUp... [13].

Public cible : concepteur ou architecte, Chercheurs, ingénieurs.

Configuration minimale : Processeur 1 GHz avec 512 Mo de mémoire vive sous XP.

Son défaut, EnergyPlus nécessite plusieurs paramètres dans la base des données météo. D'où sa complexité de l'utiliser en Afrique où les données manquent. Par contre, il existe un forum d'utilisateurs qui peuvent générer ces données, mais sa fiabilité reste à vérifier.

II.3.6. DESIGNBUILDER

DesignBuilder allie rapidité de modélisation d'un bâtiment à l'état de l'art de la simulation thermique dynamique. DesignBuilder est édité par DesignBuilder Software Limited.

C'est une interface graphique offrant de nombreuses fonctionnalités non disponibles simultanément dans les logiciels existants [14]:

- Calcul des déperditions/gains thermiques de l'enveloppe en hiver/été
- Dimensionnement du rafraîchissement par ventilation naturelle et/ou climatisation
- Simulation dynamique restituant des données de confort, de bilan thermique, ventilation, etc.
- Construction en 3D réaliste avec vue des ombres portées
- Modeleur du bâtiment incluant des assistants de création de fenêtre, composition de la construction, détection automatique du type de paroi qui vous évite de nombreuses saisies ou dessin
- Economie d'énergie : free-cooling, récupérateur d'énergie sur air extrait, ventilation nocturne, gradation de l'éclairage selon la luminosité, régulation des températures d'air soufflé selon la demande, volume d'air variable ... déjà disponible en quelques clics.
- Plusieurs centaines de matériaux et exemples sont livrés en français avec le Pack Français
- Module CFD disponible pour le même dessin de bâtiment et incluant une passerelle d'initialisation des conditions aux limites directe depuis la simulation dynamique
- Importation de bâtiments dessinés en 3D sous un outil CAD compatible gbXML.

Une simulation basée sur le moteur EnergyPlus. Plus de 4400 sites météo sont disponibles dans le monde. Calculs à pas horaire ou moindre, système CVC, occupation, apports thermiques pilotés par planning, modélisation des flux d'air par ouvertures externes et internes, définition des consignes de confort thermiques ... [14]. Comme il utilise base de simulation EnergyPlus, les données météos font défauts en Afrique.

Pour notre étude, nous allons utiliser PLEADES + COMFIE qui est à notre disposition.

III- TEST DU LOGICIEL

Pour se fier aux résultats et utiliser le logiciel PLEADES + COMFIE, nous avons caractérisé un bâtiment mono zone sur le site de 2ie à Ouagadougou dont le plan et les caractéristiques sont ci-dessous :



Figure 6: Façade du bâtiment test

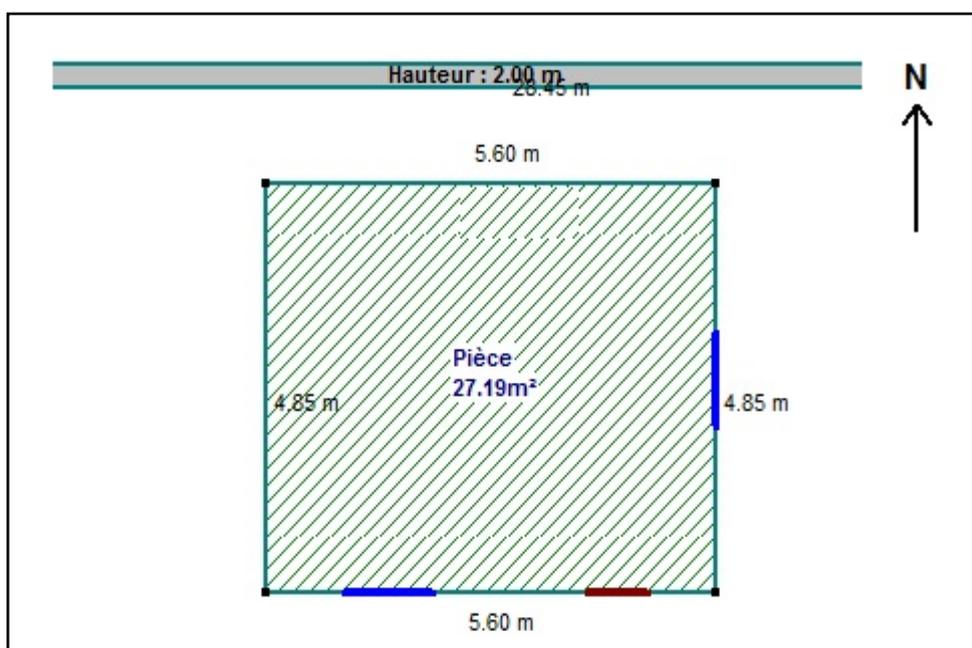


Figure 7: Plan du bâtiment test

Le bâtiment est construit en parpaing et couvert des enduits intérieur et extérieur. Le toit est en tôle et isolé avec de la laine de verre de 5cm. La façade principale fait face Sud.

III.1- Méthode du test

Dans un premier temps, nous avons placé des sondes du thermocouple pour enregistrer les températures intérieures et extérieures du local test. Le thermocouple enregistre chaque dix secondes les valeurs ; cet enregistrement a duré 63 heures.

En suite, la température extérieure mesurée et les rayonnements collectés à la station météorologique du 2ie à Kamboinsé correspondant à ce temps ont été insérés dans le logiciel pour la simulation.

La comparaison est faite entre la température intérieure mesurée et la température intérieure simulée par le logiciel.

III.2- Résultats et discussion du test

Les résultats mesurés et simulés sont présentés sur le graphe ci-dessous pour deux jours et demi :

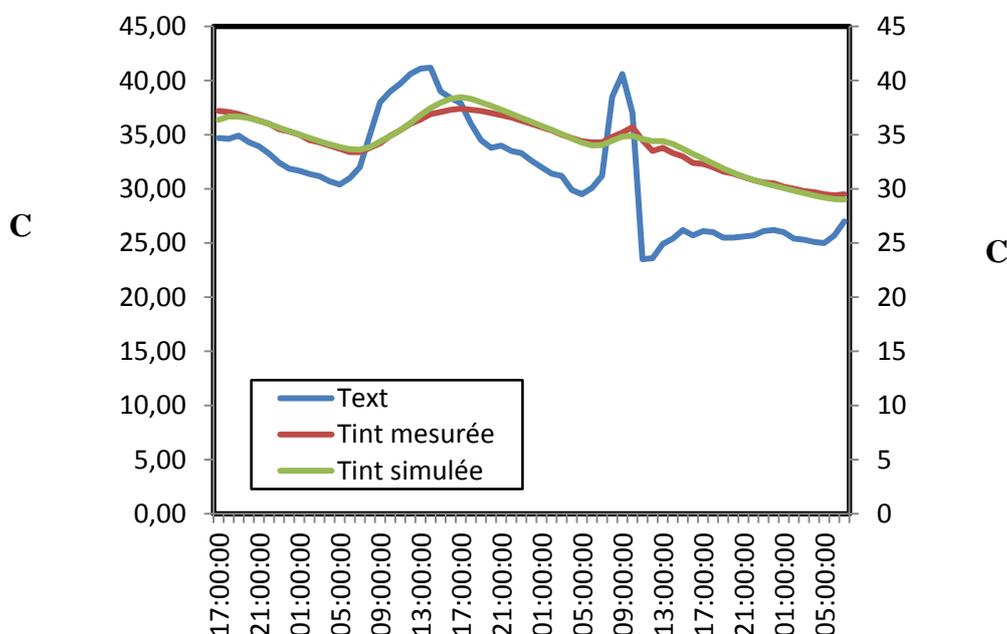


Figure 8: Résultat mesurés et simulé

La courbe en bleu est celle la température extérieure. Nous remarquons que les courbes de température intérieure mesurée et simulée sont presque confondues.

Cependant, on constate quelques différences qui sont dues au temps qu'il a fait à Ouagadougou et Kamboinsé. En effet, il a beaucoup plu à Ouagadougou lors de mesures contrairement à Kamboinsé, cela peut jouer sur les rayonnements car ceux de Ouagadougou seront un peu différents de Kamboinsé.

A partir de ces résultats nous pouvons nous rassurer sur la fiabilité des données simulée du logiciel. Donc nous pouvons l'appliquer par la suite pour notre étude.

IV- CARACTERISATION ET SIMULATION DU BATIMENT

Dans cette partie sera présentée la caractérisation du bâtiment mono zone avec les configurations de l'immeuble NEWANGO en simulant l'impact de la protection solaire, les fenêtres, les vitrages et le double mur.

III.1- Présentation du bâtiment NEWANGO

Le bâtiment NEWANGO est un immeuble de type R+7 avec deux niveaux de sous sols qui sera construit dans la zone commerciale du projet ZACA à Ouagadougou (Burkina Faso). Il sera constitué des bureaux et des boutiques. Le rez-de-chaussée constituera des boutiques tandis que les restes de niveaux seront des bureaux ou utilisés en d'autres usages.

L'objectif visé par ce bâtiment bioclimatique est de climatiser le moins de temps possible (2 mois sur 12). Pour ce faire, Le septième niveau sera construit en double mur et les restes de niveaux seront en double mur en cas de demande. Le bâtiment sera équipé d'une toiture en jardin.

NEWANGO est situé entre deux immeubles de R+7 du côté Est et Ouest et la façade principale fait face au Sud. La figure ci-dessous montre les faces sud et nord de l'immeuble.

a) Face Sud



b) Face Nord



Figure 9 : Bâtiment NEWANGO

Contraintes imposées par le propriétaire :

- ✓ l'orientation du bâtiment ;
- ✓ les dimensions du bâtiment ;
- ✓ les protections solaires.

III.2- Hypothèses et données

La première étape afin de simuler l'impact des vitrages, des protections solaire et l'évolution de la température dans notre bâtiment est de recueillir des données météorologiques. Aucun logiciel à notre connaissance ne possède dans sa base de données la météo de Ouagadougou. En effet la simulation thermique du bâtiment est très méconnu, voir inconnu dans la capitale du Burkina Faso.

Le logiciel Pléiades Comfie, que nous avons utilisé pour l'étude de notre bâtiment utilise les données météo d'une année d'essai de référence (TRY). Une année d'essais de référence est élaboré en sélectionnant la météo des différents mois de l'année sur une période d'au moins dix ans. Un poids est attribué à chaque paramètre météorologique (température, rayonnement, humidité). Puis on sélectionne les mois dont la moyenne mensuelle est la plus proche de la moyenne du même mois sur 10 ans. Il est extrêmement difficile des trouver au Burkina des données sur une telle période, cependant nous avons eu la chance d'en obtenir. Nous avons utilisé l'année d'essai de référence élaboré par *Emanuel O. [15]*. *Emanuel* a pu obtenir les températures recueillies pendant 15 ans (de 1992 à 2006) par la direction générale de l'aviation civile et de la météorologie (DGACM). Cette année à été élaboré en utilisant la méthode statistique d'élaboration d'année type du laboratoire Sandia.

Tableau 1: l'année d'essai de référence

Mois	Années sélectionnées
Janvier	1994
Février	1992
Mars	2003
Avril	2002
Mai	2001
Juin	1996
Juillet	1994
Août	2003
Septembre	2006
Octobre	1992
Novembre	2001
Décembre	1998

Dans un second temps, nous avons entré les donnée météo sur un fichier texte respectant le format accepter sur comfie pléiade, c'est-à-dire :

- ✓ Un identificateur de station de 3 caractères ;
- ✓ La température extérieure sèche (1/10 °C) en dixièmes de degrés sur 4 caractères ;
- ✓ Le rayonnement global horizontal (J/cm2) sur 4 caractères ;
- ✓ Le rayonnement diffus horizontal (J/cm2) sur 4 caractères ;
- ✓ Le numéro du mois sur 2 caractères (de 1 à 12) ;
- ✓ Le numéro du jour sur 2 caractères (de 1 à 31) ;
- ✓ Le numéro de l'heure sur 2 caractères (de 1 à 24) ;

III.3- Méthode de simulation

Les simulations portent sur l'influence des protections solaires, des baies vitrées et du double mur avec trappe. Les dimensions et l'orientation du bâtiment sont données initialement. Pour ce faire, un modèle réduit a été retenu afin de bien mesurer les impacts. Ce modèle réduit est un local mono zone avec les mêmes configurations de NEWANGO. Le local est climatisé avec une température de consigne de 27°C et ce sont les besoins en climatisation qui sont retenus comme base de comparaison. Les dimensions de ce local sont :

Hauteur : 3.5 m

Longueur : 7 m

Largeur : 7 m

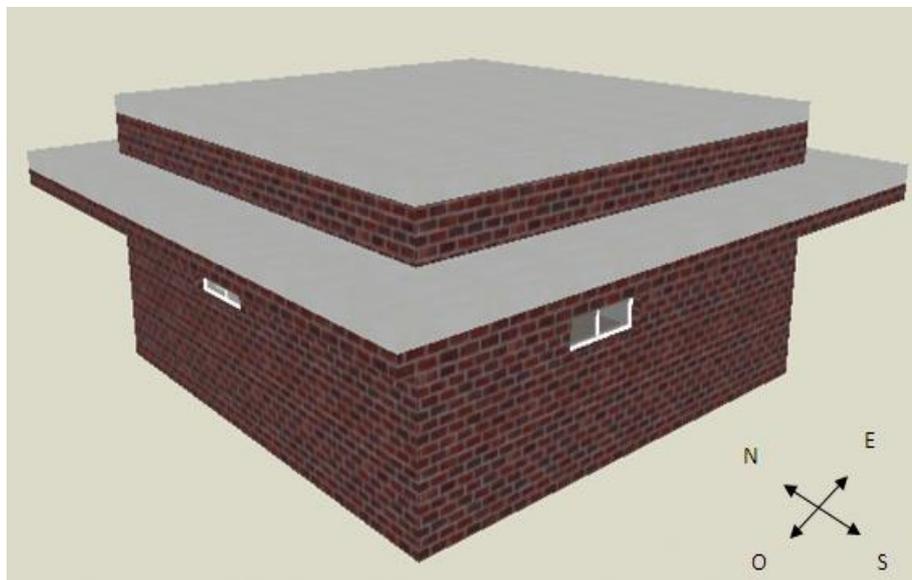


Figure 10 : Modèle réduit du bâtiment pour la simulation

La composition des parois pour les simulations de protections, fenêtres et vitrages sont dans le tableau suivant :

Tableau 2: Compositions des parois

composant	Epaisseur (cm)	Conductivité (W/m ² . K)	Resistance (m. K/W)
Enduit extérieur	1.5	1.15	0.01
Parpaing	20	1.05	0.19
Enduit intérieur	1.5	1.15	0.01

Afin de réduire les besoins en climatisation, la première étape est de réduire les apports solaires par les fenêtres. En effet 2 198 kWh/m²/an de rayonnement solaire arrivent sur une surface horizontale. Sur une surface verticale, le rayonnement est plus faible étant donné l'importante hauteur du soleil au Burkina :

- Surface sud : 1102 kWh/m²/an
- Surface ouest : 1334 kWh/m²/an
- Surface est : 1029 kWh/m²/an
- Surface nord : 762 kWh/m²/an

Au Burkina Faso, la face la plus réceptrice est la face ouest. Donc dans un bâtiment, les faces ouest et est doivent donc être de surface plus faible que celle du nord et du sud afin de réduire les apports.

Nous chercherons à les réduire grâce à quatre actions :

- Utiliser un masque solaire
- Dimensionner les fenêtres
- Choisir un vitrage approprié
- Double mur avec trappe

III.3.1- Les protections solaires

La première manière choisie afin de réduire les apports solaires est d'intégrer au bâtiment une casquette solaire. Nous offrons donc une nouvelle fonction aux balcons du bâtiment. Les dimensions de la protection sont les suivantes :

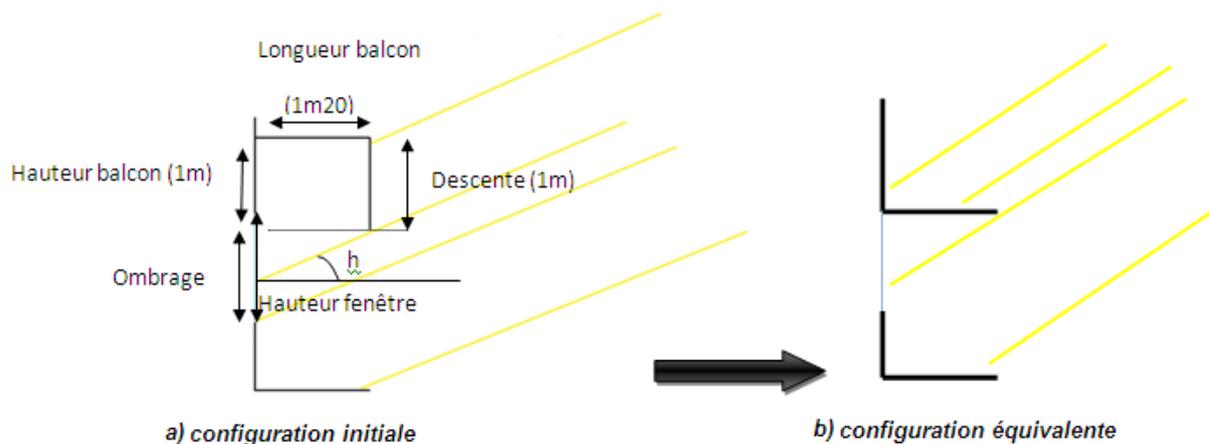


Figure 11: Protections solaires

L'impact de la protection solaire sur le rayonnement direct suit la formule suivant :

$$\text{Transmission (\%)} = \frac{\text{hauteur fenêtre} - \text{ombrage}}{\text{hauteur fenêtre}}$$

Nous avons cherché à mesurer l'impact de cette protection solaire. Etant donné que le dimensionnement actuel de cette protection, cette protection peut être approché par une protection équivalente : Un balcon de même longueur, mais dont la hauteur est nulle.

III.3.2- Dimensions des fenêtres

Les fenêtres sont initialement de type carré de 1.44 m² avec les dimensions suivantes:

Largeur : 1.2 m

Longueur : 1.2 m

Afin de quantifier l'impact de la forme de la fenêtre, nous avons fait varier ces paramètres sur le logiciel. La surface de la fenêtre reste 1.44m².

III.3.3- Types de vitrages

Afin de continuer l'optimisation des fenêtres, il est important de mesurer l'impact du type de vitrage sur les besoins de climatisation. Au Burkina Faso, les fabricants de fenêtre propose plusieurs types de vitrage :

- Le double vitrage clair ou teinté en bleu ou bronze
- Le simple vitrage clair teinté en bleu ou bronze

Cependant aucune des caractéristiques n'est disponible. Afin de mener notre étude en suivant la réalité locale, nous avons demandé des échantillons de vitrage aux plus grands fabricants de Ouagadougou (*HAGE*). Nous avons ensuite pu mesurer le facteur solaire normal de chaque vitrage. Le matériel présent au 2^{ie} ne nous a pas permis de mesurer le coefficient U, nous avons donc pris les valeurs de ce coefficient dans la littérature.

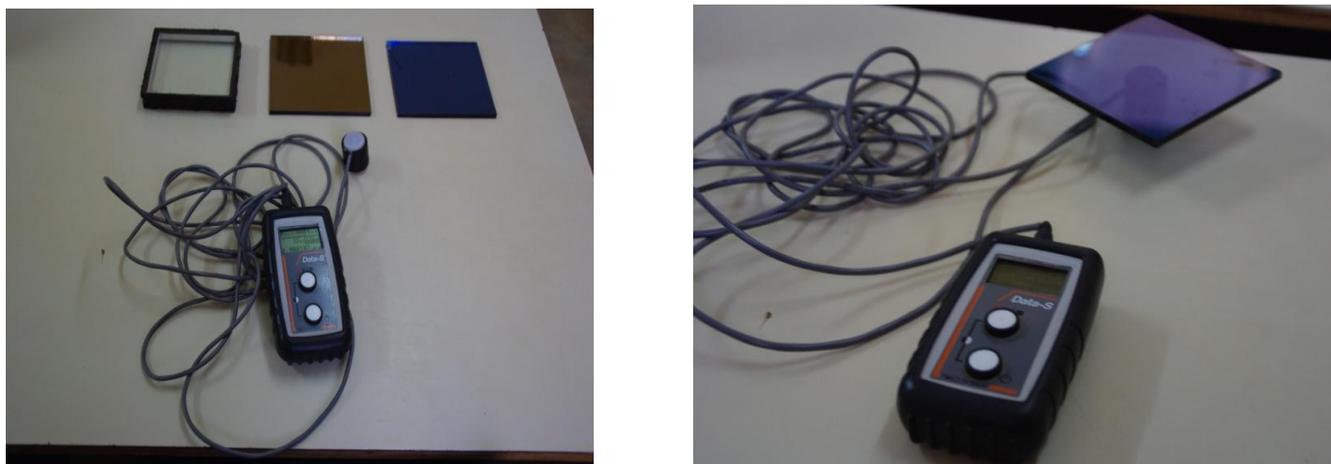


Figure 12: types de vitrages et solarimètre

En disposant le solarimètre sous le vitrage, nous mesurons le rayonnement entrant. Sans le vitrage nous mesurons le rayonnement incident. Le facteur solaire mesuré est donc le quotient des ces deux rayonnement. Nous avons effectué nos mesures en disposant le solarimètre de manière normal au soleil. Cela nous permet donc d'obtenir le facteur solaire normal.

Pour le fabricant *HAGE* nous obtenons les facteurs solaires suivants :

Tableau 3: Facteurs solaires de vitres

Type de vitrage fabricant HAGE	Facteur solaire
simple vitrage clair	0.9
double vitrage clair	0.68
simple vitrage bronze	0.4
simple vitrage bleu	0.3

III.3.4 Principe du double mur avec trappe

Le double mur est composé comme l'indique la figure ci-dessous :

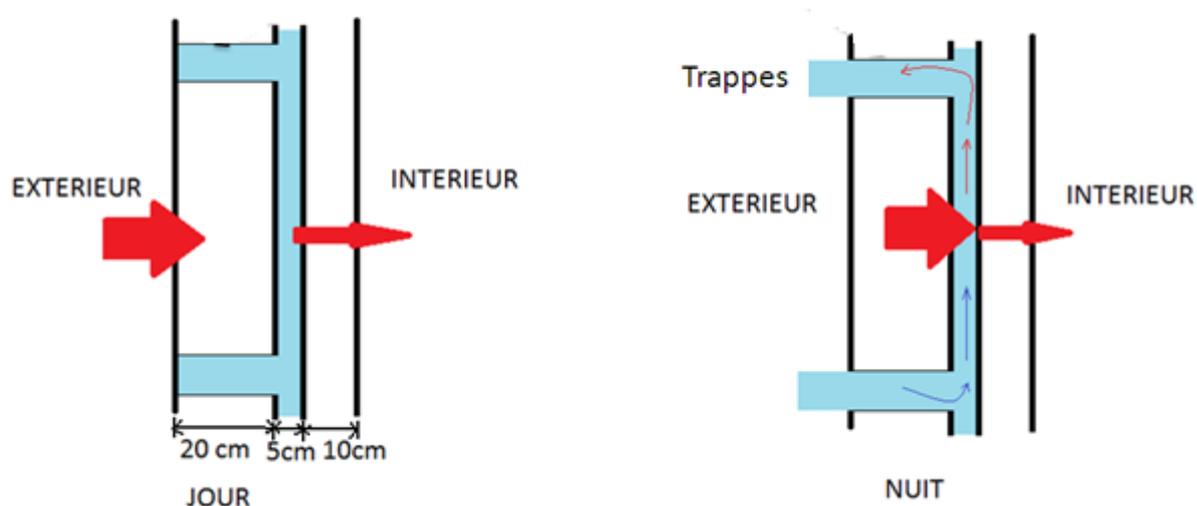


Figure 13: Double mur avec trappe

Le système utilise l'air comme isolant le jour, les trappes sont fermées et la nuit, on ouvre celles-ci pour évacuer l'air chaud stocké entre les deux murs.

V- Résultats et analyse

Dans cette partie, les résultats détaillés de simulations seront présentés et une analyse technico-économique sera faite afin de bien faire ressortir l'impact de chaque partie d'un bâtiment sur le besoin en climatisation. Il faut noter que le bâtiment est sans charge interne.

V.1- Protection

La protection empêche tous les rayons directs dont la hauteur est supérieure à 40°. Le diagramme solaire de la ville de Ouagadougou nous permet de voir à quel moment de la journée l'ensemble du rayonnement est bloqué sur une fenêtre sud :

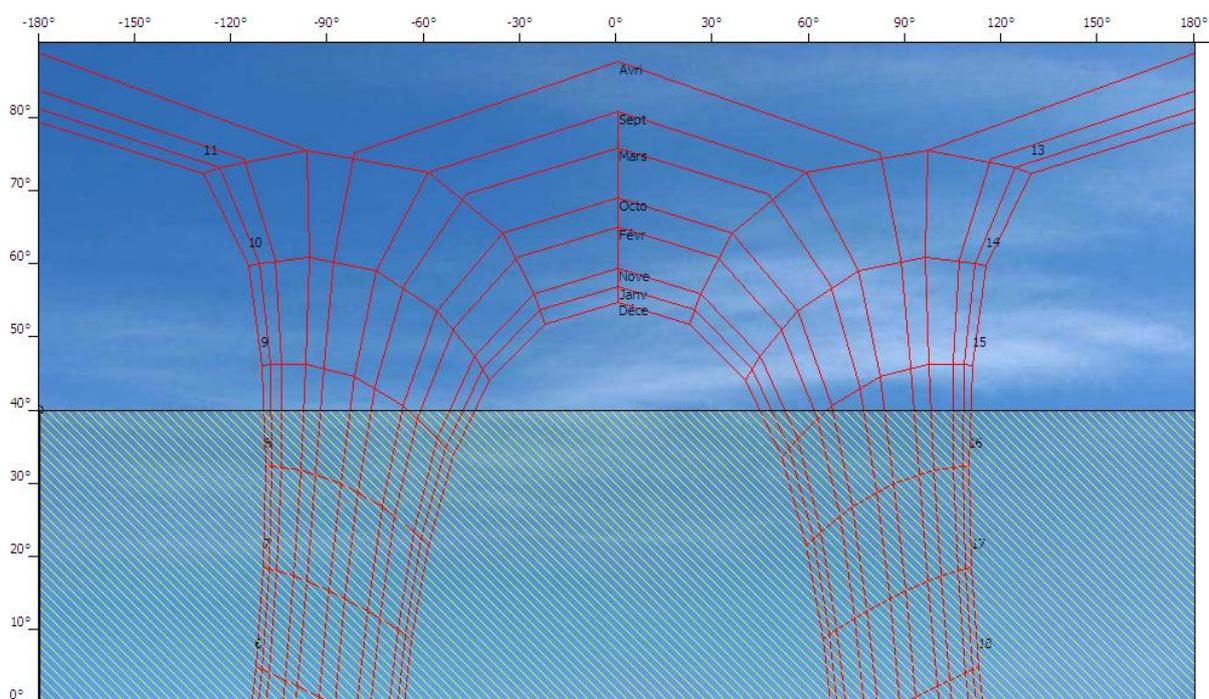


Figure 14: Masque sur le diagramme solaire de Ouagadougou

Dans un premier temps nous pouvons nous rendre compte que le soleil est dirigé au nord à partir de mai jusqu'à aout. Le mois où les rayons direct sont les moins arrêtés est le mois de décembre en effet le rayonnement direct n'est bloqué que de 9h30 à 14h30. Lors du mois d'avril, ce rayonnement est bloqué de 8h30 à 15h30.

Afin d'avoir une approche quantitative, nous avons simulé sur comfie pléiades, pour chaque fenêtre l'impact du masque :

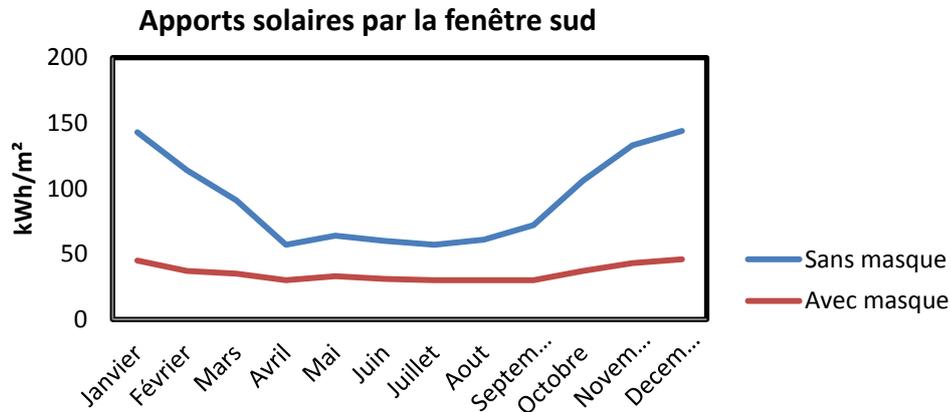


Figure 15: Impact de la protection sur la fenêtre Sud

Cette courbe montrant l'impact du masque sur les apports solaire pour la fenêtre Sud en comparant avec une fenêtre sans masque. L'impact est faible entre le mois d'avril et septembre car entre avril et septembre, le soleil étant tellement haut que le rayonnement direct sur une surface verticale orienté au sud est relativement faible.

Les courbes des simulations pour les fenêtres orientées au nord, ouest ou est se trouvent en annexe 1.

La longueur du balcon étant un paramètre fixe, nous avons fait varier la descente sur le logiciel :

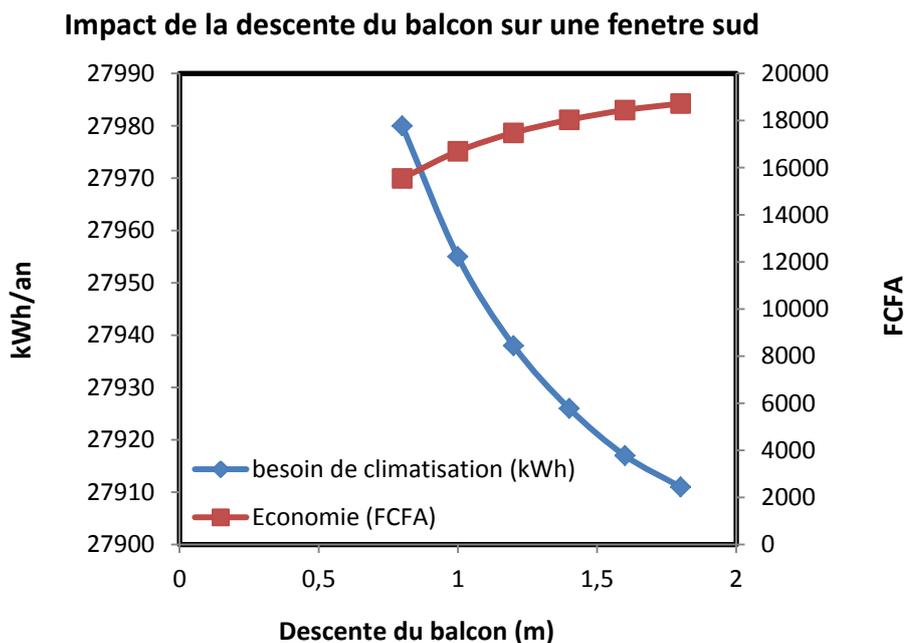


Figure 16: impact de la descente de la protection

Les économies en FCFA correspondent à l'écart entre le coût de la climatisation sans protection et avec une protection de longueur variant de 80 cm à 180 cm. le coefficient de performance de la climatisation retenu est égal à 2,5 et le prix du kWh est de 115 FCFA.

Les gains croient avec l'augmentation de la descente du balcon, opter pour une descente de 80cm nous permet déjà d'économiser 15548 FCFA de climatisation par fenêtre. Augmenter la descente de 80 cm à 120 cm permet d'économiser à nouveau 1932 FCFA de plus. Puis augmenter cette longueur jusqu'à 180 cm ne nous permet plus que d'économiser 1242 FCFA de plus. Cependant, cette descente occulte la visibilité vers l'extérieur.

Donc, la descente initiale de 120 cm nous semble intéressante puisqu'elle permet des économies de 17480 FCFA tout en restant dans les dimensions raisonnables.

V.2- Dimensions des fenêtres

Les dimensions de fenêtre initiales étant de 1.2 m x 1.2 m, nous avons fait varier ces dimensions afin de savoir l'impact. Les fenêtres sont simulées une à une. Les gains sont calculés comme indiqué dans la partie V.1. Les résultats de simulation sont dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4: variation de dimension de fenêtre

fenêtre ouest			
hauteur (cm)	largeur (cm)	besoin de climatisation (kWh/an)	gain (FCFA/an)
70	206	27945	3542
80	180	27961	2806
90	160	27976	2116
100	144	27991	1426
110	131	28007	690
120	120	28022	0

Une fenêtre plus large permettrait d'augmenter l'efficacité du masque solaire. Cela permettrait en outre d'augmenter les champs de vision vers l'extérieur et offrirais une vue panoramique plus agréable.

Plus la fenêtre est large et mince, plus les économies sont importantes. Cependant pour respecter les règles d'esthétique en architecture de la norme *NEUFERT* [16] ; nous limiterons la largeur de la fenêtre à 160 cm et la hauteur à 90 cm. Cela nous permet d'économiser 46kWh de climatisation soit 2116 FCFA par fenêtre ouest.

Tableau 5: Economie de chaque orientation

160 cm x 90 cm	Fenêtre sud	Fenêtre est	Fenêtre nord	Fenêtre ouest
Réduction de besoin en climatisation (kWh/an)	28	38	17	46
Gain (FCFA/an)	1288	1748	782	2216

Nous remarquons à nouveau que l'impact le plus important reste à l'ouest où le rayonnement entrant est le plus fort durant l'année. Les gains pour plusieurs fenêtres d'une orientation peuvent être obtenus par la somme des gains de chaque fenêtre sur l'orientation.

V.3- Type de vitrage

Le simple vitrage clair est retenu comme base de calcul pour les comparaisons. Le temps de retour sur investissement (TRI) est calculé sur la base de l'investissement supplémentaire sur simple vitrage clair. Les résultats de simulation de trois types de vitrage sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6: simulation de type de vitrage sur la fenêtre Ouest

Fenêtre Ouest (1m60x0.90m)	Facteur solaire	U vitrage (W/ m ² . K)	Prix (FCFA)	Besoin en climatisation (kWh/an)	Gains (FCFA/an)	TRI (an) / simple vitrage
Simple Vitrage clair 4	0.9	4.95	93600	27976	0	0
Double Vitrage clair 4-6-4	0.68	3.25	201600	27886	4140	26,1
Simple Vitrage bleu 4	0.4	4.95	95040	27824	6992	0,2
Simple Vitrage bronze 4	0.3	4.95	93600	27850	5796	0

Le vitrage qui semble le plus intéressant est le simple vitrage teinté en bleu. Il nous permet d'être rentabilisé rapidement et d'économiser 6992 FCFA par an.

Toutes ces étapes ont permis de réduire les apports solaires et par conséquent de réduire les besoins en climatisation. Cependant, l'usage de vitrage teinté nécessite de l'éclairage artificiel qui consomme aussi de l'énergie. En supposant deux cas :

1. On utilise de l'éclairage artificiel quelque soit le type de vitrage : dans ce cas, le simple vitrage teinté bleu est économique ;
2. Si on n'utilise pas de l'éclairage artificiel avec le double vitrage pour éclairer la pièce, alors le double vitrage est économique par rapport au simple vitrage teinté qui utilise de l'éclairage artificiel.

Pour calculer le nombre de lampes afin de déterminer l'énergie journalière consommée par les lampes on choisit de luminaire : DIAL 3BS 900-Leuchte, T26 36W, Fla = 3350 lm. En faisant un calcul simplifié, on a :

Tableau 7: Calcul de nombre de lampes

S (m ²)	Fla (lm)	η	E (lux = lm/m ²)	F (lm) = S x E	N (lampe) = F / (Fla x η)	P (kW)	tps (h/j)	Energie (kWh/j)
49	3350	0,9	300	14700	5	0,045	8	1,8

Energie annuelle = 1.8 x 365 = **657 kWh/an** soit une augmentation du besoin en climatisation de **643 kWh/an** (simulation).

Donc le double vitrage est économique si on n'allume pas les lampes par rapport au vitrage teinté.

V.3- Double mur avec trappe

La simulation du double mur a été faite avec le logiciel comfie pléiades. Pour cela, il a été considéré l'espace entre les deux murs comme une pièce à part. Cela permet donc d'indiquer un taux de renouvellement d'air différent pour l'espace entre les deux murs et la pièce intérieure. Pour la pièce intérieure, un taux de renouvellement d'air de 1 volume par heure est maintenu. Pendant la journée, Il n'ya pas de ventilation entre les deux murs. Cependant la nuit de 18h à 9h du matin il est fixé une ventilation de 40 volumes heure, ce qui correspond à un débit de 162m³/h. Cette valeur volontairement fortement majoré, permet de mettre en évidence la trop faible ventilation de ce double mur.

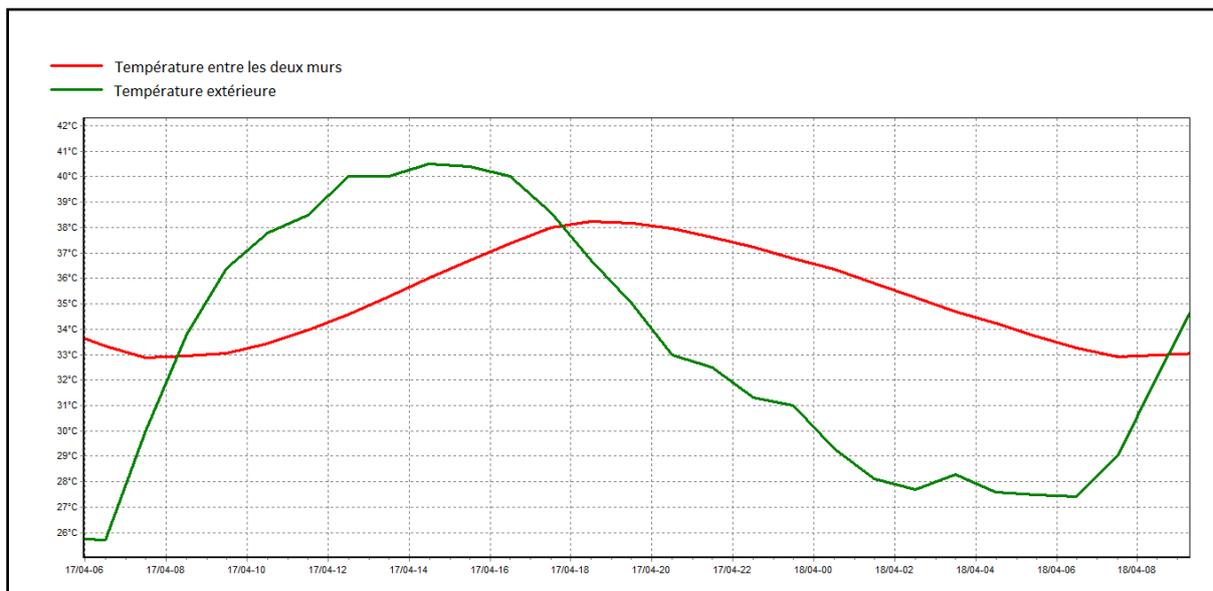


Figure 17: Températures extérieure et entre les deux murs

Nous pouvons observer sur la courbe suivante (correspondant à la simulation comfie du 17 avril), que la journée le double mur joue bien son rôle d'espace tampon. La température entre le double mur est en effet plus faible que la température extérieure, avec un écart maximal de 5°C. Cependant la nuit la ventilation par les trappes semble ne pas être suffisante à refroidir le premier mur qui a accumulé la chaleur durant la journée. La température entre les deux murs dépasse alors fortement la température extérieure (avec un écart maximal de 7°C).

Ce système de mur double permet donc d'éviter les grandes surchauffes la journée. Cependant, cela ne permet pas d'obtenir une température agréable la nuit. Cela est bien vérifié s'il on compare une courbe de température dans une pièce avec un mur simple seul.

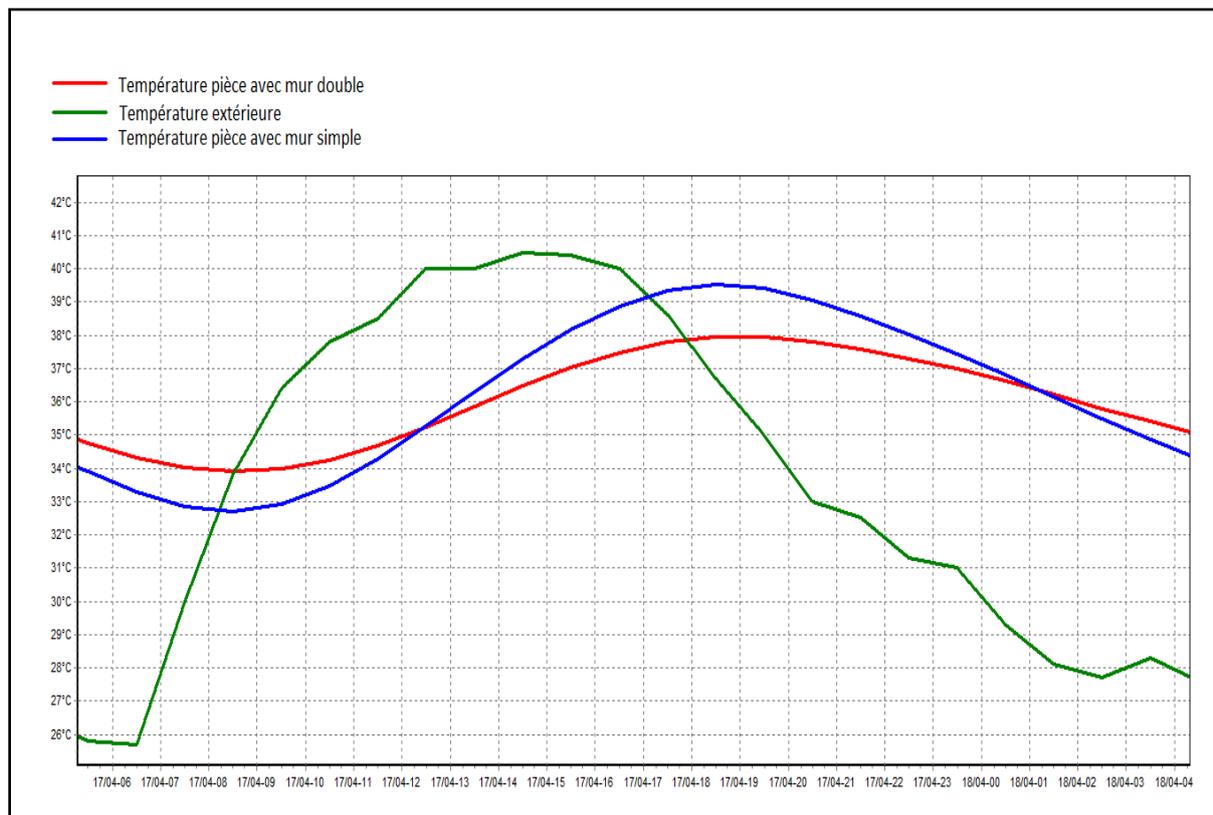


Figure 18: Amortissement des températures intérieures du double et simple mur

De midi à minuit, la température dans la pièce utilisant un double mur est inférieure à celle de la pièce avec un mur simple. La température maximale pour la journée du 17 avril, n'est donc que de 38°C contre 39,5°C pour la pièce avec le mur simple. Cependant le reste de minuit à midi la température dans la pièce avec le double mur reste supérieure.

Le système du double mur, semble intéressante dans un objectif de limiter les surchauffe dans le bâtiment. Cependant lorsque l'on climatise un bâtiment, le raisonnement afin de concevoir les parois est différent. En effet, l'objectif n'est plus d'éviter les surchauffes, mais de conserver la fraîcheur du à la climatisation, et de ce fait, limiter les consommations en climatisation. Dans cet objectif, l'isolation des parois semble être primordiale. C'est pourquoi nous pensons que ce système de double mur devrait être couplé avec une isolation thermique, ou remplacée par une paroi isolée. D'après nos simulation, si on remplace le double mur par un mur simple isolé par 20cm de paille ($\lambda=0,129 \text{ W/ (m. K)}$), nous avons une différence de température maximum de 1,5°C par rapport au double mur.

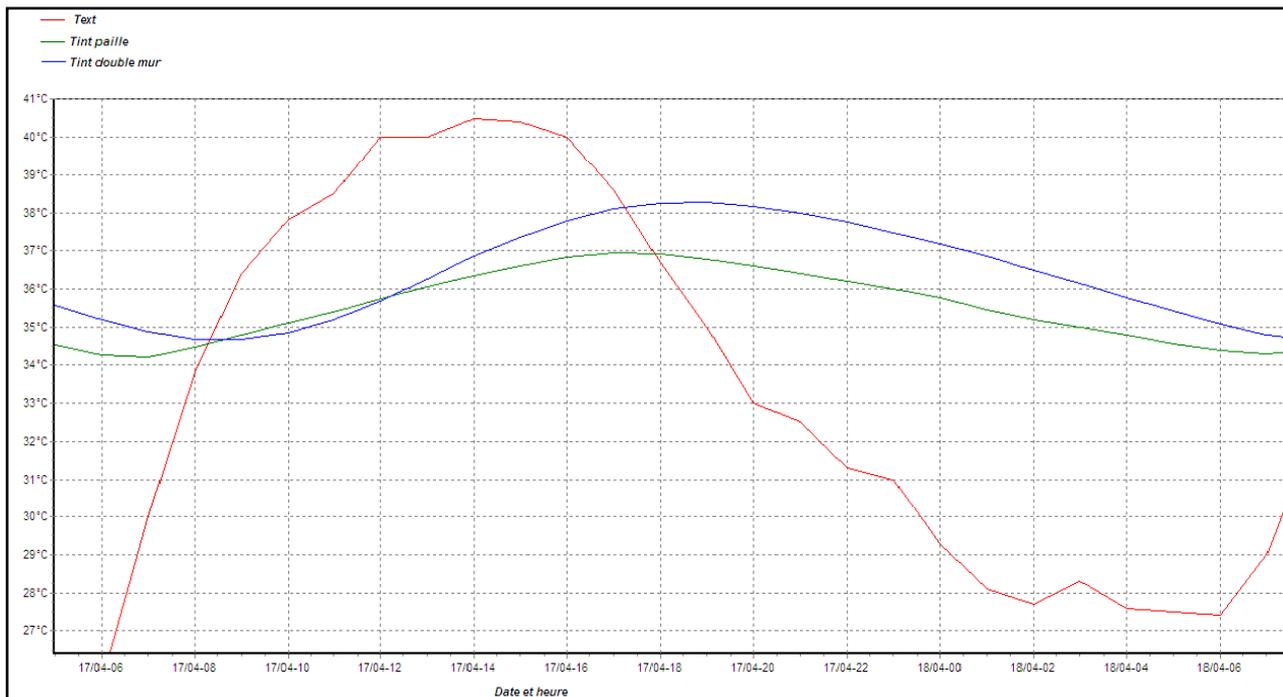


Figure 19: Amortissement de la paille par rapport au double mur

Les courbes de températures de 12 mois sont en annexe 5.

Les besoins en climatisation aussi diminuent de 3 400 kWh/an par rapport au double mur comme le montre la figure qui suit :

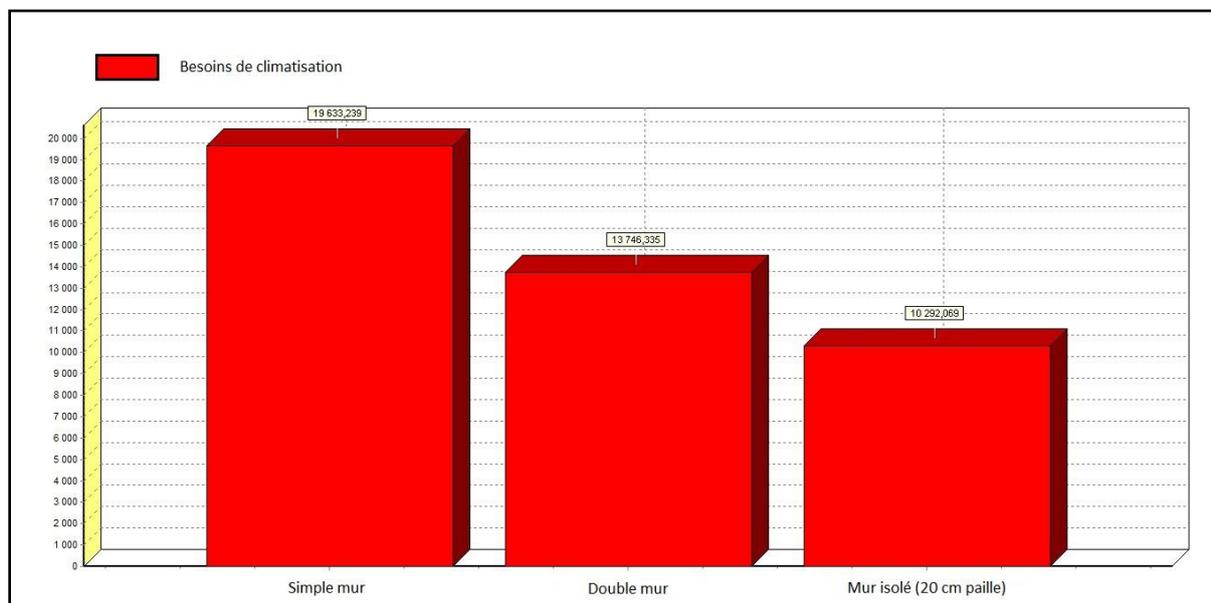


Figure 20: Economie d'energie du double mur et du mur isolé

Ces résultats, semble même minimiser l'impact de l'isolant. En effet la conductivité de l'isolant choisi semble forte en comparaison à d'autres isolants existants. Cependant, ces résultats restent à vérifier. La ventilation dans le double mur est grossièrement estimée. Afin

d'avoir des résultats plus précis, il faudra calculer plus précisément la ventilation du double mur. Il faudra aussi connaître la conductivité des isolants existant au Burkina Faso.

Les économies d'énergie, les gains financiers et le temps de retour sur investissement sont calculés en prenant le simple mur de 20cm de parpaing comme référence. Le temps de retour sur investissement (TRI) est calculé sur la base de l'investissement supplémentaire sur le simple mur.

Un coefficient de performance des climatiseurs de 2,5 est pris pour calculer les économies d'énergie; un prix moyen de 115 FCFA le kWh est retenu pour les calculs des gains. Les résultats sont dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8 : Economie et temps de retour sur investissement

Parois	Coût de construction (FCFA)	Besoin en climatisation (kWh/an)	Economie d'énergie électrique (kWh/an)	Gain (FCFA/an)	TRI (an)
Simple mur de 20 cm	12894667	19633	0	0	0
Double mur (20cm + 5cm + 10cm)	19986734	13745	2355	270848	26
Simple mur isolé avec paille (20cm + 20cm)	16763067	10292	3736	429686	9

Les détails de calculs sont en annexe 6.

VI- CONCLUSIONS GENERALES

A l'issue de cette étude, qui porte sur la bioclimatisation et le confort thermique des habitats dont l'objectif est de caractériser un bâtiment avec les outils de simulation, il est à noter que la conception des bâtiments tenant compte du confort thermique réduit énormément les besoins en climatisation.

Le logiciel de simulation a été testé pour sa fiabilité sur un local de 2ie à Ouagadougou. La comparaison des données mesurées et simulées d'un bâtiment type dont les dimensions et les compositions sont connues, nous a rassurées sur l'écart qui existe entre ces données. Car Généralement les valeurs simulées et mesurées ont un degré d'écart.

Notre étude montre que chaque partie du bâtiment a un impact important sur le besoin en climatisation et sa construction tenant compte du confort thermique a aussi un coût.

Les simulations ont montré que les dimensions des protections solaires initiales du bâtiment NEWANGO sont optimales. Cependant, les dimensions initiales de fenêtres sont très hautes, ce qui laisse passer plus de rayonnement direct et augmente les charges thermiques. Donc les réajustements de ces dimensions donnent l'optimum tout en respectant l'esthétique du bâtiment en architecture : 0,9m de hauteur et 1,6m de largeur.

Celles des vitrages ont montré que les vitrages teintés sont économiques par rapport au double vitrage. Mais, ils réduisent l'éclairage naturel, ce qui pousse à utiliser l'éclairage artificiel qui consomme aussi de l'énergie. Par contre, il existe des vitrages teintés qui ont un facteur solaire faible et une transmission lumineuse élevée, ce qui permettra d'économiser de l'énergie et avoir de l'éclairage naturel acceptable.

Avec le double mur, on réduit les besoins en climatisation de 120 kWh/m²/an par rapport au simple mur de 20cm. Par contre, le double mur constitue une inertie et la chaleur stockée dans les murs risque de passer à l'intérieur de la pièce. Ce qui nécessite un bon dimensionnement des trappes pour une ventilation naturelle suffisante.

En comparant avec un simple mur de 20cm isolé avec de la paille de 20cm, nous obtenons une réduction des besoins en climatisation de 190 kWh/m²/an par rapport au simple mur en parpaing de 20cm. Nous pouvons dire qu'un simple mur isolé avec un isolant local tel que la paille ou la laine de kapok réduit considérablement les besoins en climatisation par rapport au double mur qui crée une inertie de plus.

VII- RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude peut être améliorée en déterminant les dimensions des trappes pour la ventilation naturelle afin de réduire l'effet d'inertie créée par le double mur. La caractérisation thermiques des matériaux locaux de constructions (Les vitrages, Les briques en terre comprimée (BTC), La paille ...) enrichira les bases des données de logiciels de simulation pour les adapter au contexte local. Aussi la détermination des caractéristiques thermiques des plantes locales permettra de simuler une toiture en végétale.

Dans cette étude, l'orientation du bâtiment n'a pas été prise en compte car le modèle choisi a une forme carré donc l'orientation n'a pas trop d'impact. Il serait intéressant de simuler un bâtiment rectangulaire afin de voir l'impact de l'orientation sur le besoin en climatisation.

L'impact de vitres teintées sur l'éclairage naturel nécessite une étude comparative avec le double vitrage pour déterminer l'économie d'énergie à faire. De plus, il est important d'identifier les vitres teintées qui ont un facteur solaire faible et une transmission lumineuse élevée. Aussi, faire des études sur les puits de lumières naturelles afin de compenser le manque dû aux vitrages teintés.

L'étude de la faisabilité de l'isolation en paille à Ouagadougou s'avère nécessaire pour une prise en compte dans les constructions des bâtiments. C'est pourquoi, il est primordial que le Laboratoire de Génie Civil et le LESEE travaille en collaboration pour caractériser les isolants locaux des bâtiments.

VIII- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ouvrages et articles:

- [1]- **Cellule de Gestion de l'Energie- Burkina Faso.** Mise en place d'un programme de maintenance curative et préventive des équipements électriques de l'administration Burkinabé. Ouagadougou-Burkina Faso, 2010.
- [2]- **Y.JANNOT et T.DJIAKO.** Economie d'énergie et confort thermique en zone tropicale. International Journal of Refrigeration, 1994, Vol 17, n°3, pp166-173.
- [3] **LAWSON, F.** Evaluation du confort thermique dans l'habitat individuel à Ouagadougou. Mémoire de fin d'étude EIER Ouagadougou, 1991. 32 P
- [4]- **MINANE Jacques-Rémy.** Confort thermique et méthode de climatisation passive ou à faible coût : application au puits canadien. Mémoire de fin d'étude 2ie, 2010. 26-28 p.
- [5]- **Gilles LEFEBVRE.** Comportement thermique dynamique des bâtiments : simulation et analyse. Technique de l'Ingénieur. B 2 041 2 p.
- [6]- France. Ministère de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer, Mémento technique du bâtiment : Le confort thermique 5 p.
- [7]- **Holger Koch-Nielsen.** Concevoir avec la nature, Mai 1999.
- [15]- **Emanuel Ouedraogo,** Elaboration d'une année météorologique type de la ville de Ouagadougou pour l'estimation des performances énergétiques et thermiques des bâtiments, mémoire de fin d'Etude de DEA, Université de Ouagadougou, juillet 2010.

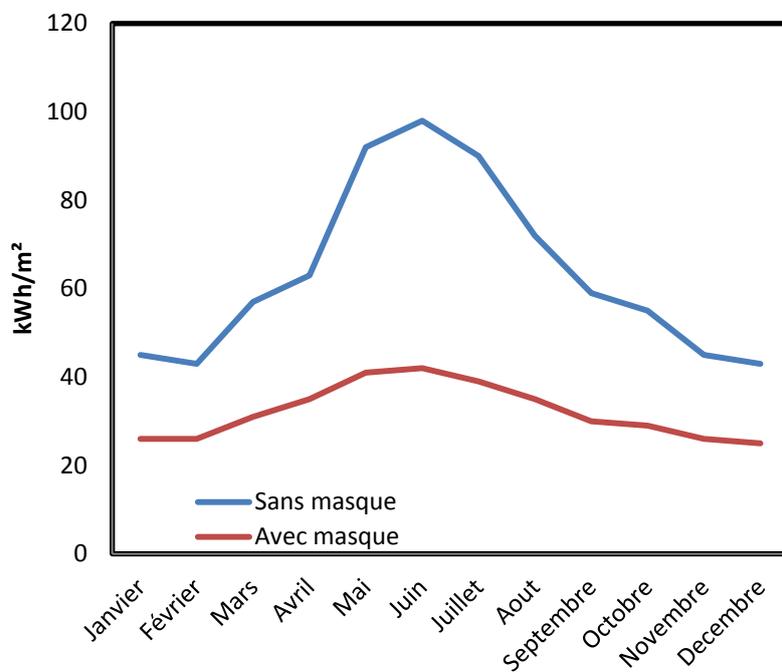
Sites web:

- [8]- http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10401.htm, visité le 20/02/2011.
- [9]- <http://www.jnlog.com/codyba1.htm>, visité le 23/02/2011.
- [10]- <http://www.trnsys.com/about.htm>, visité le 23/02/2011.
- [11]- <http://www.izuba.fr/logiciel/pleiadescomfie>, visité le 25/02/2011.
- [12]- <http://www.doe2.com/>, visité le 25/02/2011.
- [13]- <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>, visité 26/02/2011.
- [14]- http://www.cetteg.fr/energie/Design_Builder_resume.php#a1, visité le 27/02/2011.
- [16]- <http://architecturaldesign.cz.cc/free-architecture-ebook/architectural-design/neufert-architects-data>, visité le 11/05/11.

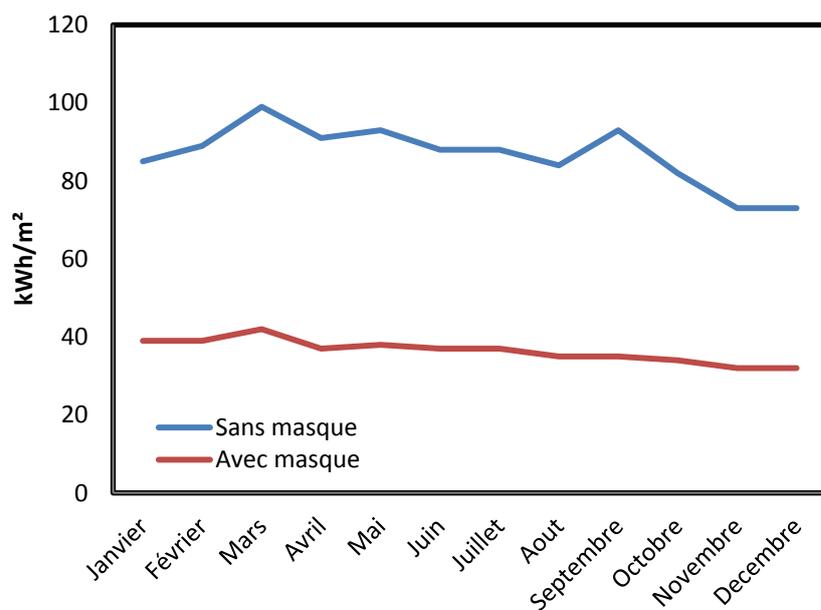
IX- ANNEXES

Annexe 1 : Impact de la protection

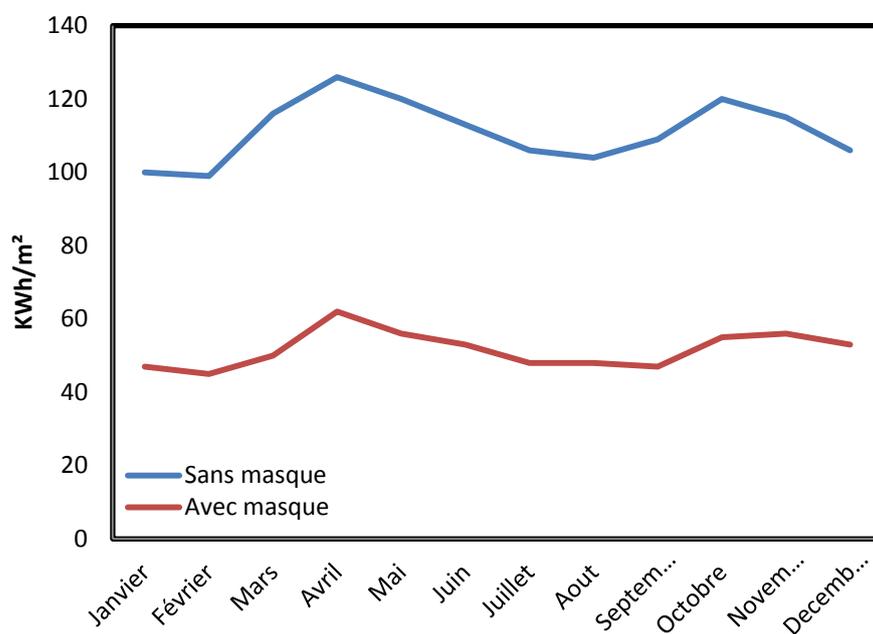
Apports solaires fenêtre nord



Apports solaires fenêtre est

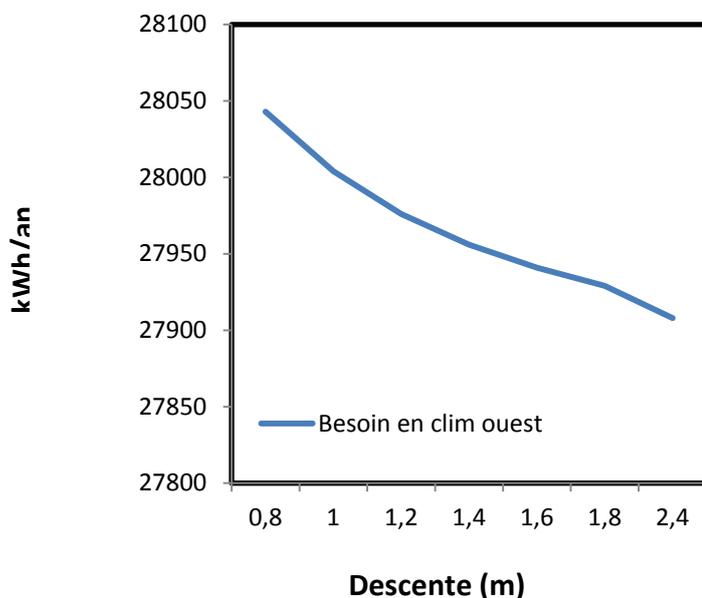


Apports solaires fenêtre ouest

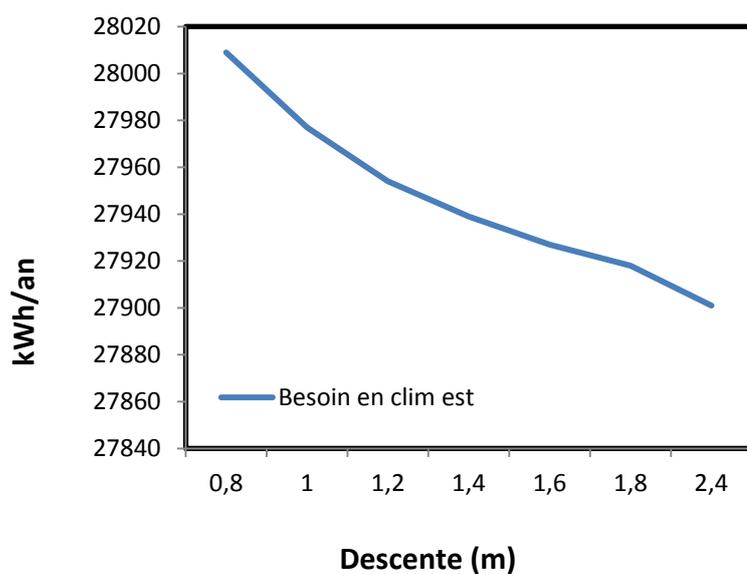


Annexe 2 : Impact de la descente du balcon sur le besoin en climatisation

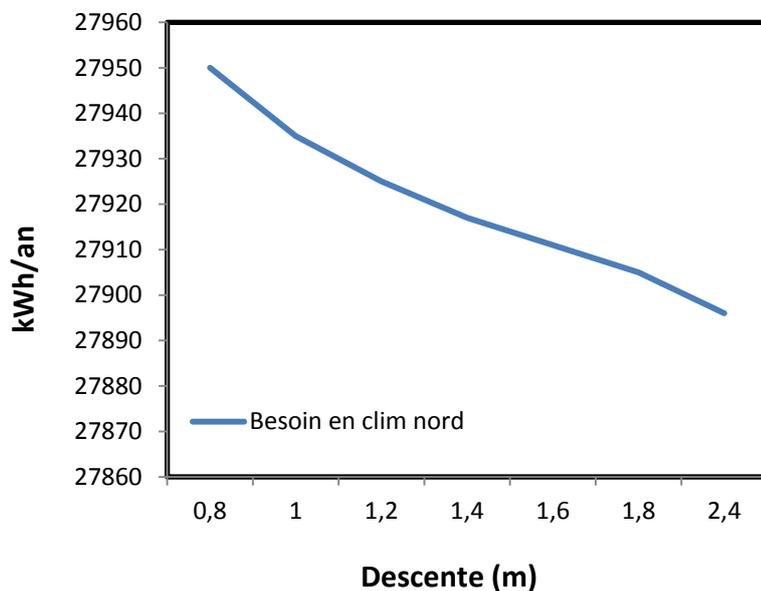
Impact de la descente du balcon sur une fenetre ouest



Besoin en clim est



Besoin en clim nord



Annexe 3 : Impact de variation de dimensions de fenêtres

fenêtre est			
hauteur (cm)	largeur (cm)	besoin de clim (kWh/an)	gain (FCFA/an)
70	206	27930	2852
80	180	27942	2300
90	160	27954	1748
100	144	27966	1196
110	131	27979	598
120	120	27992	0

fenêtre sud			
hauteur (cm)	largeur (cm)	besoin de clim (kWh/an)	gain (FCFA/an)
70	206	27919	2162
80	180	27929	1702
90	160	27938	1288
100	144	27947	874
110	131	27956	460
120	120	27966	0

fenêtre nord			
hauteur (cm)	largeur (cm)	besoin de clim (kWh/an)	gain (FCFA/an)
70	206	27912	1380
80	180	27919	1058
90	160	27925	782
100	144	27931	506
110	131	27937	230
120	120	27942	0

Annexe 4 : Impact de type de vitrage sur le besoin en climatisation

✓ Fenêtre Sud

vitre (1m60×0.90m)	Prix (FCFA)	Dimension (mm)	facteur solaire	Vitrage (%)	U vitrage (W/(m².K))	Besoin en clim (kWh/an)	Gains (FCFA)
Simple Vitrage clair	93600	4	0,9	66	4,95	27938	0
Double Vitrage clair	201600	4-6-4	0,68	66	3,25	27856	3772
Simple Vitrage bleu	95040	4	0,3	66	4,95	27812	5796
Simple Vitrage bronze	93600	4	0,4	66	4,95	27833	4830

✓ Fenêtre Est

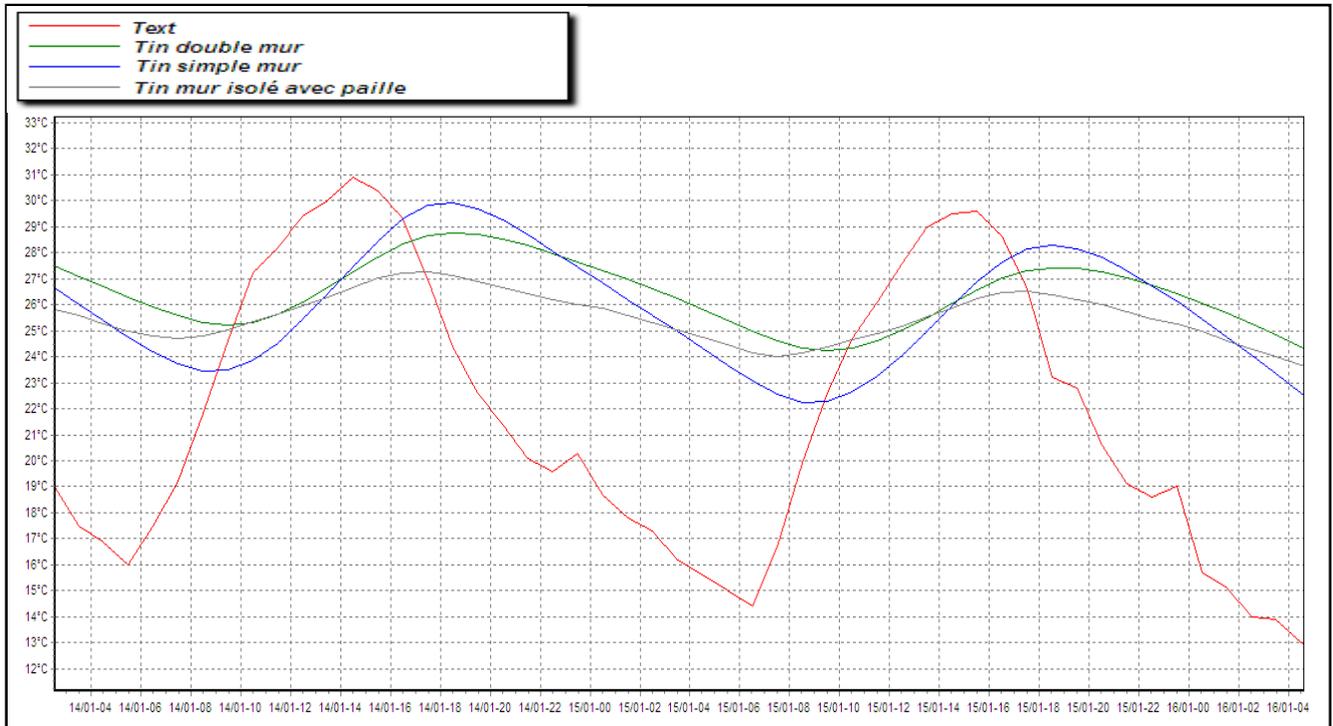
vitre (1m60×0.90m)	Prix (FCFA)	Dimension (mm)	facteur solaire	Vitrage (%)	U vitrage (W/(m².K))	Besoin en clim (kWh/an)	Gains (FCFA)
Simple Vitrage clair	93600	4	0,9	66	4,95	27954	0
Double Vitrage clair	201600	4-6-4	0,68	66	3,25	27869	3910
Simple Vitrage bleu	95040	4	0,3	66	4,95	27817	6302
Simple Vitrage bronze	93600	4	0,4	66	4,95	27840	5244

✓ Fenêtre Nord

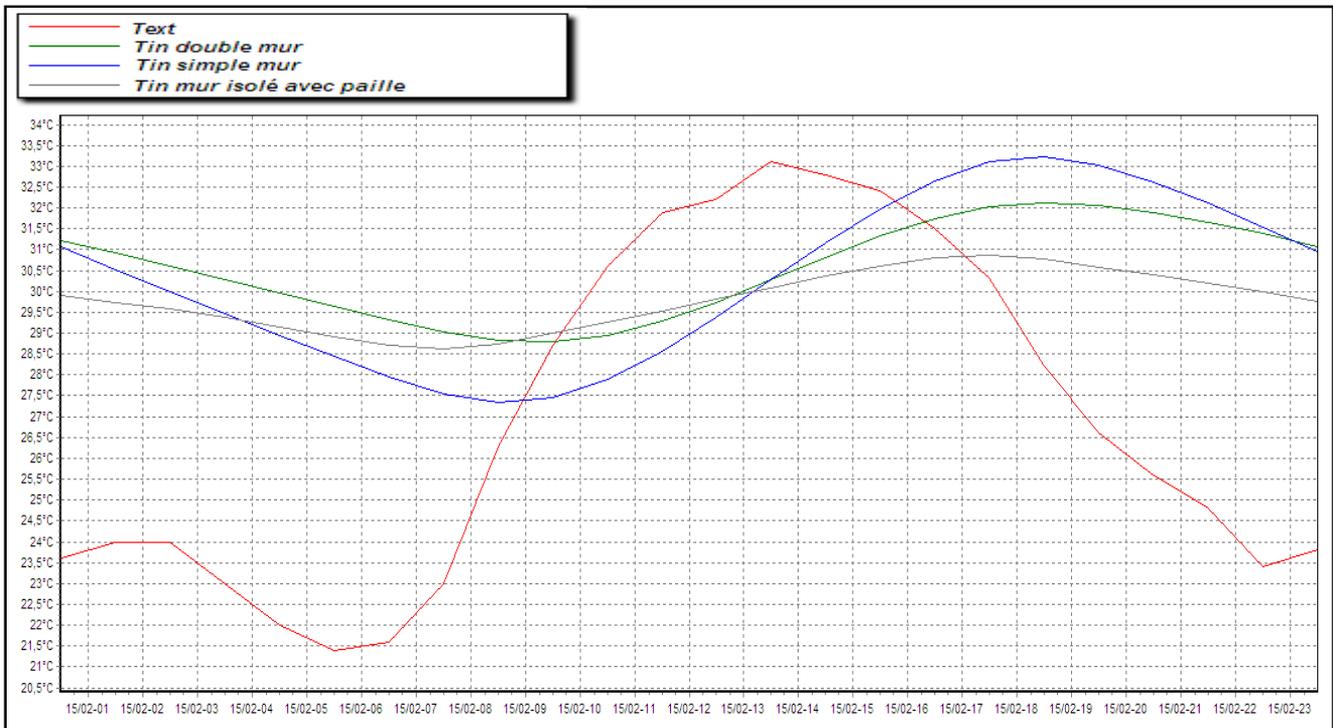
vitre (1m60×0.90m)	Prix (FCFA)	Dimension (mm)	facteur solaire	Vitrage (%)	U vitrage (W/(m².K))	Besoin en clim (kWh/an)	Gains FCFA
Simple Vitrage clair	93600	4	0,9	66	4,95	27925	0
Double Vitrage clair	201600	4-6-4	0,68	66	3,25	27846	3634
Simple Vitrage bleu	95040	4	0,3	66	4,95	27807	5428
Simple Vitrage bronze	93600	4	0,4	66	4,95	27827	4508

Annexe 5 : Allure des températures : Simple mur, double mur et mur isolé

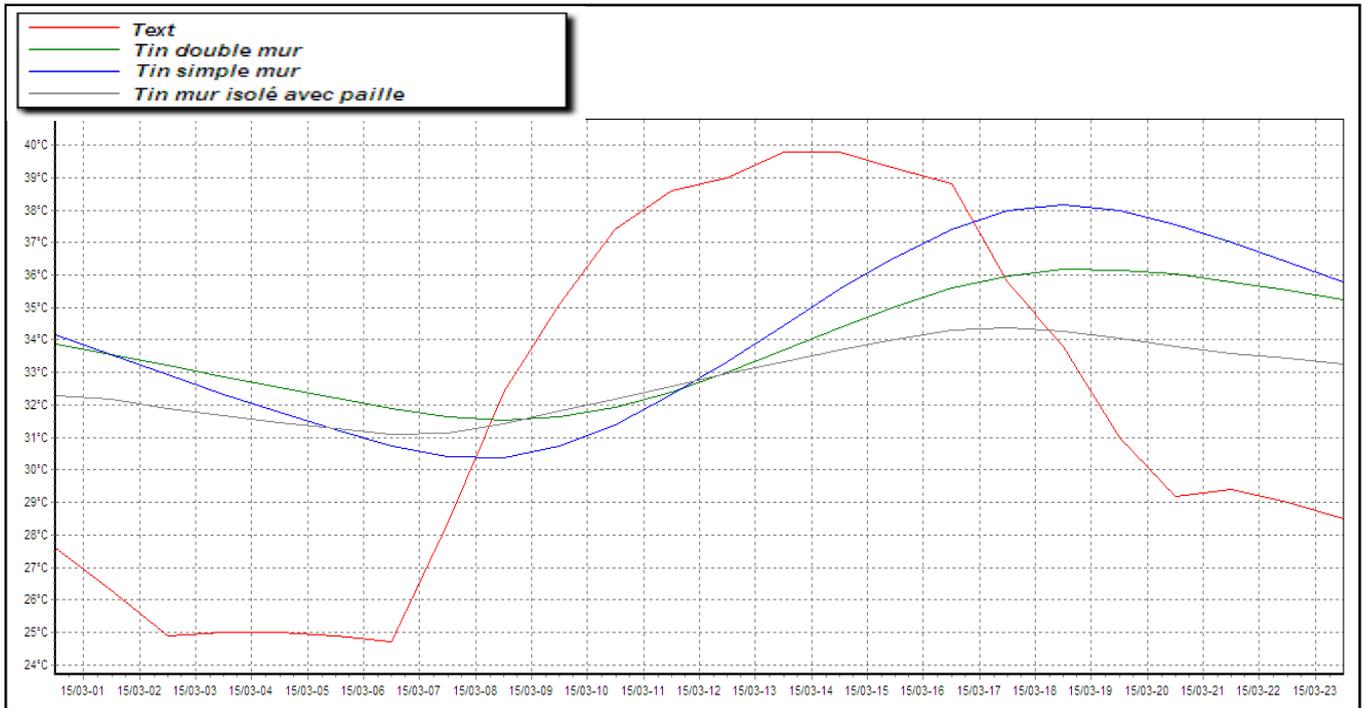
➤ 15-Janvier



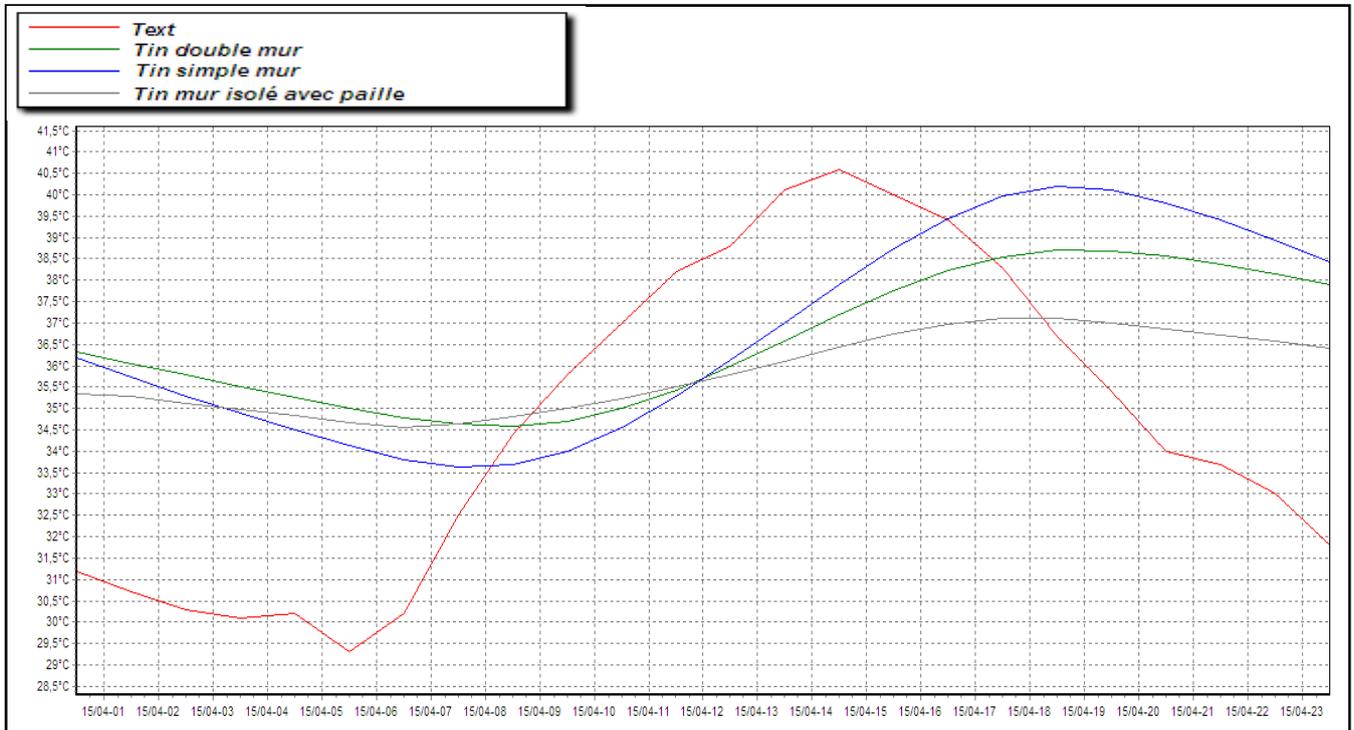
➤ 15-Février



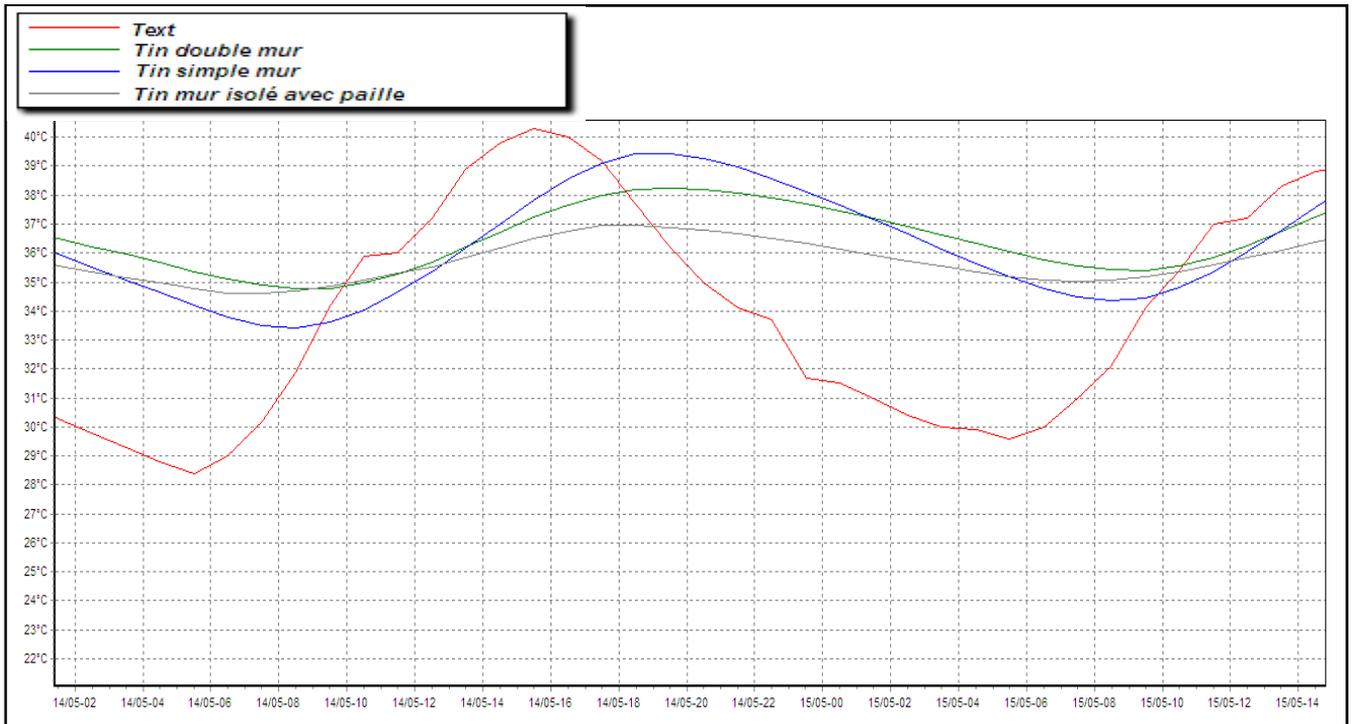
➤ 15-Mars



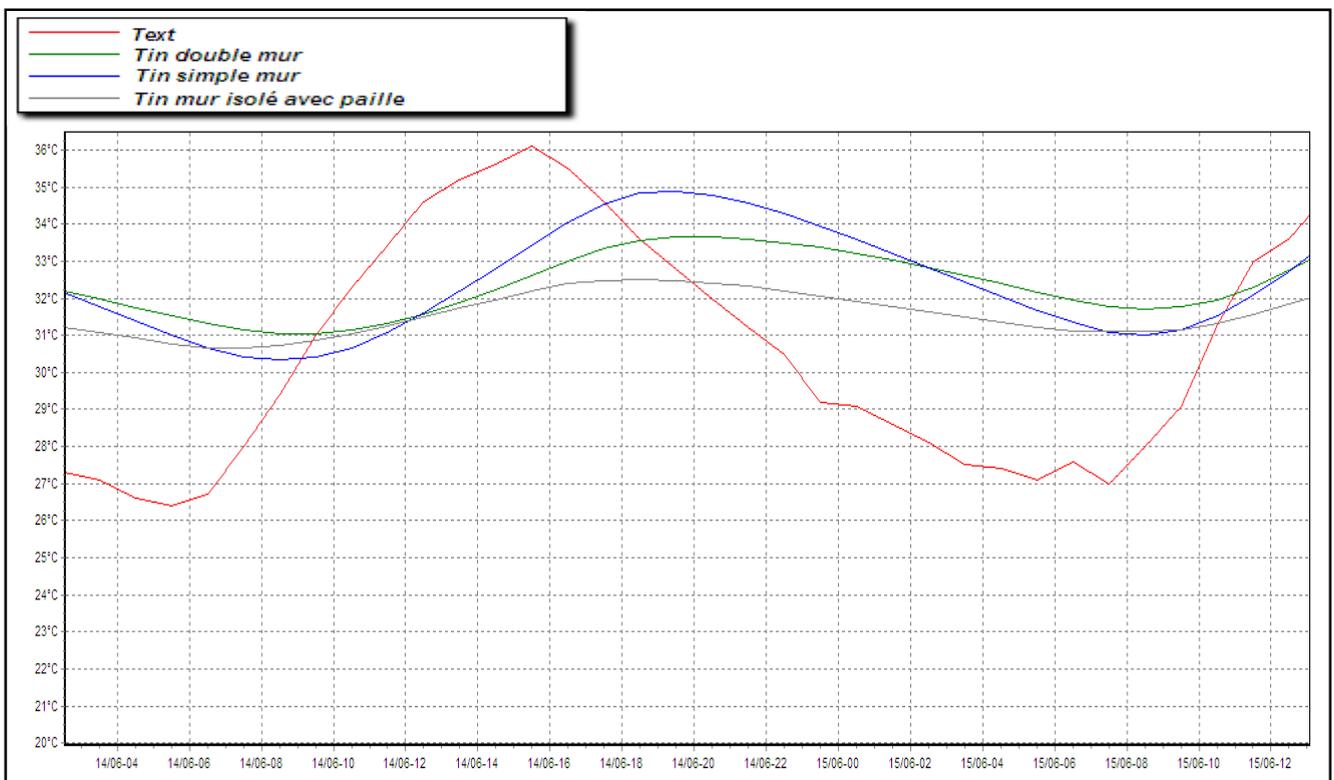
➤ 15-Avril



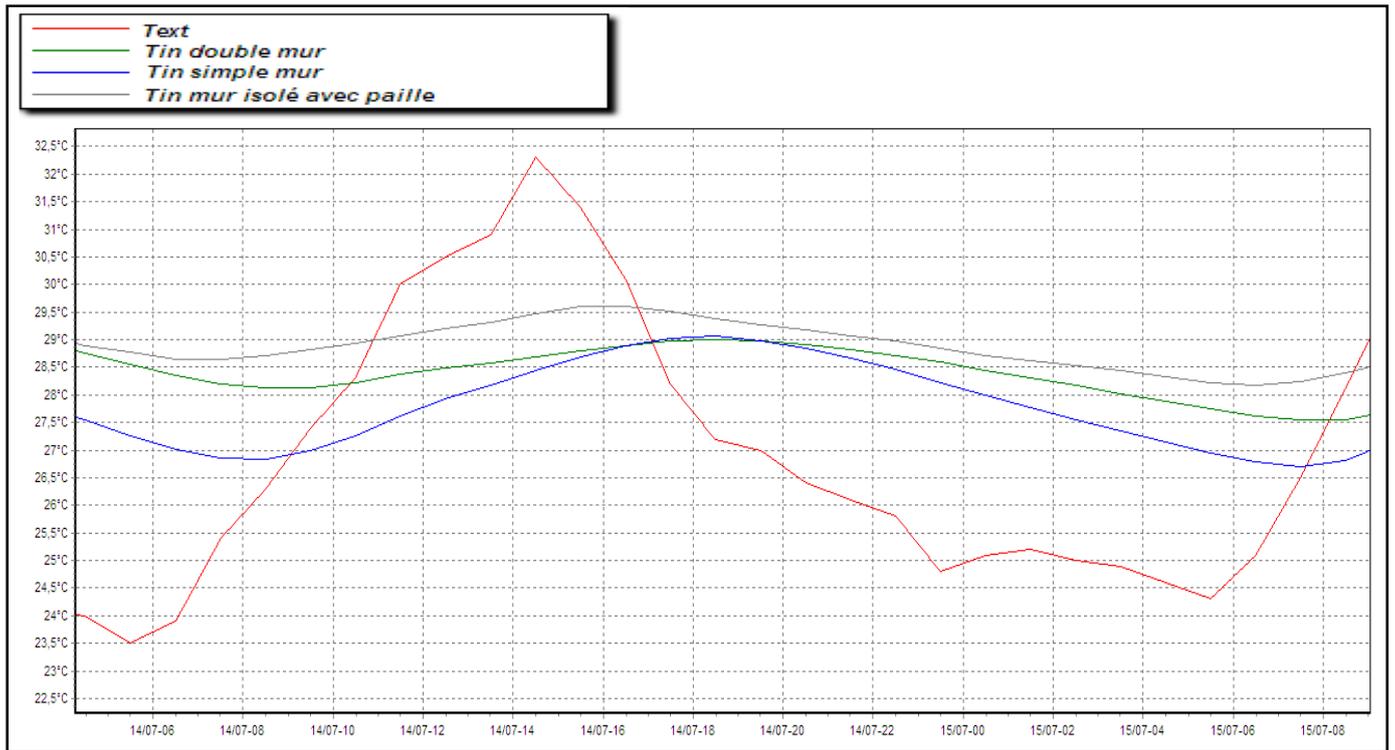
➤ 15-Mai



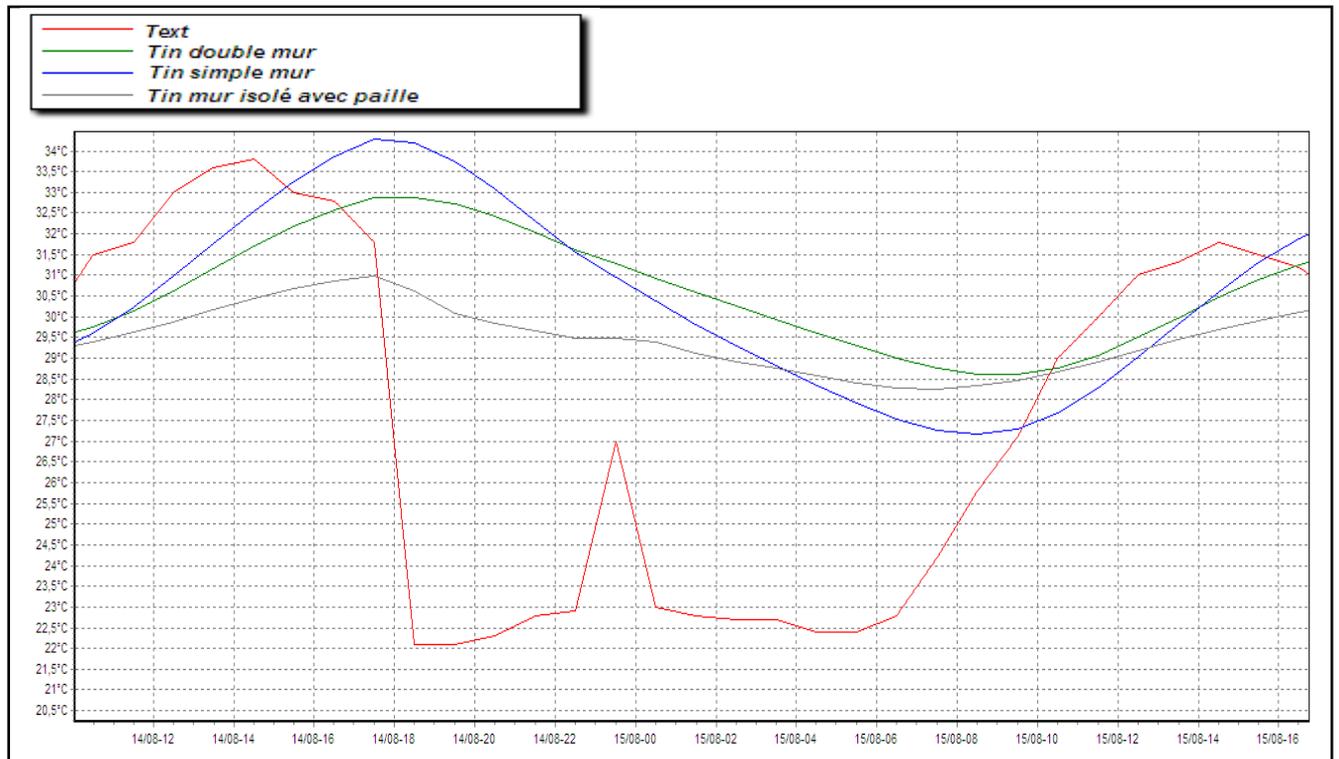
➤ 15-Juin



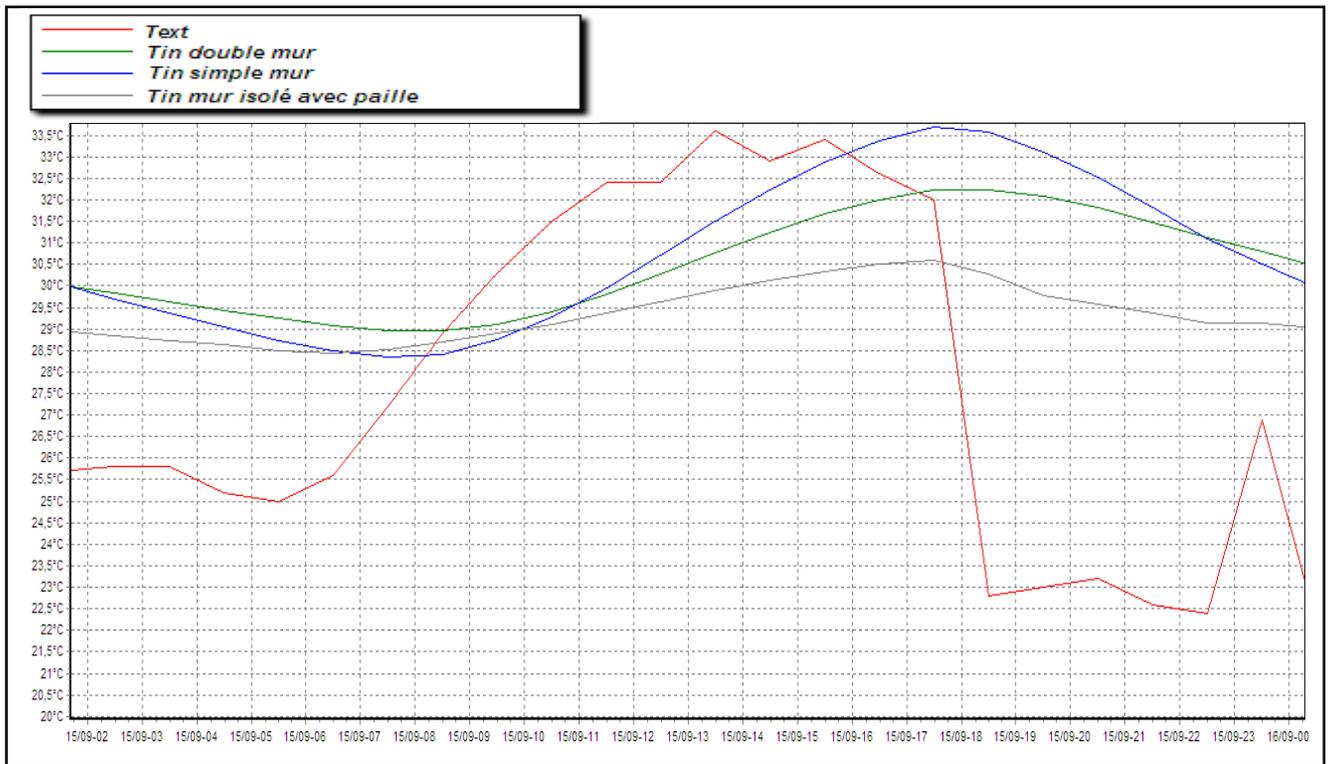
➤ 15-Juillet



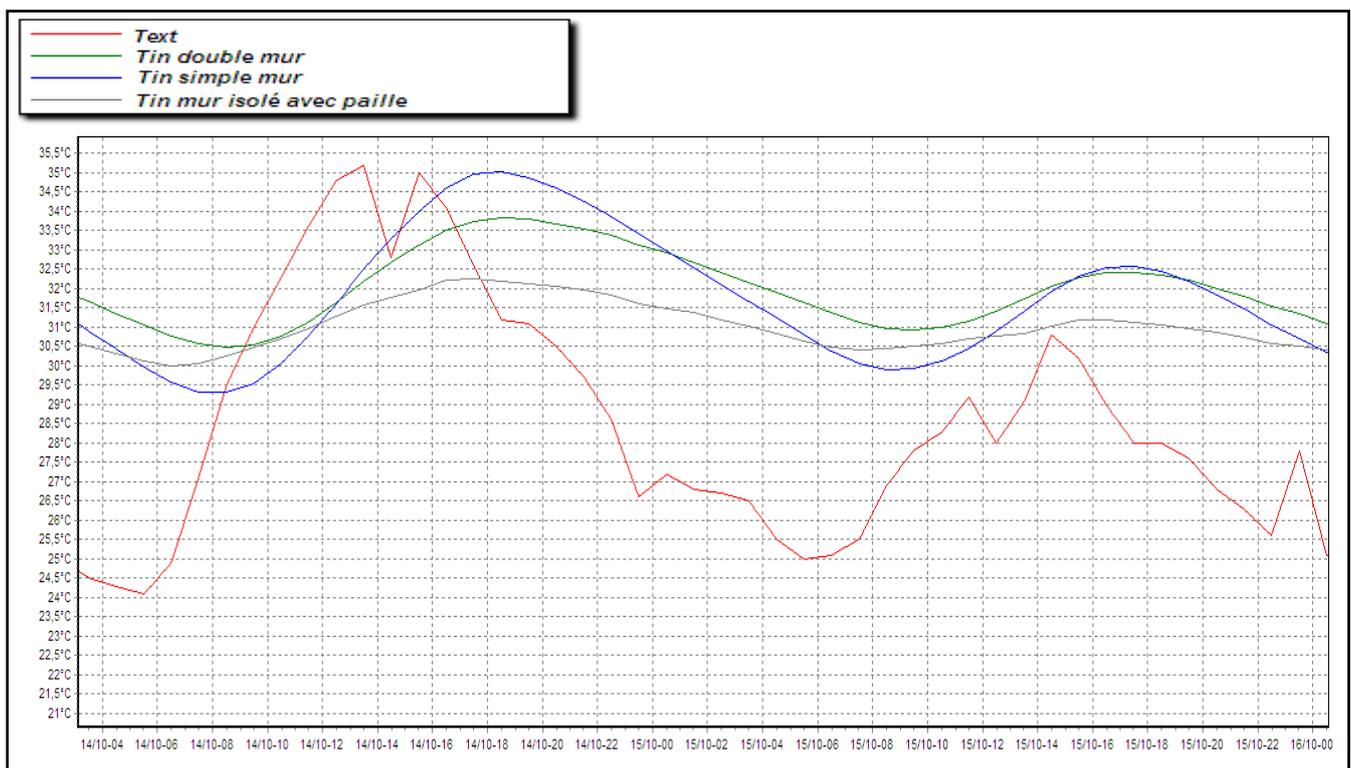
➤ 15-Août



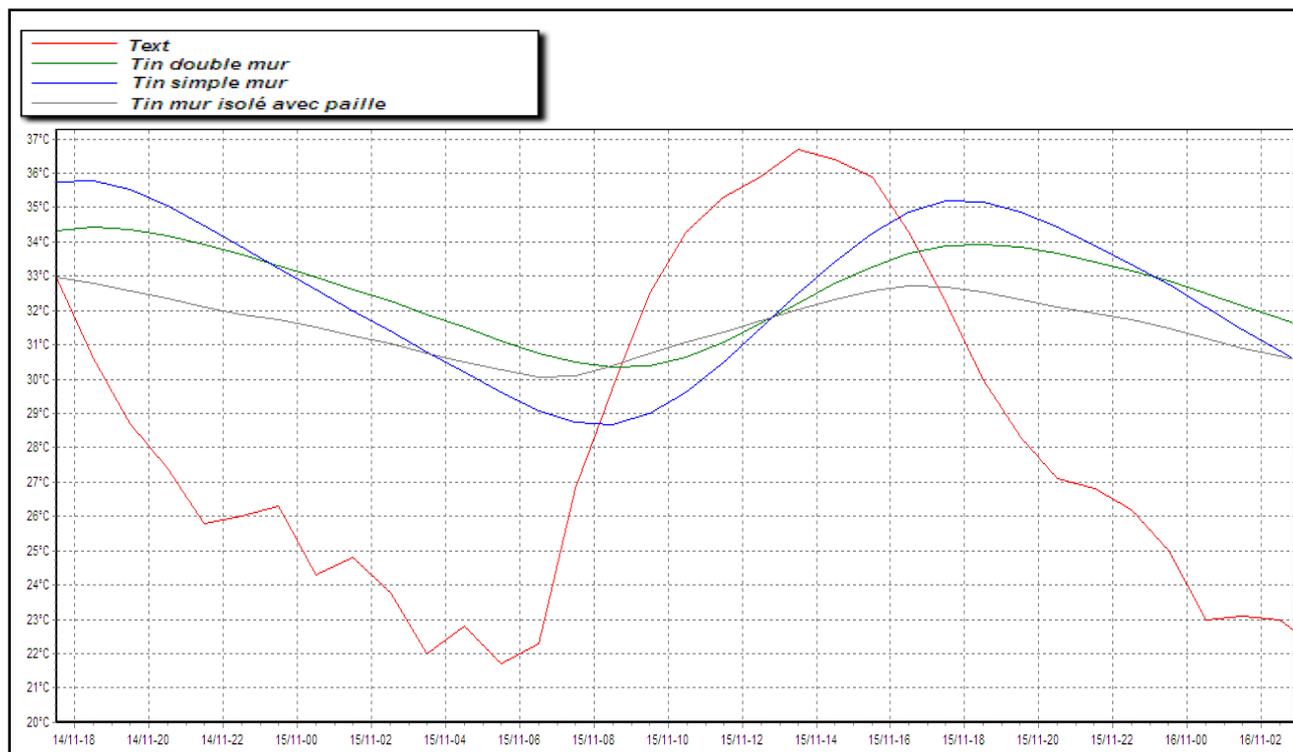
➤ 15-Septembre



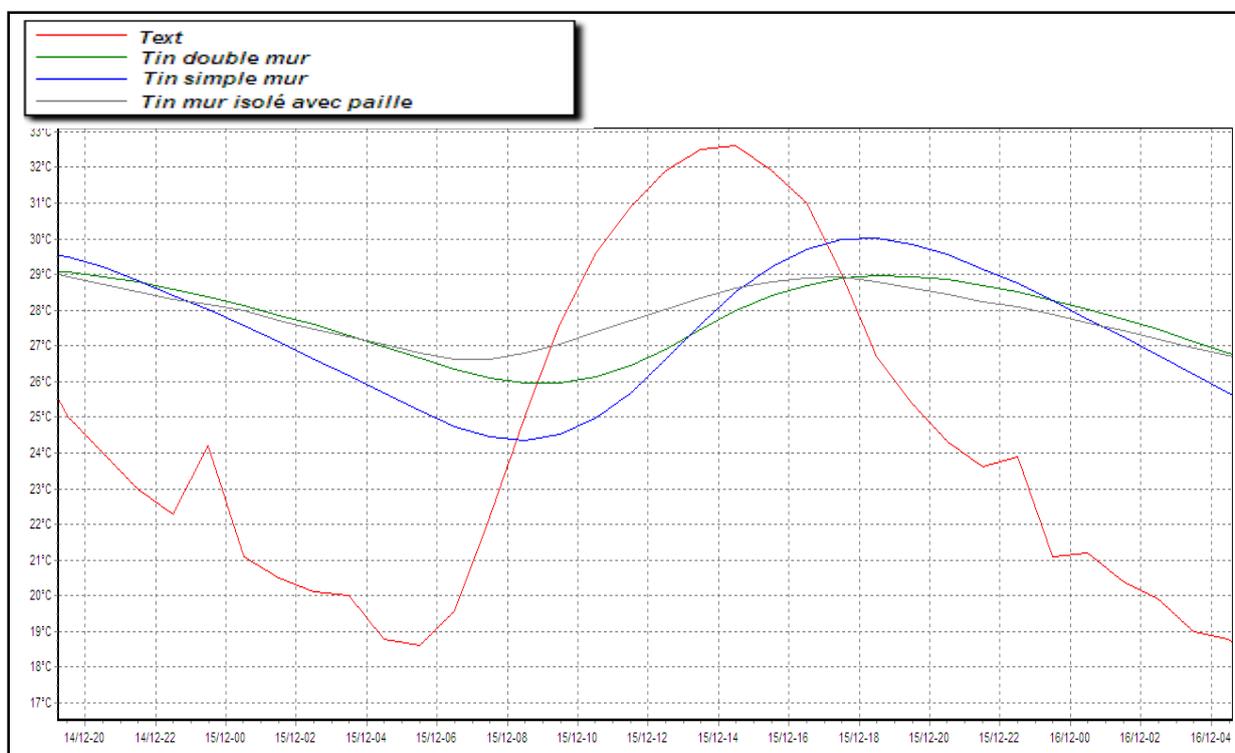
➤ 15-Octobre



➤ 15-Novembre



➤ 15-Décembre



Annexe 6 : Coût des murs

Les informations pour le calcul détaillé des murs ont été données par l'Entreprise **SOLCONFORT ET DECOR. 01 BP 1361 Ouagadougou 01, Tel : 50 37 00 06**

1m ² de mur de 20 cm				
Compositions	Quantité	unité	prix unitaire TTC	unités
Parpaing	13	Agglo/m ²	400	FCFA/Agglo
Enduits	300	kg/m ³	7500	FCFA/sac de ciment de 50kg
sable	200	kg/m ³	6000	FCFA/m ³
Eau	0,15	m ³ /m ³ d'enduit	200	FCFA/m ³
main d'œuvre			600	FCFA/m ²

Surface totale des murs du bâtiment = 7m x 3.5m x 4 = 98m²

Surface net = Surface totale – ouvertures = 98 – 8.1 = 89.9 m²

Volume d'enduit = Surface totale x épaisseurs d'enduit (intérieur et extérieur) = 89.9 x 1.5 x 2 = 269.97m³

Compositions	Quantités	Unité	Prix (FCFA)
nombre de parpaing	1169,87	parpaings	467948
volume d'enduit	269,97	m ³	12148650
quantité d'enduit	80991	kg	
nombre de sac de ciment	1619,82	sacs	
sable	53994	kg	215976
sable	35,996	m ³	
quantité d'eau	40,4955	m ³	8099,1
main d'œuvre	53994	F	53994
		coût total	12894667,1

Après calcul, 1m² de mur de 20cm de parpaing revient à **143 433 FCFA**.

Et 1m² de mur de 10cm = 143 240,5 x 0,55 = **78 888,4 FCFA**