

Article :

Langue : Français

Publiée : 28 Mai 2024

Droits d'auteur : cette publication a été publiée en libre accès selon les termes et conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



Influence de la toiture sur le confort thermique des bâtiments urbains dans les tropiques sèches : cas de la ville de Ouagadougou, Burkina Faso

OUOBA Emile; SAWADOGO Boukari

Centre Internationale de recherche pluridisciplinaire(CIREP)/ Université de Lisala

Résumé

L'Homme conçoit son habitat pour se protéger tout en tirant les avantages de son environnement direct. En outre, le système climatique global connaît déjà des changements profonds malgré les mesures de réduction mises en œuvre au titre du protocole de Kyoto ou d'autres mécanismes issus des différentes COPs. L'adaptation à ces changements climatiques est inéluctable dans le secteur du bâtiment du Sahel et du Burkina Faso en général, et de la ville de Ouagadougou en particulier. Une question se pose alors : dans quelle mesure et avec quelle ampleur la construction des nouvelles toitures va-t-elle prendre en compte certaines de ces modifications pour améliorer le confort des populations dans les zones urbaines ?

Dans ce contexte, il est très probable que la fonctionnalité du cadre bâti existant et la conception des futurs bâtiments soient modifiées pour pallier aux conséquences des changements climatiques.

Le Burkina Faso est un pays sahélien caractérisé par des températures ambiantes très élevées. En outre, le réchauffement climatique se ressent de plus en plus et inquiète les collectivités. Cet inconfort conduit les populations à faire recours abusivement à des systèmes de climatisation très énergivores et avec des impacts négatifs sur l'environnement. Cependant, de nos jours la sauvegarde de l'environnement se fait de plus en plus dominante. Il est donc impératif de trouver des solutions palliatives à ce problème.

Par ailleurs, l'intégration des techniques passives et l'utilisation des matériaux locaux pourraient réduire considérablement la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment. C'est dans ce contexte où se situe cet article et dont l'objectif est d'évaluer la capacité de rafraîchissement de quelques techniques passives pour la protection solaire des toitures et de montrer l'importance de l'utilisation des matériaux naturels locaux dans le climat tropical comme celui du Burkina et dans la sous-région Ouest-africaine.

Mots clés : Confort thermique, inertie, Techniques passives, Cellule test, Matériaux locaux, Changements climatiques, Efficacité énergétique, Toiture verte.

Abstract

Man designs his habitat to protect himself, while taking advantage of his direct environment. What's more, the global climate system is already undergoing profound changes, despite the reduction measures implemented under the Kyoto Protocol or other mechanisms resulting from the various COPs. Adaptation to these climate changes is unavoidable in the building sector of the Sahel and Burkina Faso in general, and the city of Ouagadougou in particular. The question

then arises: to what extent and on what scale will the construction of new roofs take into account some of these changes to improve the comfort of populations in urban areas?

In this context, it is highly likely that the functionality of the existing built environment and the design of future buildings will be modified to mitigate the consequences of climate change.

Burkina Faso is a Sahelian country characterized by very high ambient temperatures. In addition, global warming is becoming more and more acute, causing concern among communities. This discomfort is leading people to make abusive use of air-conditioning systems, which consume a lot of energy and have a negative impact on the environment. Nowadays, however, environmental protection is becoming increasingly dominant. It is therefore imperative to find palliative solutions to this problem.

Moreover, the integration of passive techniques and the use of local materials could considerably reduce energy consumption in the building sector. It is in this context that this article is set, with the aim of assessing the cooling capacity of a number of passive techniques for the solar protection of roofs, and demonstrating the importance of using local natural materials in a tropical climate such as that of Burkina Faso and the West African sub-region.

Key words: Thermal comfort, inertia, passive techniques, test cell, local materials, climate change, energy efficiency, green roofing.

Sommaire

Résumé	1
Abstract	1
I. Introduction	3
II. Revue de la littérature	3
II.1. Définition du confort et de l'inertie thermique	3
II.1.1. Confort thermique	3
II.1.2. Inertie thermique	3
II.2. Techniques de rafraîchissement passif ou semi-passif de l'air dans les bâtiments à travers les toitures	4
III. Méthodologie	7
IV. Présentation et analyses des résultats	7
IV.1. Résultats sur les tendances climatiques au Burkina Faso à l'Horizon 2050	7
IV.2. Résultats issus des sondages	7
IV.3. Présentation et analyse des résultats issus des températures des cellules test	9
IV.3.1. En période froide	9
IV.3.2. En période chaude	10
V. Recommandations et Perspectives	10
V.1. Recommandations	10
V.1.1. Orientation du bâtiment	11
V.1.2. Protection solaire au niveau des toitures	11
V.1.3. Réadaptation au niveau des autres composantes du bâtiment	11
V.2. Perspectives	11
Conclusion	12
Annexes	12
Références bibliographiques	14

I. Introduction

Construire a toujours été l'un des premiers soucis de l'Homme et l'une de ses occupations privilégiées. De nos jours également, la construction de bâtiment connaît un grand essor. Cependant, si les métiers du bâtiment peuvent se ranger parmi les plus anciens exercés par l'Homme, il faut reconnaître qu'il leur a fallu au cours des temps et plus spécialement au cours des dernières décades s'adapter pour tenir compte de l'évolution des techniques, et aussi pour tenir compte des rapports d'échanges qu'il entretient avec son environnement. La construction bioclimatique représente aujourd'hui une préoccupation importante partout dans le monde entier. Elle permet d'optimiser les consommations énergétiques de ce dernier et d'assurer un micro climat intérieur confortable en harmonie avec l'environnement.

Les attentes liées au « logement » dépassent donc actuellement très largement les frontières sémantiques usuelles : « habiter » c'est beaucoup plus que se « loger ». Ce déplacement des exigences associé à la recherche d'économies d'énergie amène les concepteurs à penser différemment l'habitat pour plus de bien-être et moins de gaspillage. Le confort thermique d'un bâtiment est primordial qu'il s'agisse d'installations collectives ou individuelles, dédiées au travail ou au logement. L'inconfort lié à une chaleur excessive, par exemple, est beaucoup plus que l'inverse du confort, il peut mener à des situations dramatiques comme l'épisode de la canicule de 2003 l'a douloureusement rappelé en Europe. Concevoir des bâtiments respectueux du confort et du bien-être de chacun tout en réduisant sérieusement l'énergie utilisée pour y parvenir, c'est le défi lancé à tous les acteurs de la filière construction.

C'est dans cet ordre d'esprit que s'inscrit cet article intitulé : « *Influence de la toiture sur le confort thermique des bâtiments urbains dans les tropiques sèches : cas de la ville de Ouagadougou, Burkina Faso* ». Il vise à proposer des solutions pour faire face aux changements climatiques pour les bâtiments existants et pour la conception des futurs bâtis. Autrement dit, il s'agit de proposer un confort thermique adéquat grâce à un modèle de toiture écologique réduisant la consommation d'énergie liée à la climatisation le plus naturellement possible dans nos bâtiments.

. Dans cette étude, nous allons d'abord faire une revue de la littérature et la méthodologie du travail. Ensuite, nous allons présenter et analyser les résultats obtenus dans nos recherches. Enfin, nous allons formuler des recommandation et perspectives.

II. Revue de la littérature

II.1. Définition du confort et de l'inertie thermique

II.1.1. Confort thermique

Le confort participe à la définition du bien-être. « Le confort est lié aux sentiments, à la perception, à l'humeur et à la situation. Sa définition fait à la fois appel à une approche négative (absence d'inconfort, qui se caractérise par exemple par l'absence de douleur, d'anxiété...) et à une approche positive (bien-être, satisfaction). » [MOSER, 2009]. Cette définition du confort permet de comprendre la complexité de la mesure du confort puisqu'un nombre élevé de paramètres physiques, psychologiques, physiologiques, sociologiques, culturels et personnels influence plus ou moins les différents confort définis par [MOSER, 2009]. La notion de confort est donc difficile à définir. Elle est sujette à de nombreuses recherches dans de multiples disciplines : physique, psychologie, architecture, biologie.... Selon Hoffmann, J. B, la définition la plus classique du confort thermique n'est autre qu'« **une absence d'inconfort** ». En période de fraîcheur, un bon confort thermique doit garantir une sensation suffisante de chaleur. En été, il doit limiter cette chaleur pour éviter les surchauffes.

II.1.2. Inertie thermique

D'après l'Architecte **Jean Michel PUPILLE**, l'inertie thermique peut être définie comme étant « **une tendance de tout système à conserver son état initial en permanence** ».

L'inertie thermique est donc la capacité physique d'un matériau à conserver sa température. Elle est recherchée afin de diminuer les apports thermiques à lui apporter pour maintenir une température constante. L'inertie thermique est importante pour assurer une ambiance climatique confortable pour l'occupant. Un bâtiment à forte inertie thermique équilibrera sa température en accumulant le jour, la chaleur qu'il restituera la nuit pour assurer une température moyenne. Les matériaux à forte inertie thermique sont utilisés pour accumuler la chaleur ou la fraîcheur (radiateur à accumulation, radiateur à inertie thermique, isolants à forte densité, briques réfractaires, etc.).

II.2. Techniques de rafraîchissement passif ou semi-passif de l'air dans les bâtiments à travers les toitures

Durant la période chaude, la consommation d'énergie pour le refroidissement représente un problème majeur pour les pays tropicaux chauds et secs et sa demande augmentera du fait du réchauffement climatique. À Ouagadougou (Burkina Faso), par exemple, la climatisation est un facteur important de la consommation d'énergie dans le secteur de la construction, qui pourrait être considérablement réduite par l'utilisation des techniques de rafraîchissement passif appelées « techniques passives ». En effet, l'objectif de ces techniques est d'améliorer le confort thermique dans les bâtiments non conditionnés et de réduire la consommation dans les bâtiments [Butera, 1994], Omer, 2008] et [Pacheco et al., 2012]. Plusieurs chercheurs ont passé en revue différentes techniques passives de rafraîchissement de l'air dans les bâtiments. L'une des techniques de refroidissement passif les plus importantes concerne la protection thermique et solaire des toitures.

La toiture est un élément principal pour améliorer l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Les techniques passives appliquées aux toitures (chaux, ombrage...) sont utilisées depuis des années. Littéralement, plusieurs techniques passives appliquées aux toitures ont été testées expérimentalement en utilisant des cellules test dans des conditions climatiques extérieures réelles.

[Nahar et al., 1999] ont mené une étude comparative de quatre techniques de refroidissement passif. Les auteurs ont évalué les performances thermiques de ces techniques dans le climat chaud et aride d'une ville indienne (Jodhpur) au moyen de cinq cellules test métalliques extérieures identiques de $(1.2 \times 0.6 \times 0.9) \text{ m}^3$ (Figure I.1). Les toitures de quatre cellules test ont été traitées selon les techniques étudiées alors que le toit de la cinquième cellule test est resté standard (sans traitement). Cette dernière toiture, prise comme référence, a été utilisée pour déterminer la réduction de l'air intérieur et de la température du plafond pendant les journées chaudes.

Les meilleurs résultats sont obtenus par la technique de refroidissement par évaporation. Cependant, cette technique nécessite une quantité importante d'eau, ce qui n'est pas adapté à un climat aride. De plus, les résultats des auteurs montrent que la technique de la peinture blanche a bien fonctionné, car elle permet une réduction importante de la température de la surface du plafond, en particulier pendant la nuit.



Figure 1 ; Photo des cinq cellules test munies des techniques passives . [Nahar et al., 1999]

[Al-Aturki et Zahi, 1991], ont étudié un système de refroidissement passif par évaporation en utilisant l'arrosage d'une toiture. L'expérience a été faite sur une toiture arrosée durant la journée en été à Djeddah en Arabie Saoudite. Le modèle expérimenté a montré que l'énergie échangée avec l'air extérieur par l'évaporation de l'eau d'arrosage peut réduire la charge de la climatisation de 40% dans ce climat chaud et sec. Les auteurs ont remarqué que pour le cas d'un arrosage uniformément réparti sur le toit, la température de la surface de la toiture est passé de 60°C à 40°C, durant un jour d'été en août 1990. Une autre étude expérimentale a été menée en Avril 1996 par [Al-Aturki et al., 1997] à Djeddah en Arabie Saoudite pour l'amélioration de la performance thermique d'une toiture, par l'utilisation d'une couche de gravier. Ils ont expérimenté une toiture en béton armé de 20cm × 20cm × 3cm, isolée par une couche de laine de verre de 5 cm d'épaisseur sur les quatre côtés extérieurs, pour réduire au maximum le transfert de chaleur à travers le périmètre de la dalle. La température est mesurée dans six points différents et à deux profondeurs (3 et 27 mm) de la face supérieure de cette toiture. Cinq toitures en béton recouvertes par plusieurs types de graviers de différents diamètres (4,5 à 12,5 mm) ont été expérimentées et comparées à une toiture de référence en dalle nue (standard). L'effet de la couche de gravier sur la réduction de la température dans les différents points de mesure présente un écart de température entre l'extérieur et les points de mesure d'environ 10°C. Ces couches de gravier présentent également des avantages sur le temps de réponse de la toiture (déphasage entre la toiture de référence et les toitures traitées) qui peut aller jusqu'à 3 heures, selon les auteurs.

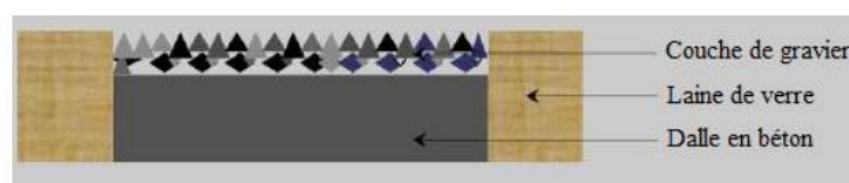


Figure 2 : Toiture expérimentée [Al-Aturki et al., 1997]

Récemment, [Sabzi et al., 2015] ont mené des études numériques et expérimentales de trois techniques de rafraîchissement passif. Les techniques passives étudiées sont : un réservoir d'eau, des sacs remplis d'eau et l'ombrage. Ces techniques ont été utilisées sur le toit d'une cellule test construite en Iran dans la ville de Shiraz, dont le climat est très chaud et sec en été. Les résultats expérimentaux ont été utilisés pour la validation d'un code numérique. Ces résultats montrent que la technique du réservoir d'eau permet un gain d'énergie en termes de refroidissement. De plus, les auteurs ont constaté que la performance énergétique de l'ombrage est voisine de celle du réservoir d'eau sauf l'après-midi où l'évaporation de l'eau permet un refroidissement supplémentaire du toit. La même technique du réservoir d'eau a été étudiée par [Rincón et al., 2000] dans une ville où le climat est humide et chaud. L'étude a été réalisée sur deux cellules test de (3 × 3 × 2,45) m³ à Maracaibo en Venezuela. Le toit de la première cellule test est isolé (cellule de référence) et celui de la deuxième cellule test est protégé par un réservoir d'eau isolé par deux panneaux d'isolation thermique en polystyrène et en fibres de verre peintes en blanc (Figure 3). Les résultats de leur étude montrent que l'écart thermique entre l'intérieure de la cellule test dont le toit est protégé par le réservoir d'eau, et la température extérieure est de l'ordre de 9°C alors qu'il est de 1°C pour la cellule test de référence.



Figure 3 : Cellule test avec un toit protégé [Rincón et al., 2000]

D'autre part, nombreuses études basées sur des simulations thermiques dynamiques par des logiciels commerciaux comme TRNSYS et EnergyPlus, ont été menées dans l'objectif d'apprécier les performances thermique et énergétique de différentes techniques de rafraîchissement passif. [Toguyeni et al., 2012] ont réalisé une étude sur l'effet de l'isolation thermique du toit d'une maison typique à **Ouagadougou au Burkina Faso (climat tropical et sec)** par des matériaux d'isolation locaux, sur la charge de refroidissement. Les parois verticales du bâtiment sont réalisées en mélange argile-paille et le toit est isolé par le bois blanc ou par des panneaux isolants en fibre naturelle. Les auteurs ont remarqué que l'argile-paille diminue la charge de refroidissement de 8% par rapport à des parois en argile. Ils ont montré aussi qu'une épaisseur d'isolation thermique de 1,5 cm du toit procure des économies de charge de refroidissement de 6,2% à 12,1% pour le bois rouge et le panneau isolant en fibres naturelles et un mélange chaux-ciment respectivement.

Une étude similaire sur la même technique a été réalisée par [Takakura et al., 2000]. Ils ont étudié l'effet de trois techniques différentes sur l'amélioration de la performance thermique des toits à travers quatre cellules test identiques. Chaque cellule est composée d'une dalle en béton armé de 90 cm × 90 cm × 6 cm qui couvre un espace de 30 cm de hauteur et les cinq autres côtés de la cellule test sont fermés par un isolant thermique en polystyrène de 5 cm d'épaisseur (Figure 4). La dalle de la première cellule test est standard (référence). La dalle de la deuxième cellule test est recouverte de 15 cm d'épaisseur de sol non humide. Dans la troisième cellule test, la dalle est recouverte de 15 cm d'épaisseur de sol humide et dans la quatrième cellule test, la dalle est recouverte de 15 cm de sol humide et sur lequel des végétations sont implantées. Une feuille de plastique est placée entre la dalle et le sol pour éviter l'infiltration de l'eau et facilite son drainage, qui se fait à l'aide des tubes de PVC placés sous le sol. Les résultats expérimentaux montrent que la quatrième configuration de la toiture est la plus performante. Les auteurs expliquent qu'une quantité d'énergie est perdue par l'évaporation d'eau dans le sol. Néanmoins, le poids de sol humide exerce une lourde charge sur la dalle.

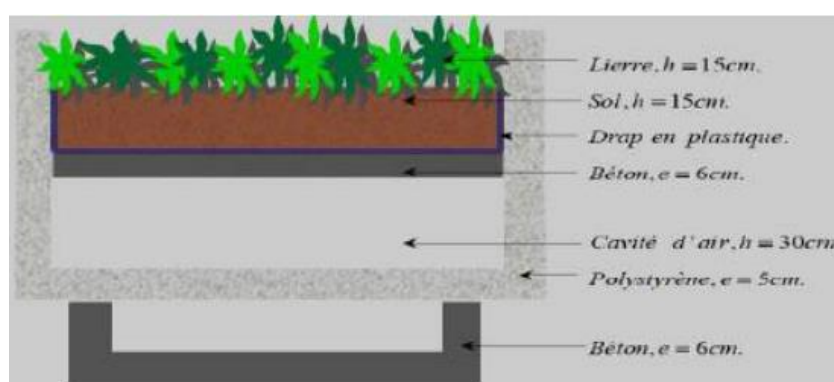


Figure 4 : Schéma de la cellule test avec toit végétalisé [Takakura et al., 2000].

A la suite de cette étude bibliographique, nous remarquons que l'évaluation de la performance thermique des techniques passives pour les toitures des bâtiments mérite encore d'être approfondie. En effet, les performances thermiques de ces techniques sont dépendantes du climat et doivent être explorées dans des conditions climatiques réelles de chaque pays.

III. Méthodologie

Pour atteindre notre objectif, nous avons procédé de la manière suivante :

- ✓ Phase préliminaire : elle concerne la recherche documentaire sur le confort et l'inertie thermique et l'élaboration des outils de collecte des données.
- ✓ La phase de collecte de données : Cette phase concerne les sondages et la conception des cellules test. Les sondages nous ont permis de bien cerner les problèmes de confort thermique que connaissent les habitants de la ville de Ouagadougou au niveau de leur lieu de résidence. Quant à l'utilisation des cellules test, celle-ci nous a permis d'atteindre l'objectif premier à savoir une étude comparative des différents types de toitures qui sont utilisées dans les zones tropicales. Nous avons profité d'insérer un autre type de toiture écologique (toiture végétalisée) afin de voir sa performance énergétique et de la comparer avec celles utilisées couramment dans les villes tropicales.
- ✓ La phase d'analyse des données et la formulation des recommandations

IV. Présentation et analyses des résultats

IV.1. Résultats sur les tendances climatiques au Burkina Faso à l'Horizon 2050

L'analyse de l'évaluation de la variabilité des facteurs climatiques au Burkina Faso indique une nette augmentation des températures et une régression de la pluviométrie. Le constat fait par les populations tout comme ceux issus de l'analyse des données et scénarios climatologiques établis par le modèle RCP6.0 de la **Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC)** pour le Burkina Faso font état d'une augmentation des températures de 2°C en 2030, 2.4°C en 2050, 3°C en 2080 et plus de 3.5°C en 2100 par rapport au niveau des températures préindustrielles. Cette hausse des températures sera accompagnée de très fortes baisses de précipitations de l'ordre de 3.5 à 7.3% par rapport au niveau normal des années 1961-1990, suivie d'une sécheresse intense à l'horizon 2050 (cfr www.unfccc.int) [PANA-2007].

Une analyse poussée du Laboratoire d'Analyses Mathématiques des Equations (LAME) de l'Université de Ouagadougou en 2012 montre que les températures extrêmes annuelles (températures minimales annuelles et températures maximales annuelles) ont une tendance générale à la hausse aussi bien dans la zone soudanienne que dans la zone sahélienne (Tableau 7). Cependant, cette hausse est beaucoup plus significative pour les températures minimales annuelles que pour les températures maximales annuelles.

Tableau 1: Evolution des températures extrêmes (période 1960-2011)

Localités	Variation des températures minimales annuelles	Variation des températures maximales annuelles
DORI	+0.8 °C	+0.3 °C
OUAGA	+0.8 °C	+0.5 °C
BOBO	+0.6 °C	+0.7 °C

LAME, 2012

Source : LAME (2012)

En outre, avec ces changements climatiques, nous subissons donc partout au Burkina Faso de plus en plus de vagues de chaleur, de plus en plus longues. Il en résulte des toitures qui chauffent, des intérieurs étouffants au bureau comme à la maison, des chaussées ou des ponts qui retiennent la chaleur, créant des îlots de chaleur. À l'heure où la climatisation n'est pas une si bonne option, il faut se tourner vers d'autres voies pour ne pas souffrir de la chaleur.

IV.2. Résultats issus des sondages

Le but de ses sondages était de mieux cerner les problèmes de confort thermique que connaissent les habitants de la ville de Ouagadougou au niveau de leur lieu de résidence. Pour cela, un total de 385 personnes répondant à nos critères d'éligibilité a été enrôlé dans cette étude.

Toutes ces personnes interrogées résident dans la commune de Saaba. Les réponses aux questionnaires ont été traitées en tant que données quantitatives. Un jugement par groupe est constitué par l'ensemble des sujets qui ont exprimé leurs jugements pour les mêmes conditions ambiantes.

➤ **Taille de l'échantillon**

Pour calculer la taille de l'échantillon, nous avons pris la formule suivante : [Rea L.M. et al., 1997] :

$$n = \frac{tp^2 \times P \times (1-P) \times N}{tp^2 \times P \times (1-P) + (N-1)y^2} \quad \text{[Equation 3.1]}$$

Où

n : taille minimale de l'échantillon ;

tp : Le risque maximum accepté. La valeur est issue d'une loi de probabilité (**loi de Student** pour une taille de population inférieure à 30, loi Normale pour une taille de population supérieure à 30). **tp** est aussi appelé degré de confiance ou intervalle de confiance.

P : La connaissance statistique préalable de la population enquêtée

N : taille de la population cible (nombre de ménages)

y : précision souhaitée avec erreur de 5% ($y = 0,05$) ;

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.5 \times (1-0.5) \times 718272}{1.96^2 \times 0.5 \times (1-0.5) + (718272-1)0.05^2} \quad \text{[Equation 3.2]}$$

$$n = 384,09 \approx 385$$

Au total, 385 élèves des classes de premières et terminales ont été enrôlés dans cette étude.

➤ **Résultats issus des sondages et discussions**

Les données recueillies dans ces sondages sont résumées dans les tableaux suivants :

	Caractéristiques des toitures	nombre	Pourcentage	
Bâtiments avec toiture en tôle	Avec coloris	118	30,65%	93,25%
	Sans coloris	241	62,60%	
Bâtiments avec toiture en dalle	-	19	4,93%	
Bâtiments avec autre types de toiture	-	7	1,82%	
total		385	100%	

Tableau 2: Caractéristiques des différents types de toiture utilisée à Ouagadougou [Auteur, 2024]

Dans le premier tableau des sondages, nous constatons que 93,25% des toitures sont en tôle dont 30,65% avec colorie et 62,60% sans colorie. Les autres types de toitures occupent un pourcentage de 6,75%. Cela veut dire qu'au Burkina Faso, la majorité de nos bâtiments sont couverts avec des toitures en tôle métallique.

Le deuxième tableau suivant nous donne les dépenses énergétiques dans les bâtiments à Ouagadougou.

	Caractéristiques des toitures	Nombre de ménages utilisant des brasseurs d'air et/ou climatiseurs		Utilisation des brasseurs en période froide		Nombre d'heures d'utilisation des brasseurs et/ou climat.> à 12h		Facture d'électricité	
		oui	non	oui	non	oui	non	Très élevée	Moins élevée
	Avec coloris	118	0	115	3	97	21	117	1

Bâtiments avec toiture en tôle	Sans coloris	241	0	236	5	210	41	124	117
Bâtiments avec toiture en dalle	-	19	0	17	2	19	0	18	1
Bâtiments avec autre types de toiture	-	7	0	6	1	7	0	7	0
total		385		385		385		385	

Tableau 3: Dépenses énergétiques dans les bâtiments à Ouagadougou [Auteur, 2024]

Dans le second tableau du sondage, nous remarquons que tous les 385 ménages sondés utilisent toutes des ventilateurs et/ou des climatiseurs. Parmi ces 385 ménages, 374 les utilisent en période froide soit un pourcentage de 97,14%. En plus, 266 de ses ménages citées (soient 69,81%) trouvent que leur facture d'électricité est élevée. Avec ses données, nous pouvons affirmer que les toitures en tôle métallique ne sont pas adaptées à nos climats tropicaux car même pendant la période froide, la majorité des ménages utilisent des brasseurs et/ou des climatiseurs pour rafraîchir leur local.

IV.3. Présentation et analyse des résultats issus des températures des cellules test

IV.3.1. En période froide

Les prises de températures du 03 au 04 janvier nous donnent les courbes suivantes :

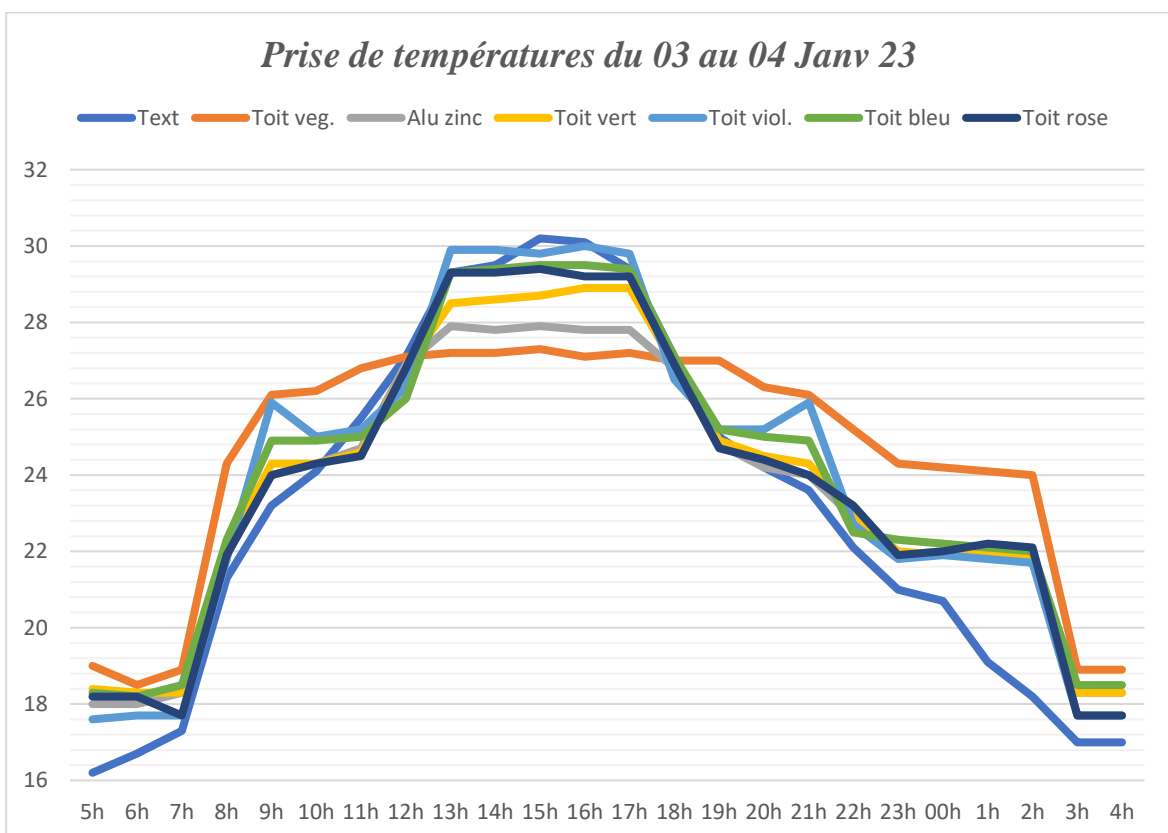


Figure 5 : Courbes des températures prises 03 au 04 janvier 2023 [Auteur, 2024]

Au vu du graphique, nous constatons que la courbe de température du bâtiment avec toit végétalisé est au-dessus des autres courbes entre 5h et 12h et aussi entre 18h et 4h. Nous constatons que c'est à partir de 27°C que cela se produit. ; pour les températures inférieures à 27°C la courbe du toit végétalisé est au-dessus des autres courbes tandis que pour les températures supérieures à 27°C cette courbe redescend en-dessous des autres.

Cela veut dire que quand il fait froid, la toiture végétalisée contribue à réchauffer le bâtiment. Par contre quand il fait chaud, cette toiture contribue à faire baisser la température.

Au vu des autres courbes, nous constatons aussi que le matin (de 5h à 10h) et le soir (de 18h à 4h du matin), c'est-à-dire durant la période froide de la journée, les diagrammes des températures issus des toitures en tôle de couleurs sombres (violet, bleu, verte) sont au-dessus

de celles claires (alu zinc claire, orange). Et en plus quand il fait chaud entre 12h et 18h, les toitures de couleurs sombres sont au-dessus de celles dites claires.

Cela veut dire que, les toitures en tôle de couleurs sombres absorbent la lumière solaire et celle dites claires les réfléchissent. C'est la raison pour laquelle que quand il fait froid, les maisons en toiture de couleur sombre possèdent une température intérieure plus chaude et quand il fait chaud, ces bâtiments sont plus chauds intérieurement. Au vu de tout cela, nous pouvons dire que les toitures végétalisées et en tôle de couleurs claires sont adaptées au climat chaud tandis que celles sombre au climat froid.

IV.3.2. En période chaude

Les prises de températures du 07 au 08 Avril nous donnent les courbes suivantes :

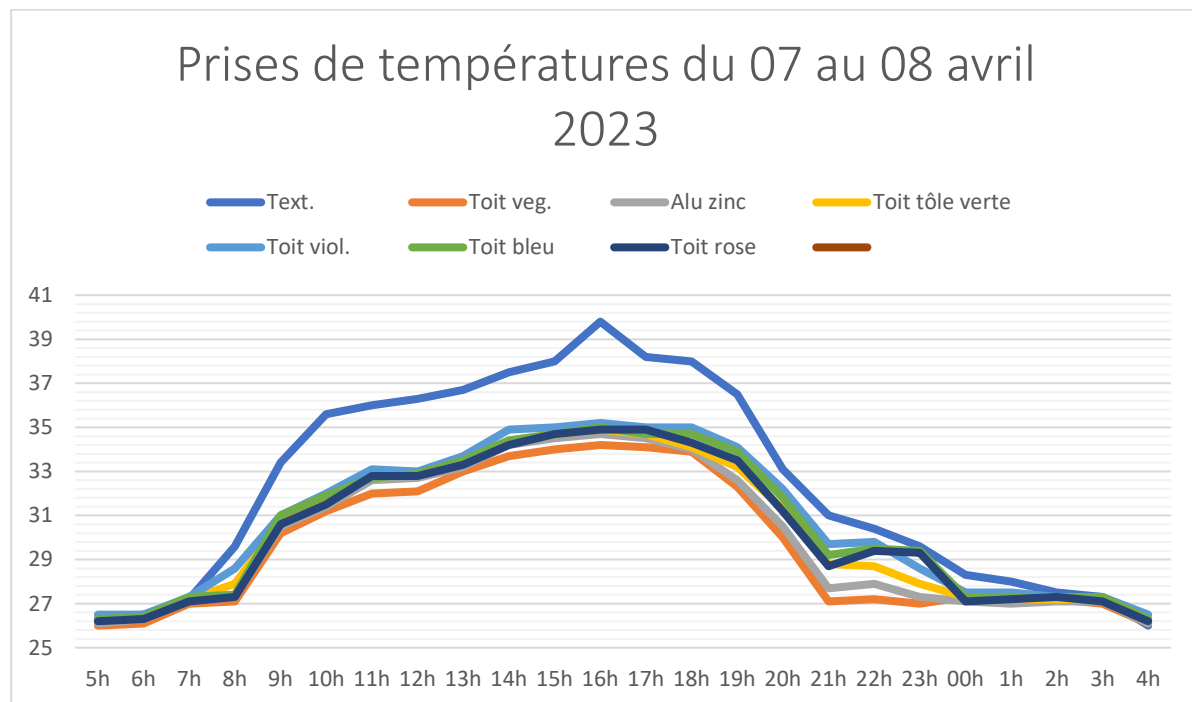


Figure 6: Prises de températures du 7 au 8 Avril 2023 [Auteur, 2024]

Pour ces courbes issues des prises de températures durant une journée complète, nous remarquons de façon générale que quand la température est inférieure ou égale à 27°C (entre 5h et 8h ; puis entre 02h à 4h) la courbe des températures relevées à l'extérieure des cellules test est légèrement en dessous des autres courbes. Par contre, entre 8h et 2h (quand la température dépasse 27°C, cette courbe se trouve au-dessus des autres courbes. Cela montre que les cellules test ont un caractère refroidisseur en période caniculaire et réchauffent le milieu intérieur en période fraîche.

En plus de cela, nous remarquons que la courbe issue des températures des cellules test avec toiture végétalisée est légèrement en bas des autres courbes surtout en période chaude de la journée (quand la température dépasse 27°C). Cette différence de température entre celle prise à l'extérieure des cellules et les températures issues de la toiture végétalisée peut même atteindre 5,6°C (39,8°C relevés à 16h à l'extérieure et 34,2 relevés à l'intérieur de la toiture végétalisée). Cela nous montre clairement que le toit végétalisé peut être une première solution pour le problème de confort thermique dans les zones tropicales en période caniculaire. Cette toiture est suivie de celle avec des tôles de couleurs claires (alu zinc claire ou orange)

V. Recommandations et Perspectives

V.1. Recommandations

L'architecture bioclimatique prend en compte, dès la conception d'un bâtiment, l'environnement et le climat dans lesquels celui-ci va s'intégrer, en étudiant notamment l'utilisation des ressources présentes dans la nature : soleil, vent, végétation et température extérieure. Cette approche architecturale s'attache à tirer parti des énergies naturellement disponibles, sous forme de lumière ou de chaleur. Une conception bioclimatique réussie est, du point de vue des besoins thermiques, une construction tendant vers l'autonomie énergétique. Il

est recommandé d'appliquer les principes de conception architecturale bioclimatique afin de favoriser une conception (action sur les formes urbaines) qui utilise au mieux les apports solaires, la ventilation naturelle et l'exploitation des filières locales d'énergies renouvelables. Nous allons recommander en trois étapes, les principaux points à mettre en œuvre en vue d'une conception énergétiquement efficace :

V.1.1. Orientation du bâtiment

Les apports de chaleur dans un bâtiment sont fortement dépendant de l'orientation de ce dernier par rapport à la trajectoire du soleil. Il s'agit d'un facteur clé dans les climats chauds. Les toitures étant les plus exposées au rayonnement, il convient de les isoler, de les ombrager ou encore d'utiliser leur masse thermique pour amortir le transfert calorifique qu'il sera possible de rejeter ensuite par une ventilation appropriée. L'angle d'incidence de l'ensoleillement est plus important à l'ouest et à l'est qu'au sud et au nord, et donc, les rayons plus pénétrants. **C'est pourquoi l'orientation la plus favorable dans les pays chauds se trouve le long de l'axe est-ouest.** Cela signifie que pour un bâtiment rectangulaire, les côtés les plus longs doivent faire face au nord et au sud. Le nord n'est pratiquement pas exposé, il est donc peu soumis aux apports de chaleur. L'exposition sud peut être facilement maîtrisée, le soleil étant au zénith, grâce à un débord de toiture ou un porte-à-faux.

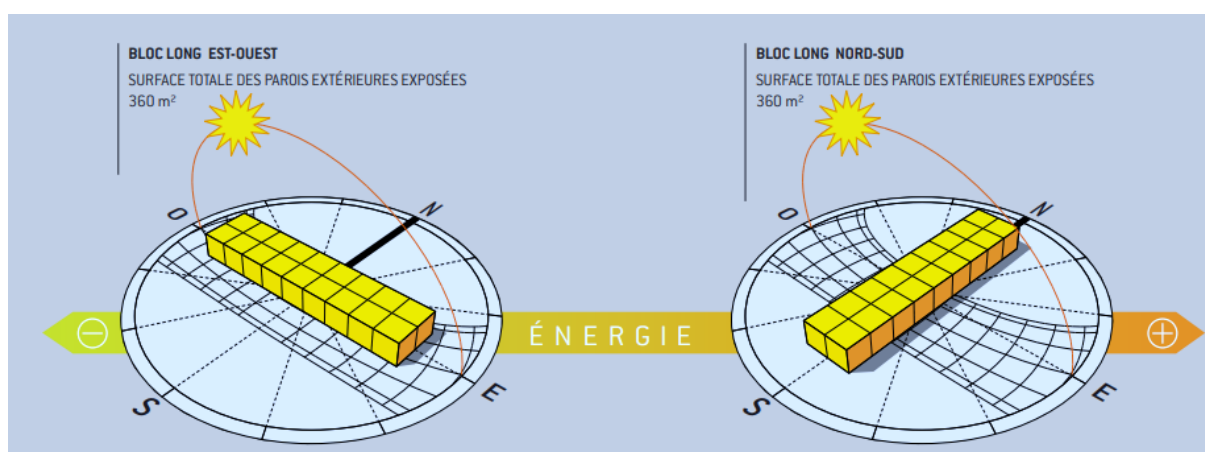


Figure 5: Orientation écologique d'un bâtiment sous du soleil [Source : Abdesselam Mohamed, 2013]

V.1.2. Protection solaire au niveau des toitures

C'est la toiture qui transmet le plus de chaleur dans le bâtiment : pour une bonne conception thermique et énergétique, il est essentiel et prioritaire d'assurer une protection solaire efficace en toiture :

- ☞ **En privilégiant un revêtement de teinte claire**
- ☞ **En s'assurant d'une bonne ventilation en sous toiture (combles ventilés ou sur-toiture ventilée)**
- ☞ **en isolant thermiquement la toiture.**

V.1.3. Réadaptation au niveau des autres composantes du bâtiment

Protection solaire des fenêtres et des baies

Protection solaire des murs

Végétalisation des espaces extérieurs et abords

V.2. Perspectives

Cette étude pourra être poursuivie dans les directions suivantes :

- ✓ La valorisation des techniques de climatisation passive ou à faible coût en lieu et place de la climatisation active pour réaliser des économies d'énergie dans tout le pays ;
- ✓ La contribution à la mise au point de normes énergétiques (code de qualité énergétique du bâtiment) et d'une réglementation thermique pour la construction ;
- ✓ La mise en œuvre des bâtiments bioclimatiques adaptés au climat de la région tropicale sèche.

Conclusion

Ce travail avait pour objectif de proposer un confort thermique adéquat grâce à un modèle de toiture écologique réduisant la consommation d'énergie liée à la climatisation le plus naturellement possible dans nos bâtiments. L'étude expérimentale du comportement thermique des techniques passives choisies a été menée, dans des conditions météorologiques réelles, sur six cellules test identiques à échelle réduite avec des toitures différentes.

En premier lieu, l'étude bibliographique nous a permis d'identifier les techniques passives et les solutions bioclimatiques utilisées à travers le monde pour améliorer la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment, et surtout celles appliquées aux toitures puisqu'elles sont les surfaces chauffées davantage par les rayons solaires verticaux. Cette étude nous a permis également de s'intéresser particulièrement aux matériaux locaux et naturels pour construire un deuxième prototype dans lequel nous avons évalué les techniques passives choisies.

Ensuite, nous avons évalué le comportement thermique de six cellules test identiques simultanément pendant une période froide (fin décembre-début janvier) et caniculaire (mois d'avril). Les cinq cellules test ont des toits en tôles de couleurs différentes (alu zinc claire, bleue, verte, violette, rose) et le toit de la sixième cellule test est resté végétalisée. Le suivi expérimental a montré que les techniques passives à savoir la peinture claire, et le toit végétalisé ont tous un effet bénéfique et ont permis de réduire les échanges thermiques avec l'extérieur par rapport à un toit en tôle de couleur sombre.

Aujourd'hui, c'est le facteur économique et financier qui semble être le plus important aux yeux du monde. Il faut espérer que dans les années à venir il y ait une véritable prise de conscience générale et que les économies d'énergie ne soient plus abordées seulement sous l'angle économique, mais sous l'aspect environnemental. Cela nous permettrait ainsi de comprendre qu'économiser l'énergie n'est pas seulement un « placement financier », mais une opportunité que nous avons pour préserver notre écosystème.

Annexes

Quelques photos des cellules test





Figure 8: Histogramme des températures prises le 22/12/22 à 6h, 10h et 14h [Auteur, 2024]

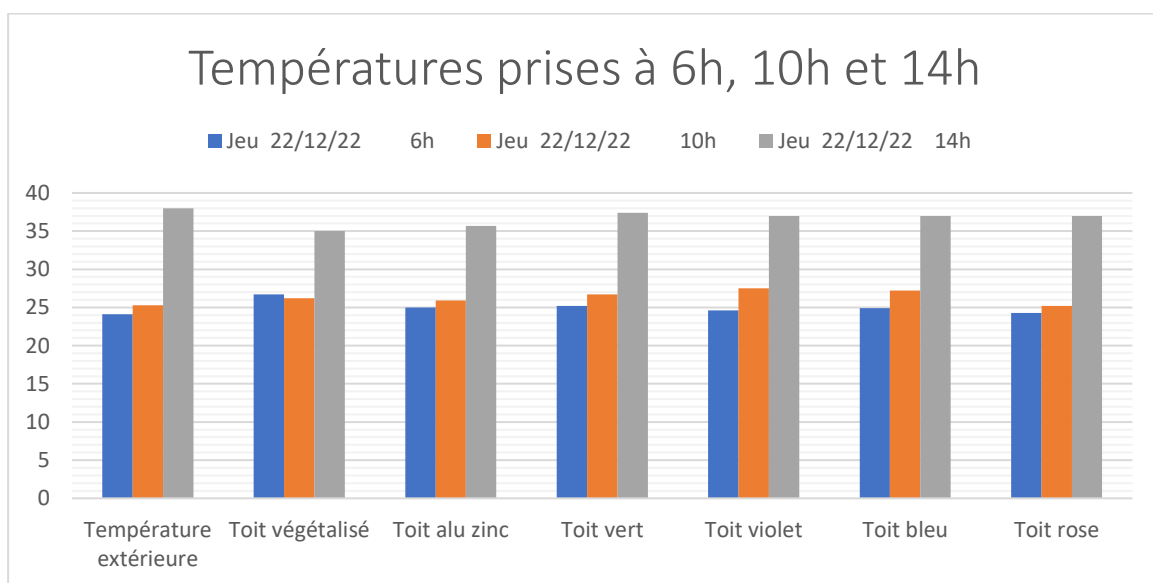
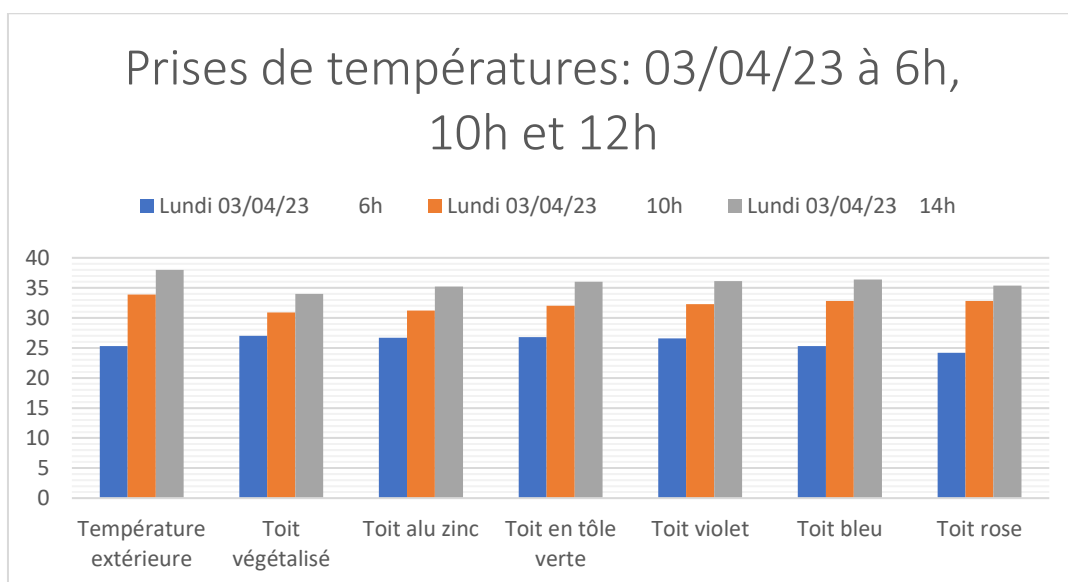


Figure 9: Histogramme des températures prises le 03/04/23 à 6h, 10h et 12h. [Auteur, 2024]



Références bibliographiques

- 1- [23 juillet 2009. Méthodologie de Calcul d'un indice thermique du corps humain, Subvention ANR N° ANR-08-VULN-013-0x/VURCA, 15 p.
- 2- [Al-Aturki et al, 1997] Al-Turki A. M., Gari H. N., Zaki G. M., "Comparative study on reduction of cooling loads by roof gravel cover.", *Energy and Building*, vol. 25: pp. 1-5, 1997.
- 3- [Al-Aturki et Zahi, 1991] Al-Aturki A. M., Zahi G. Z., "Energy saving through intermittent roof cooling." *Energy and Building*, vol. 17: pp. 35-42, 1991.
- 4- [Amer, 2006] Amer Emad H., "Passive options for solar cooling of building in arid areas", *Energy*, vol. 31: pp. 1332-1344, 2006.
- 5- [Ben Cheikh H., Bouchair, 2008] Ben Cheikh H., Bouchair A., Experimental studies of a passive cooling roof in hot arid areas, *Energies Renouvelables*, vol. 11: pp. 515-522, 2008.
- 6- [Benhamou & Bennouna, 2013] B. Benhamou, A. Bennouna, "Energy Performances of a Passive Building in Marrakech: Parametric Study", *Energy Procedia*, Vol. 42, pp. 624-632, 2013.
- 7- [Butera, 1994] F.M. Butera, *Energy and buildings in Mediterranean countries: Present and future. Renewable Energy*, 5 Part II, pp. 942-949, 1994.
- 8- [CGE-2010] 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.
- 9- [Claessens et al.] Efficacité énergétique de la climatisation en région tropicale. Tome 1 : Conception des nouveaux bâtiments. 186 p.
- 10- [Claude (A.R.).-1987]. *Énergétiques du bâtiment I et II*. Presses Polytechniques Romandes. Lausanne, SUISSE. 134 et 236 p.
- 11- [Fanger, 1970] P. O. Fanger, "Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering", USA: McGraw-Hill Book Company, 1970.
- 12- [FONTES J. et GUINKO S. 1995]. Carte de la végétation naturelle et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Université de Ouagadougou: ICIV. Université de Toulouse.
- 13- [Frédéry Lavoye, Françoise Thellier-2008]. *Le confort thermique dans les bâtiments*. 2008. ffhal-02180957
- 14- [Garg et al, 2015] V. Garg, R. Kotharkar, J. Sathaye, H. Rallapalli, N. Kulkarni, N. Reddy, P. Rao, A. Sarkar, Assessment of the impact of cool roofs in rural buildings in India, *Energy and Buildings*, vol 114: pp. 156-163, 2015.
- 15- [Geetha et Velraj, 2012] N. B. Geetha, R. Velraj, Passive cooling methods for energy efficient buildings with and without thermal energy storage - a review, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research* vol 29(2): pp. 913-946, 2012.
- 16- [GRET-2009] Étude préliminaire d'adaptation aux changements climatiques en afrique bâtiments- juillet 2009