

LE RAFRAICHISSEMENT PASSIF



REMERCIEMENTS

Nos remerciements aux membres de la communauté de pratique sur l'efficacité des ressources dans le bâtiment à savoir :

- Direction l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction (DGAIC);
- Ordre des Architectes du Burkina (OAB);
- Comité National de Tutelle et de Suivi (CNTS);
- Direction Générale de l'Energie (DGE);
- Institut de Recherche en Sciences Appliquées et de Technologies (IRSAT);
- Secrétariat Permanent de la Promotion du Logement (SP-PL);
- Direction Générale des Affaires Immobilières et de l'Equipement de l'Etat (DGAIE);
- Office National du Contrôle des Aménagements et des Constructions (ONC-AC);
- Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP);
- Direction Générale de l'Urbanisme, de la Viabilisation et de la Topographie (DGUVT);
- Programme des Nations unies pour les établissements humains (ONU-HABITAT);
- Direction Générale des Impôts (DGI);
- Secrétariat Permanent du Conseil National pour le Développement Durable (SP/CNDD);
- Direction Générale de l'Economie Verte et du Changement Climatique (DGEVCC);
- Bureau National Ozone (BNO);
- Agence Burkinabè de Normalisation de la Métrologie et de la Qualité (ABNORM);
- Agence Nationale des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique (ANEREE).
- Ordre des Ingénieurs en Génie Civil du Burkina Faso (OIGC-BF)
- Université Joseph KI-ZERBO;
- Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE);
- Ordre des Urbanistes du Burkina (OUB);
- Ministère en charge du Commerce;
- Chambre de Commerce de l'Industrie et de l'Artisanat du Burkina Faso (CCIA BF);
- Maison de l'Entreprise.

Ce document a été élaboré et mis en page par :

- Walter DABIRE, consultant rafraichissement passif des bâtiments, OAB, Burkina Faso ;
- Madi KABORE, coordonnateur de projet, GGGI Burkina Faso ;
- Wendenda Renaud NACOULMA, stagiaire en rafraichissement passif des bâtiments, GGGI Burkina Faso;
- Isabelle KY/BEIDARI, chargée de communication, GGGI Burkina Faso;
- Mélia Déogracias Carina BELEM, consultante en communication, GGGI Burkina Faso;
- Laura JALASJOKI, Représentante Résidente, GGGI Burkina Faso;
- Lamine OUEDRAOGO, Spécialiste Programme, GGGI Burkina Faso.



Zoom sur GGGI

L'Institut Mondial pour la Croissance Verte (Global Green Growth Institute - GGGI) est une Organisation Intergouvernementale à laquelle l'Etat du Burkina Faso a adhéré. Il a son siège à Séoul, en Corée du Sud et accompagne les Etats Membres dans l'accélération de leur transition vers la croissance verte. Le développement des villes vertes, y compris la promotion des bâtiments verts, constitue l'un des quatre piliers de ses interventions, dans ses Etats-Membres.

PARTENAIRES



Copyright © 2023 Global Green Growth Institute. All rights reserved.

GGGI Burkina Faso

3ème étage du Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement, Avenue Pr. Joseph Ki-Zerbo, Kadiogo, Ouagadougou-Burkina Faso

Tel. +226 25 33 50 76

email: burkinafasoinfo@gggi.org

SOMMAIRE

1

Contexte

2

Notions de thermique

3

Confort thermique

4

Cool roof

5

Façade réfléchissante

6

Inertie thermique

7

Sur-toiture

8

Ventilation naturelle

9

Végétalisation

10

Dispositions des volumes interieures

11

Protections solaires



1. Contexte

Face aux enjeux du réchauffement climatique, le refroidissement des espaces est vital pour la santé, la sécurité et la prospérité de l'homme. Il permet de vivre, de travailler et d'apprendre confortablement dans les bâtiments. La chaleur extrême et le manque d'accès au refroidissement menacent actuellement la santé et la sécurité de plus de 1,2 milliard de personnes dans le monde. Avec la hausse des températures, la demande de refroidissement devrait tripler d'ici à 2050. Le refroidissement produit déjà plus de 7 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre et si nous ne transformons pas notre façon de refroidir, ces émissions pourraient doubler au cours de la même période. Directement impactés par le changement climatique, nos régions sont confrontées de façon croissante aux vagues de chaleur en période chaude. En effet, selon la première partie du 6ème rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), les augmentations des événements d'extrêmes de chaleur devraient très certainement se poursuivre tout au long du 21ème siècle avec un réchauffement climatique supplémentaire sur le continent africain. Il est urgent de proposer des alternatives au recours croissant à la climatisation, qui a des impacts multiples à la fois en termes, de consommation énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre des fluides frigorigènes durant le cycle de vie des produits. En effet dans les pays d'Afrique subsaharienne le taux d'accès aux climatiseurs est faible mais en forte croissance due à l'évolution du niveau de vie. Par anticipation, il est donc essentiel de concevoir des bâtiments à la fois moins consommateurs d'énergie et plus confortables en exploitant au mieux les atouts de son milieu naturel et son contexte climatique. Ceci est l'objectif de ce guide qui présente certaines stratégies de conception bioclimatique et de rafraîchissement passif en contexte climatique chaud.

Le rafraîchissement passif est un sujet bien connu mais complexe à quantifier : les connaissances issues de la recherche et les premières expérimentations donnent des résultats, parfois difficiles à interpréter pour les planificateurs et les acteurs de mise en œuvre.

Le guide propose une approche synthétique, multicritères et opérationnelle des solutions émergentes ou éprouvées, adaptées à différents contextes climatiques. Il s'agit de contribuer à la prise de décision des acteurs publics et privés, tant sur leurs choix d'aménagement, de construction, de rénovation des bâtiments que d'aménagement des espaces extérieurs.



2. Notions de thermique

1

La chaleur

La chaleur est une forme d'énergie dont les manifestations ont la particularité d'être directement ressenties par le corps humain. Les notions de chaud ou de froid résultent de la perception par nos sens de la présence ou de l'absence de chaleur, ou plus exactement de l'accroissement ou de la diminution de la chaleur. Il existe deux types de chaleur : la chaleur latente (due au changement de phase) et la chaleur sensible (due à la variation de température à pression constante).

2

La capacité thermique

La capacité thermique mesure la chaleur qu'il faut lui transférer pour augmenter sa température d'un degré. Elle permet de quantifier la possibilité qu'a ce corps d'absorber ou de restituer de la chaleur au cours d'une transformation pendant laquelle sa température varie.

3

La température

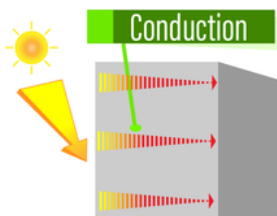
La température est reliée au degré d'agitation moléculaire de la matière. Elle est définie par l'équilibre de transfert de chaleur avec d'autres systèmes. Par exemple, quand l'agitation est faible, l'objet est froid au toucher. Cette sensation est due à un transfert de chaleur des doigts vers l'objet.

4

La transmission de la chaleur

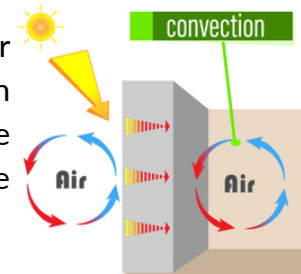
Il existe trois modes de transfert d'énergie thermique :

→ La Conduction



C'est le moyen par lequel la chaleur circule de proche en proche dans un matériau ou passe d'un corps à un autre en contact physique direct, par simple interaction moléculaire.

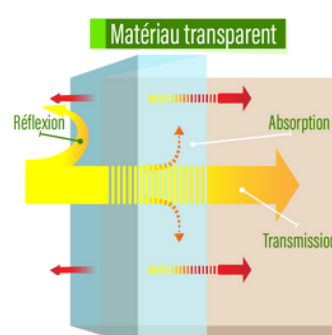
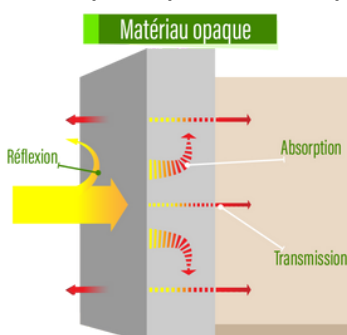
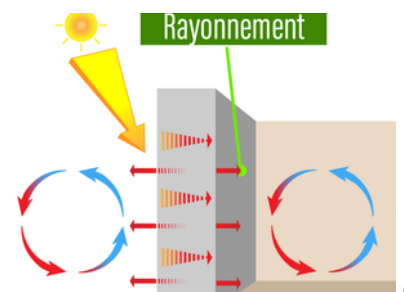
→ La Convection



Echange de chaleur entre une surface et un fluide. La convection est corrélée à la vitesse du fluide.

→ Le Rayonnement

Le rayonnement est un transfert d'énergie sous forme d'ondes et de faisceaux de particules. C'est un processus physique de transmission de la chaleur sans support matériel. Les corps émettent de l'énergie par leur surface, sous forme d'un rayonnement d'ondes électromagnétiques, et ce d'autant plus que leur température est élevée.



5

La Conductivité thermique

La conductivité thermique est la caractéristique qui juge l'aptitude d'une matière à transférer la chaleur qu'elle capte. Cette conductivité thermique s'exprime en watt par mètre-kelvin (W/(m.K)). Plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau est conducteur de la chaleur. Plus elle est faible, plus le produit est isolant.

Illustration de la conductivité thermique

Conductivité de certains matériaux de construction

Rang	Matériau	Conductivité (W/mK)
1	Polyuréthane	0,022
2	Fibre de bois Steico therm	0,04
3	PSE extrudé	0,04
4	Laine de verre	0,04
5	PSE expansé	0,04
6	Laine de roche	0,044
7	Liège	0,05
8	Béton cellulaire	0,09
9	Laine de bois	0,1
10	Panneau ODB	0,12
11	Bois Sapin	0,15
12	Plaque de plâtre	0,25
13	Plâtre carreaux	0,25
14	Bois chêne	0,29
15	Brique pleine	0,74
16	Pierre	1,7
17	Béton plein	1,8
18	Acier	50
19	Aluminium	230

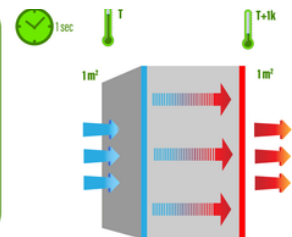
6

La résistance thermique

La résistance thermique indique la capacité d'un matériau à résister aux variations de chaleur. Elle dépend à la fois de la conductivité thermique (λ) et de l'épaisseur du matériau. Plus le coefficient de résistance thermique R est élevé, plus le matériau est isolant. Le **Coefficient global d'échange thermique (U)** est calculé à partir des résistances thermiques (Conduction et Convecto-radiatif)

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

R = résistance thermique exprimée en m² K/W
 e = épaisseur du matériau exprimée en mètre
 λ = lambda en W/(m.k)



Principe de la résistance thermique

7

L'effusivité thermique

C'est la capacité d'un matériau à emmagasiner très rapidement la chaleur du milieu ambiant. Le coefficient E indique la valeur en kilojoules (kJ) qui pénètre sur 1m² de surface de matériau, une seconde après un contact avec une matière dont la température est plus élevée de 1°C. Plus le coefficient est bas, plus le matériau se réchauffe vite. Un matériau qui a une effusivité importante (méta) absorbe rapidement beaucoup d'énergie sans trop se réchauffer en surface. Inversement, un matériau avec une faible effusivité (bois) se réchauffe rapidement en surface, mais absorbe peu de chaleur.

8

La diffusivité thermique

La diffusivité thermique caractérise la vitesse à laquelle la chaleur se propage, par conduction, dans un corps. Elle exprime la capacité d'un matériau à transmettre (rapidement ou non) une variation de température. Plus elle est faible, plus le front de chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau, et donc, plus le temps entre le moment où la chaleur est arrivée sur une face et le moment où elle atteindra l'autre face est important.

Technique de rafraîchissement passif des bâtiments

3. Confort thermique

Le confort thermique est défini comme « un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique ». Le confort est donc une sensation physiologique faisant intervenir plusieurs paramètres. En effet, la température du corps humain est à 37.6°C et produit constamment de la chaleur. C'est la raison pour laquelle, les conditions thermiques de l'ambiance qui nous entoure doivent nous permettre d'évacuer facilement cette chaleur produite.

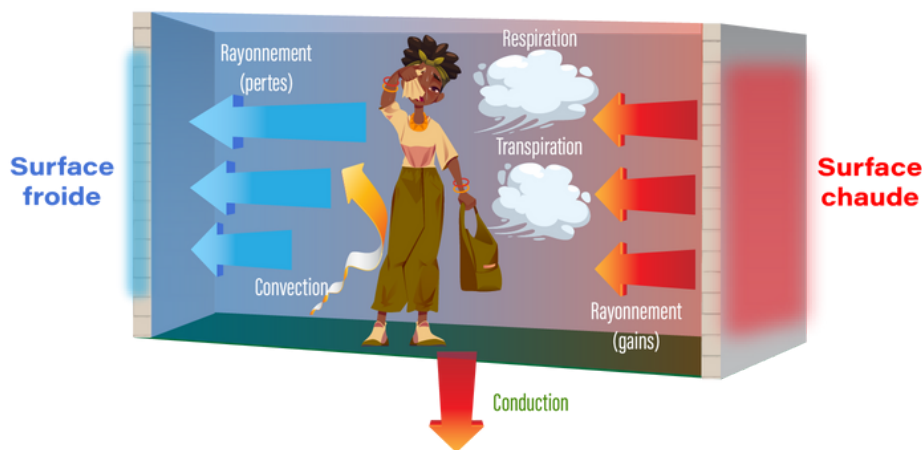


Bon à savoir

Le confort thermique tient compte :

1. Des facteurs liés à l'individu comme :

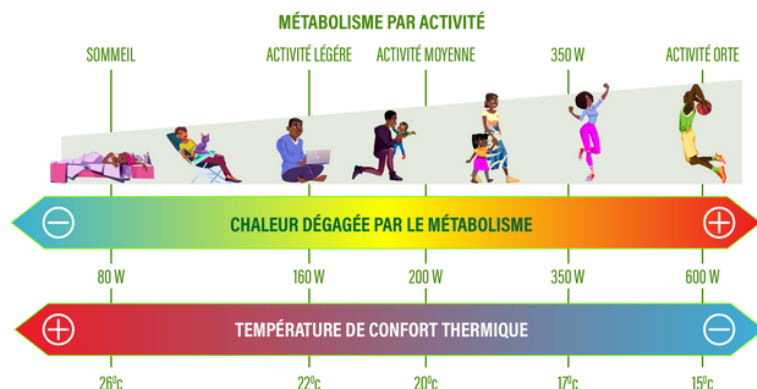
- Le métabolisme (qui varie en fonction de l'activité)
- Et l'habillement.



Les échanges thermiques entre le corps humain et l'environnement

2. Et des facteurs liés à l'environnement tels que :

- Les températures ambiantes de l'air ;
- La pression de vapeur d'eau ou l'humidité relative de l'air ;
- Les températures des surfaces environnantes ;
- Et la vitesse relative de l'air et le degré de turbulence.



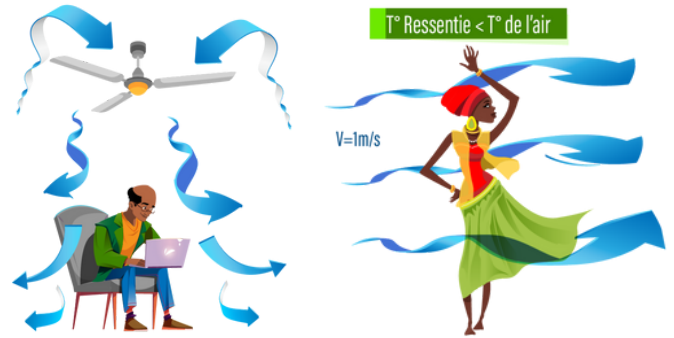
Plus l'homme est physiquement actif, plus son corps dégage de l'énergie sous forme de chaleur.

Production du métabolisme par activité (adaptée de Craterre 2017)

Confort thermique et Vitesse de l'air

La vitesse de l'air est un paramètre à prendre en considération car elle influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau. Cela a un impact sur la température opérative (température ressentie).

Illustration : Se promener à la vitesse de 1 km/h produit sur le corps un déplacement de l'air de 0,3 m/s. Ainsi, le mouvement de l'air abaisse la température du corps, le facteur recherché pendant la chaleur mais pouvant être gênant lors des périodes de fraîcheur (courants d'air).



Confort thermique et mouvement de l'air

Confort et humidité de l'air

L'humidité relative ambiante influence la capacité de notre corps à éliminer une chaleur excédentaire. Ainsi, une température extérieure de 30°C et une humidité relative de 82 % (après une pluie en période de forte chaleur), entraîne une forte impression de transpiration, due à l'impossibilité pour la peau d'évaporer l'eau de transpiration et donc de se rafraîchir. Cependant, une température de 30°C conjointe à une humidité relative de 18 % permet de refroidir la peau par l'évaporation de l'eau de transpiration. De ce fait, La chaleur nous paraît " très supportable ".

Evaluation du confort thermique

Le confort thermique revêt un caractère subjectif. Des efforts ont été réalisés pour l'évaluer.

On peut distinguer :

- Le confort thermique des ambiances contrôlées avec la Norme ISO 7730 (méthode de Fanger);
- Le confort thermique dans les bâtiments en évolution libre avec les normes de confort adaptatif (EN 12541 , ASHRAE 55);
- Et les Diagrammes bioclimatiques.

Une bonne conception du bâtiment permet donc à la fois de répondre à ces différents critères tout en réduisant, voire annulant les dépenses énergétiques des techniques actives de ventilation, de rafraîchissement et de chauffage en fonction du climat.

- GI Gains internes
- DH Déshumidification (conditionnement d'air)
- AC Refroidissement (conditionnement d'air)
- H Chauffage (conditionnement d'air)
- C Confort
- I Forte inertie
- INV Très forte inertie et ventilation nocturne
- V Ventilation
- RE Refroidissement par évaporation
- H1 Chauffage solaire passif
- H2 Chauffage solaire actif ou chauffage conventionnel

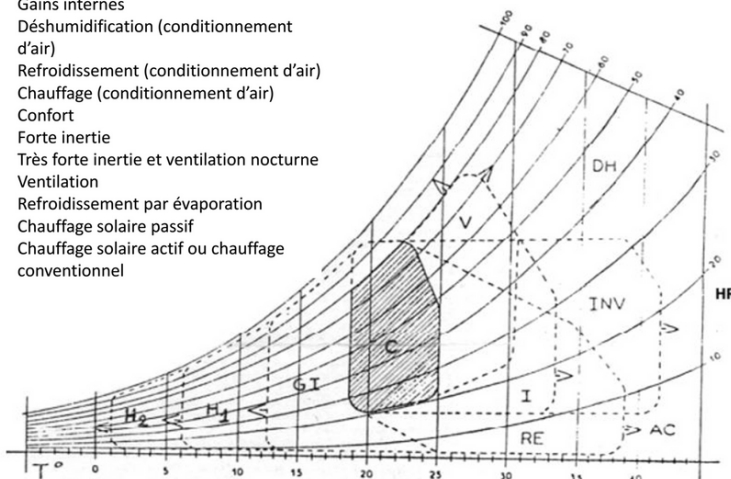
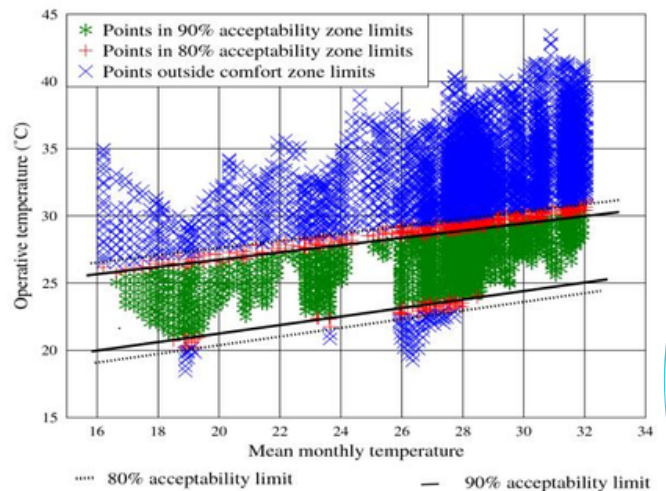


Diagramme bioclimatique de GIVONI



Analyse du confort thermique (ASHRAE 55) pour un bâtiment à Ouagadougou (60% des heures sont hors de la plage de confort thermique)

Technique de rafraîchissement passif des bâtiments

4. Cool Roof ou "Toiture Fraîche"

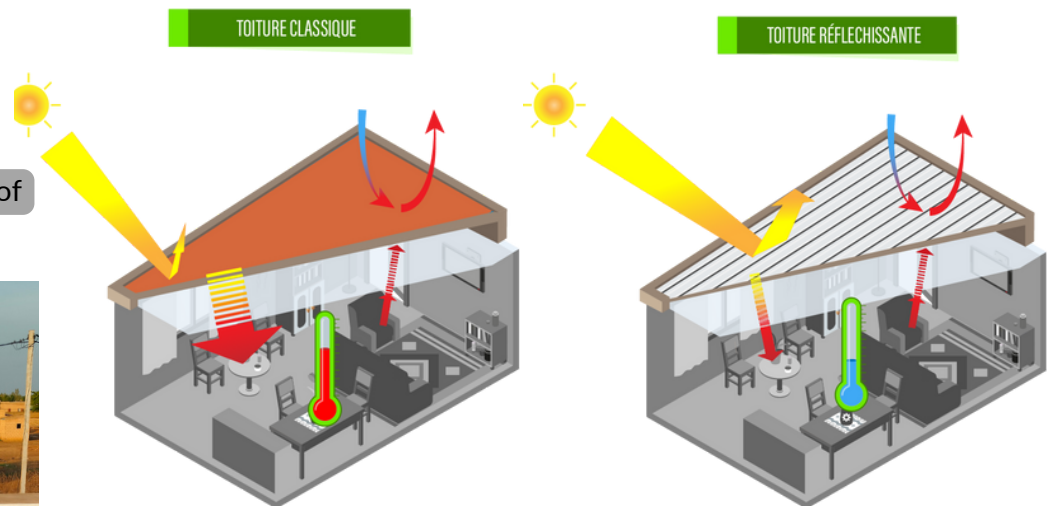


Application d'une peinture cool roof sur une toiture



Mise en oeuvre de cool roof

Une toiture dite « **cool roof** » possède un revêtement ou une peinture permettant de limiter l'énergie solaire absorbée par la toiture tout en permettant une émission importante de la chaleur accumulée vers la voûte céleste. En renvoyant la majeure partie du rayonnement solaire vers le ciel, le revêtement Cool Roof permet de baisser la température des toitures pour ainsi limiter l'effet îlot de chaleur et les surchauffes à l'intérieur du bâtiment.



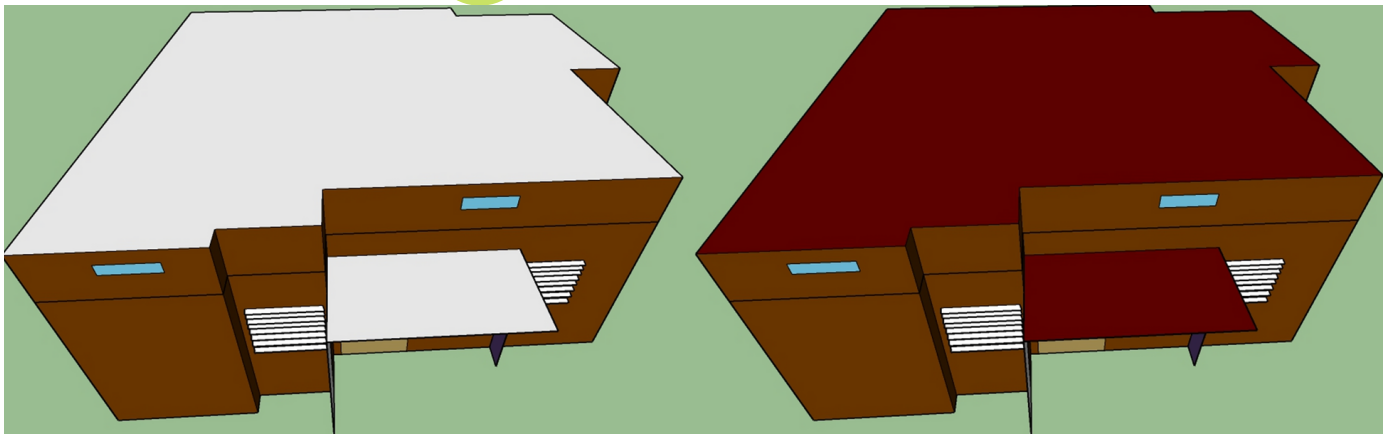
Transferts thermiques (gauche) pour une toiture conventionnelle, (droite) pour une toiture réfléchissante (cool roof)

Avantages

- Pas de surcharge de la toiture ;
- Diminution de l'inconfort thermique et augmentation de la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments naturellement ventilés ;
- Technique à la fois réalisable pour les nouvelles et anciennes constructions ;
- Economie d'énergie pour le refroidissement des bâtiments climatisés ;
- Augmentation de la durée de vie des équipements de climatisation et meilleur rendement des groupes froids placés en toiture.

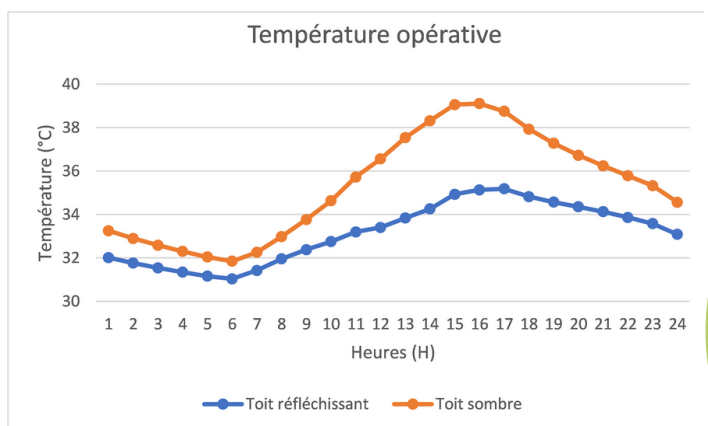
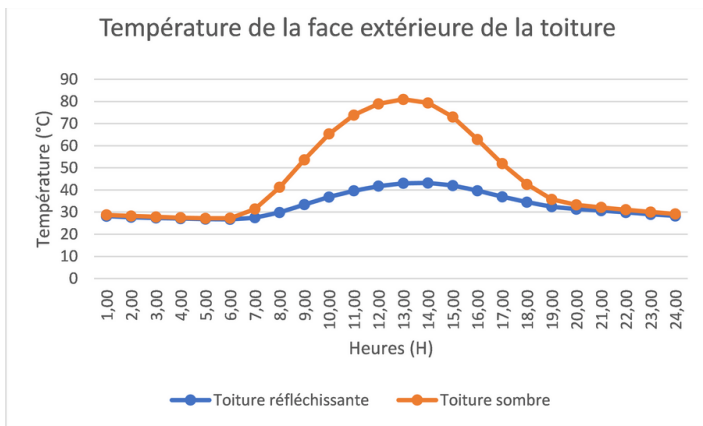


Application



Logement à toiture réfléchissante (cool roof) à gauche et à logement toiture sombre à droite

Les graphiques ci-dessous montrent que durant les heures de fort ensoleillement, la température de la toiture claire est inférieure à celle de la toiture sombre avec un écart d'environ 40°C pour un logement de type social simulé dans le contexte climatique de Ouagadougou.



Courbes des Températures de surface extérieure pour une toiture réfléchissante et une toiture sombre

Façade	Heures d'inconfort thermiques (GIVONI)	Degré-heures (ASHRAE 55)
Sombre	5 195 heures	28 953 DH
Claire	4 587 heures	11 400 DH

Diminution des heures d'inconfort thermique de 12% et réduction de l'intensité du stress thermique de 61%.

Heures d'inconfort selon Givoni et les degré-heures selon Ashrae 55

Catégories de teintes	Couleurs	Coefficient d'absorption
Claire	Blanc, jaune, orange, beige, crème, rouge clair	0,4
Moyenne	Rouge sombre, vert clair, bleu clair	0,6
Sombre	Brun, vert sombre, bleu vif, gris clair, bleu sombre	0,8
Noire	Gris foncé, brun sombre, noir	1

Coefficient d'absorption en fonction de la teinte et de la couleur (ECODOM+ 2010)

Technique de rafraîchissement passif des bâtiments

5. Façade réfléchissante

La façade réfléchissante est un revêtement ou une peinture permettant de limiter l'énergie solaire absorbée par un bâtiment. Ceci permet un rejet important de la chaleur accumulée vers la voûte céleste (ciel). Le côté réfléchissant permet de renvoyer les infrarouges et de limiter le stockage de chaleur transmis par les rayons solaires.

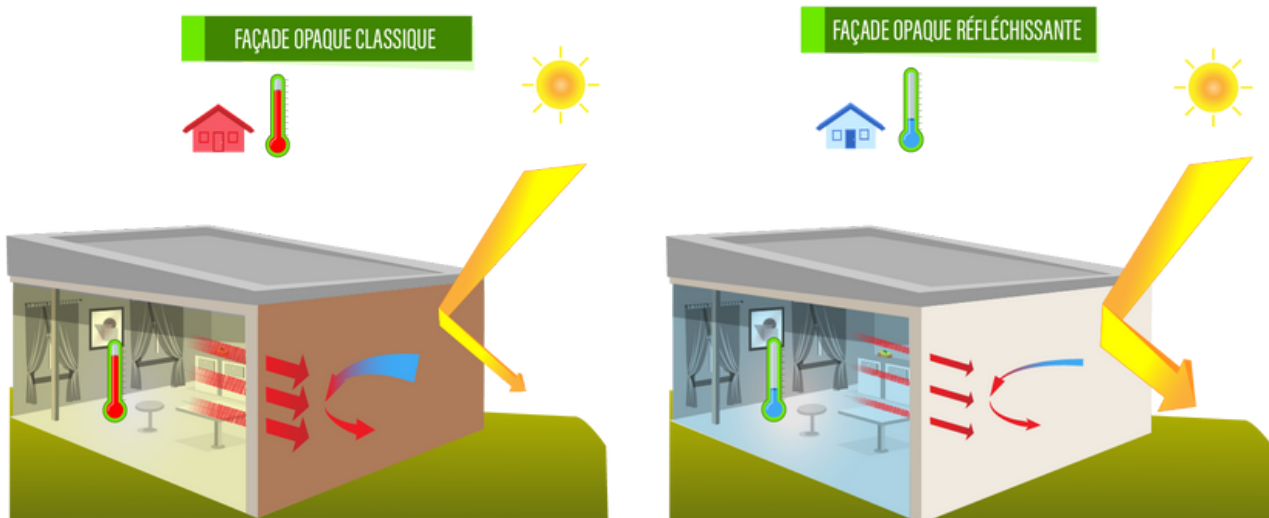
Avantages



- Diminution de l'inconfort thermique ;
- Augmentation de la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments naturellement ventilés en période chaude ;
- Réduction des dépenses d'entretien et de réparation des façades grâce à une durée de vie prolongée dû à des températures faibles ;
- Economies d'énergie pour le refroidissement en période chaude des bâtiments climatisés.



Bâtiments à facades réfléchissantes



Transferts thermiques (gauche) pour une façade conventionnelle, (droite) pour une façade réfléchissante

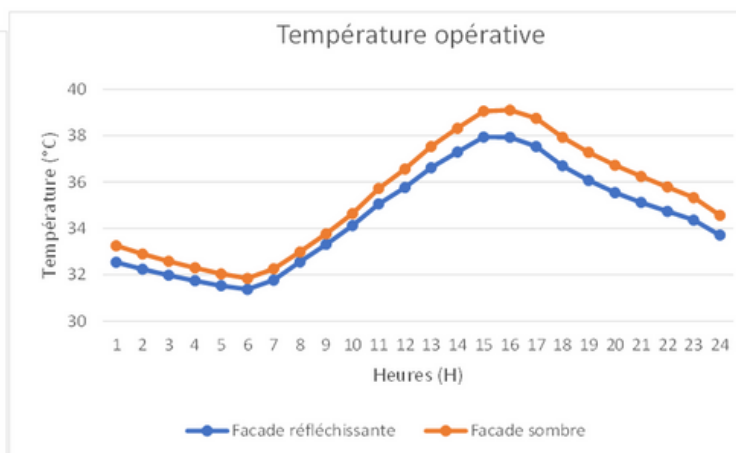
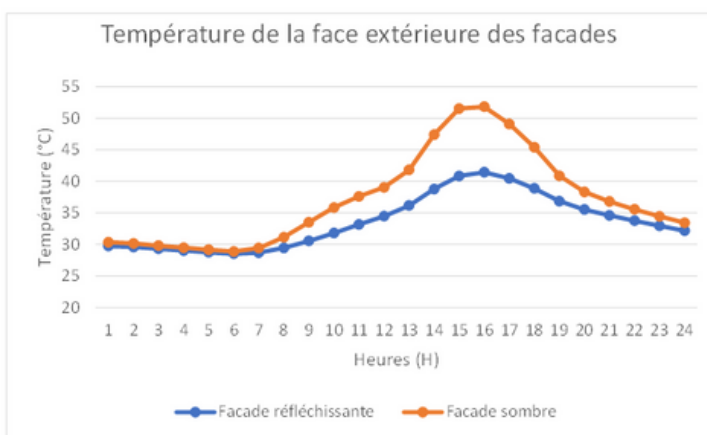


Application



Logement à façade réfléchissante à gauche et logement à façade sombre à droite

Après la simulation d'un logement de type social en utilisant le logiciel ENERGYPLUS dans la ville de Ouagadougou, l'on a obtenu la différence suivante entre la température des murs externes d'une façade réfléchissante et celle d'une façade sombre :



Courbes des températures de surface des murs extérieurs (à gauche) et de la température opérative (à droite) en journée chaude

En se basant sur les heures d'inconfort de GIVONI et les degré-heures de ASHRAE 55, on constate une diminution des heures d'inconfort thermique de 4% et une réduction de l'intensité du stress thermique de 26%, entre une façade réfléchissante et une façade sombre.



Bon à savoir

Matériaux génériques pour murs	Réflectance solaire
Plâtre blanc	90%
Nouveau béton de ciment portland blanc	70 à 80%
Peinture acrylique blanche	70%
Peinture acrylique de couleur claire (nuances de blanc)	65%
Peinture acrylique de couleur moyenne (vert, rouge, marron)	45%
Élément de maçonnerie en béton non peint	40%
Brique rouge	40%
Nouveau béton	35 à 45%
Peinture acrylique de couleur sombre (marron foncé, bleu)	25%
Briques en terre cuite	17 à 56%
Bleu foncé, peinture acrylique noire	15%

Réflectance solaire de quelques finitions murales (EDGE 2018)

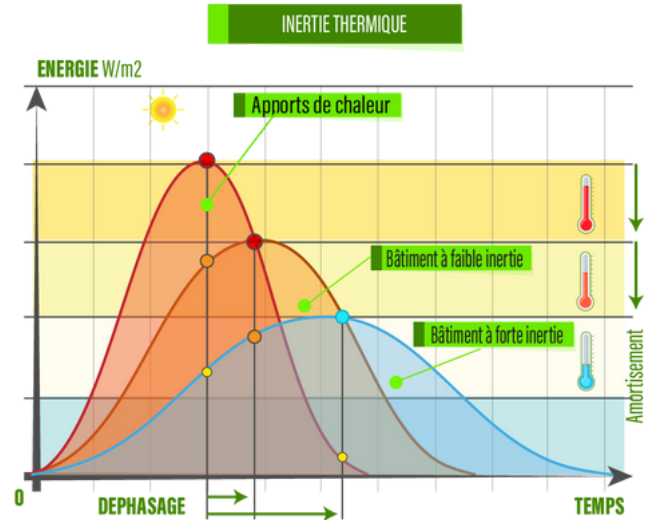
Plus la réflectance solaire est faible, plus l'utilisation du matériau favorise le confort thermique.

Technique de rafraîchissement passif des bâtiments

6. Inertie Thermique

La masse ou l'inertie thermique est la capacité d'un matériau à absorber et à restituer de la chaleur. L'inertie thermique définit la vitesse à laquelle le bâtiment se refroidit ou se réchauffe et permet d'amortir les variations non désirées de température extérieure. Plus l'inertie est grande plus on obtient un « amortissement » de la température qui permet d'atténuer l'effet des canicules.

Les matériaux comme le béton, la Blt, la Btc ont la propension de restituer durant la nuit, la chaleur accumulée par radiation durant la journée, à condition que l'écart entre les températures diurnes et nocturnes soit important.



Principe de déphasage et amortissement thermique (adaptée de Craterre 2017)



Villa en BTC



Villa en BLT



Parpaing en ciment

Matériaux	Paramètres thermo-physiques				
	Conductivité thermique en (W/m°K)	Chaleur spécifique en (MJ/m³.K)	Masse volumique en (Kg/m³)	Diffusivité thermique 10 ⁻⁶ (m²/s)	Effusivité thermique en (J.K ⁻¹ .m ⁻² .s ^{-1/2})
BTC	1,05	3,21	1900	0,32	1830
BLT	0,7	3,9	2100	0,18	1649
PARPAING	0,67	1,05	1200	0,63	826

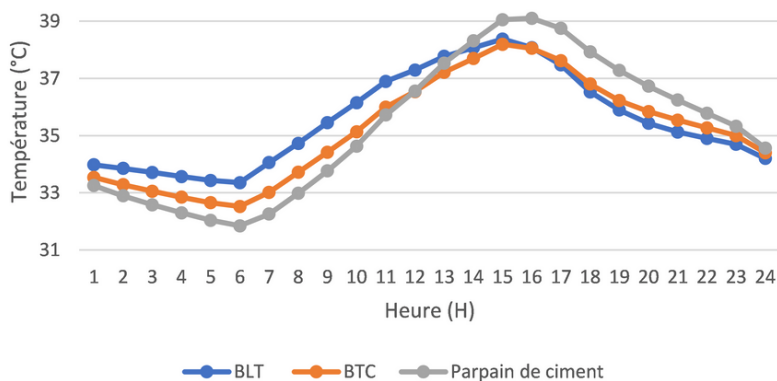
Effusivité et diffusivité thermiques des matériaux couramment rencontrés au Burkina Faso



Application

Une simulation réalisée sur un logement de type social dans le contexte climatique de Ouagadougou fait ressortir une différence de 2°C entre des matériaux à forte inertie comme la Btc et la Blt par rapport au parpaing de ciment. En termes de réduction de l'intensité du stress thermique, la variante en Btc présente une réduction de 7% et celle en Blt une réduction de 3%. On peut remarquer une réduction des écarts de températures des cas du Blt et Btc par rapport au cas du parpaing de ciment à une certaine heure.

Température opérative



Le déphasage caractéristique des matériaux à forte inertie n'est pas perceptible à cause du système de toiture (métallique sombre avec comble) qui est responsable de la surchauffe de l'ambiance intérieure

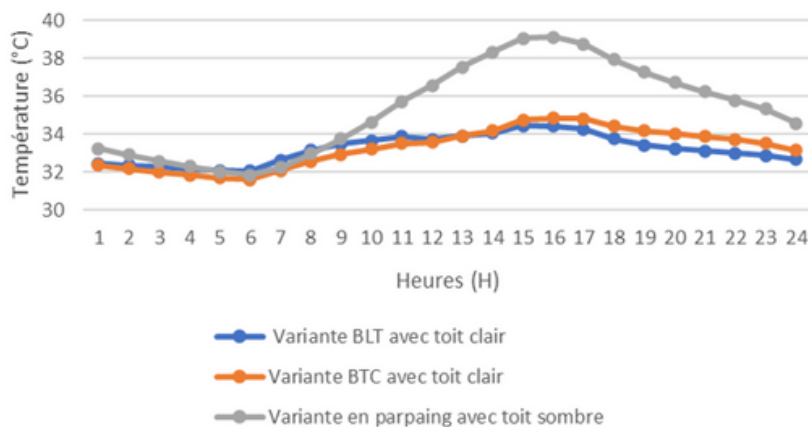
Courbe des températures opératives d'un logement social avec des variantes en BTC, BLT, Parpaing pour un jour chaud.

Avec une peinture réfléchissante sur la toiture des variantes en Btc et en Blt (dans le but de réduire les apports de chaleur par la toiture), nous obtenons une différence de l'ordre de 5°C par rapport à la variante en parpaing pendant les heures chaudes. Nous constatons aussi une réduction de l'ordre de 60% sur l'intensité du stress thermique.



Bâtiment avec inertie intérieure

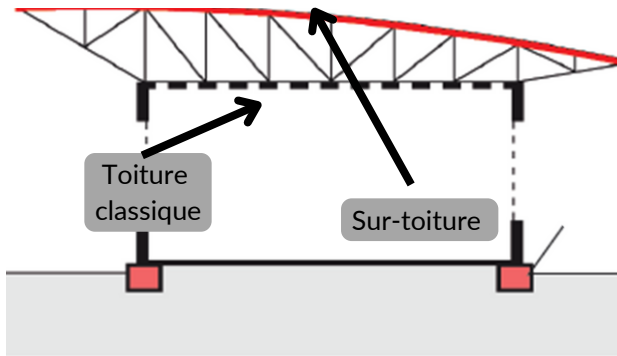
Température opérative



Courbe des températures opératives d'un logement social avec des variantes en Btc + toit clair, Blt + toit clair, et parpaing + toit sombre pour un jour chaud

Technique de rafraîchissement passif des bâtiments

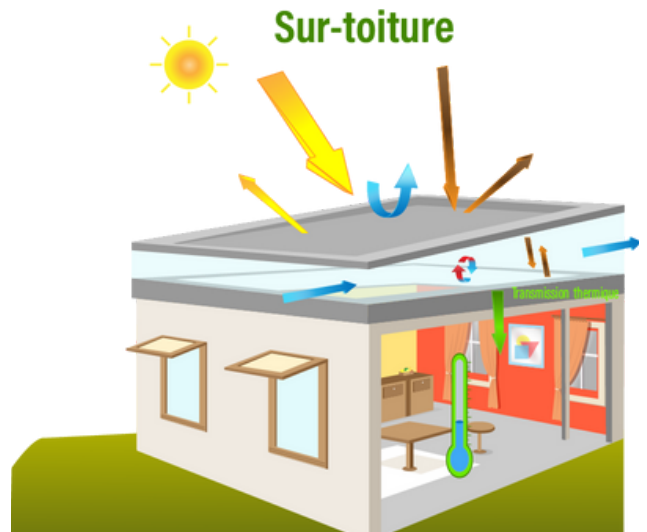
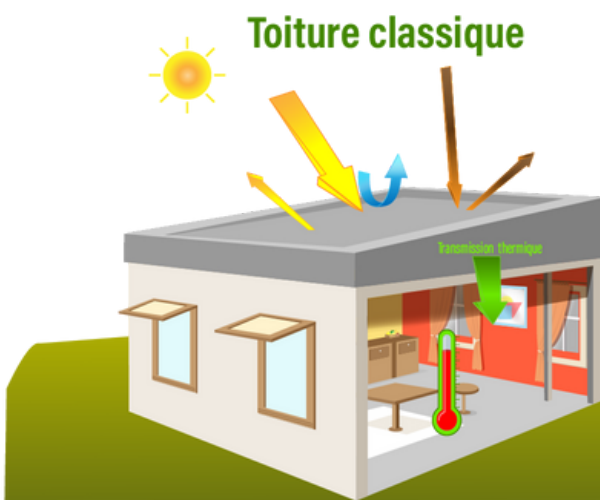
7. Sur-Toiture



Principe de la sur-toiture

Les surfaces de toiture sont les plus exposées au rayonnement solaire et reçoivent ainsi une grande quantité d'énergie. Cette énergie absorbée est à l'origine de surchauffe et d'inconfort thermique dans le bâtiment. Les apports de chaleur par les toitures peuvent représenter jusqu'à presque 2/3 des apports de chaleur d'un logement sur une journée. Une protection solaire efficace de la toiture est la priorité pour une conception intégrant un rafraîchissement eco-énergétique.

Une solution pour réduire les apports solaires et éviter des températures élevées au sein du bâtiment est de doter ce dernier d'une enveloppe périphérique comme la « **Sur-toiture** » ou « **Toiture décollée** ».



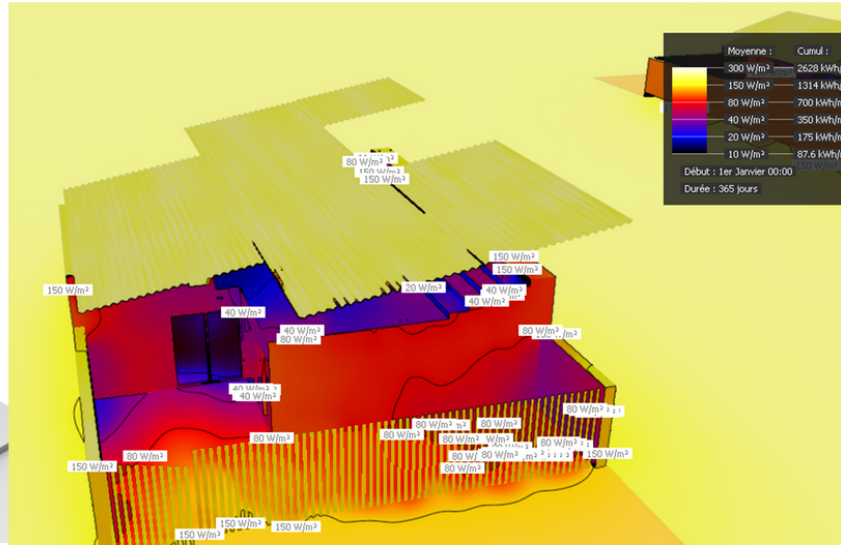
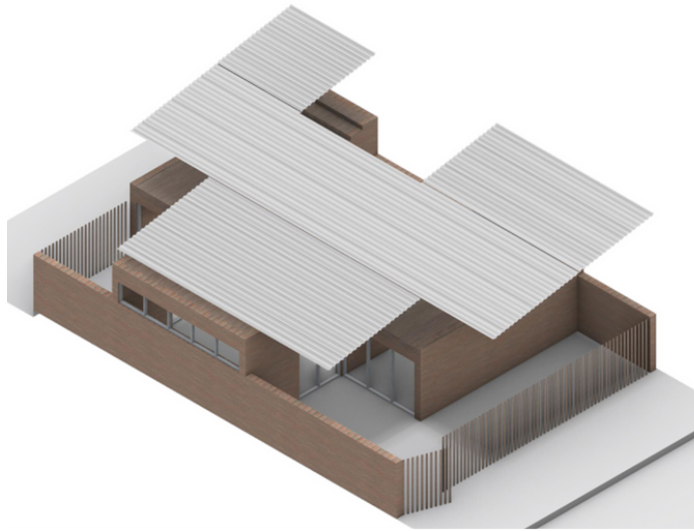
Transferts thermiques (gauche) pour une toiture conventionnelle, (droite) pour une Sur toiture

Avantages

- Optimisation des performances thermiques et de la fonction de protection du toit pour les bâtiments existants ;
- Economies d'énergie sur les systèmes de refroidissement et diminution de l'inconfort thermique en période de forte chaleur ;
- Protection des matériaux d'étanchéité contre les températures excessives améliorant leur durée de vie ;
- Possibilité de couplage avec des solutions d'énergies renouvelables représentant une source de revenus supplémentaire ;
- Possibilité pour les occupants de rester dans la maison pendant la période de travaux de réhabilitation de la toiture.



Application



Impact sur le rayonnement solaire sur les surfaces du bâtiment dû à une toiture décollée

Ce type de toiture recouvre l'ensemble de configurations comprenant de larges sections d'ouvertures entre la toiture et le faux-plafond.

On peut dégager deux niveaux d'exigence, suivant le niveau de ventilation du site :

→ En site peu venté ($V \leq 2$ m/s) :

La surface totale d'ouverture de la toiture par rapport au faux plafond ou la dalle haute doit à minima être égale à minima à 15% de la surface totale de toiture. Autrement dit, la hauteur d'élévation minimale "h" de la toiture par rapport au haut du mur du dernier étage, doit satisfaire.

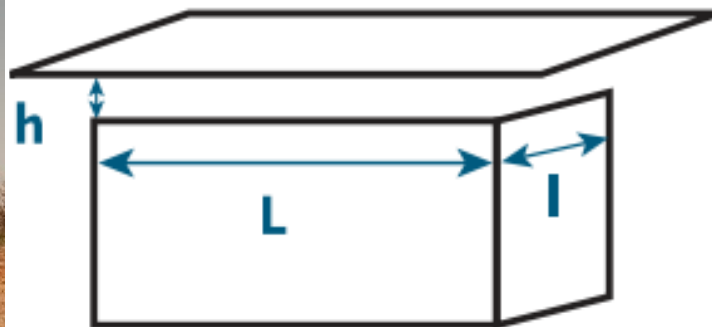
$$h \geq 0,15 \times l \times L / (l + L)$$

→ En site très venté ($V \geq 5$ m/s) :

La surface totale d'ouverture de la toiture face au vent, doit être à minima égale à 5% de la surface totale de toiture. Entre ces deux niveaux d'exigence, pour des vents moyens, la surface d'ouverture devra en général être de 10% minimum, avec des fluctuations allant de 5 à 15% selon la vitesse des vents.



Sur-toiture d'un bâtiment scolaire



Sur-toiture: illustration des dimensions (voir formule) à respecter (ECODEM+ 2010)

Technique de rafraîchissement passif des bâtiments

8. Ventilation naturelle

La ventilation naturelle peut être une des sources de rafraîchissement la plus efficace d'un point de vue énergétique. Elle est propre à l'architecture bioclimatique et peut être parfois difficile à mettre en œuvre.

Avantages en termes de confort thermique :

- évacue la chaleur accumulée au long de la journée (apports solaires, chaleur interne des occupants, des appareils électriques) ;
- Procure une augmentation des limites de la zone de confort thermique avec une sensation de rafraîchissement en termes de ressenti sur la peau (si le déplacement d'air est en deçà de vitesses importantes susceptibles d'être désagréables à l'être humain).



Confort thermique et ventilation

Le niveau de ventilation naturelle d'un bâtiment est assez complexe à mesurer mais peut globalement se définir à partir de deux éléments notables :

- La capacité d'un local à laisser circuler l'air d'une façade à l'autre sans rencontrer d'obstacle. On dit alors qu'il est traversant ;
- La perméabilité de ce local qui se mesure à partir du degré de porosité de ses façades, c'est à dire de leur pourcentage d'ouvertures par rapport à la surface totale du mur.



Les différents systèmes de ventilation

La ventilation unilatérale



Ventilation unilatérale

La ventilation unilatérale repose sur les différences de pression entre différentes ouvertures d'un seul et même espace. Elle est plus prévisible et plus efficace à travers plusieurs ouvertures qu'à travers une seule, car elle peut ainsi être utilisée pour des espaces de plus grande profondeur. La ventilation est renouvelée par la turbulence dans les espaces à ouverture unique. Cette turbulence crée une action de pompage sur cette seule ouverture, ce qui provoque de petites entrées et sorties d'air. Cette méthode étant moins prévisible, la profondeur de la pièce pour une ventilation unilatérale à ouverture unique est réduite.



La ventilation transversale

1

Ventilation transversale - Espaces uniques

La ventilation transversale des espaces uniques est l'approche la plus simple et la plus efficace. La ventilation transversale est renouvelée par les différences de pression de l'air entre les façades exposées et opposées au vent d'un bâtiment.



Ventilation transversale - Espaces uniques

2

Ventilation transversale - Espaces à deux compartiments

La ventilation transversale des espaces à deux compartiments est possible en créant des ouvertures dans la cloison-couloir. Elle n'est acceptable que si une pièce donne à la fois sur les façades au vent et sous le vent d'un bâtiment, car la ventilation de l'espace opposé au vent dépend de l'occupant de l'espace au vent. Les ouvertures offrent également un canal de transmission acoustique entre les espaces. Une solution éventuelle est de créer un canal qui contourne l'espace exposé au vent, permettant ainsi à l'occupant de l'espace sous le vent de contrôler totalement le flux d'air.



Ventilation transversale - Espaces à 2 compartiments

3

Ventilation par effet de cheminée

La ventilation par effet de cheminée tire parti du gradient de température et des différentiels de pression de l'air qu'il engendre. L'air chaud devient moins dense et s'élève tandis que l'air plus frais vient remplacer l'air qui est monté. Ce type de ventilation nécessite des atriums ou des différences de hauteur.



Ventilation par effet de cheminée (EDGE)



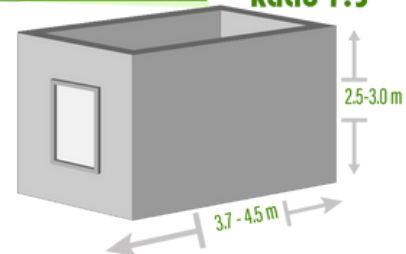
Bon à savoir

Le bon fonctionnement de la ventilation naturelle peut être compromis par le confinement, dû principalement à la densité des constructions. Pour atteindre un débit de ventilation naturelle acceptable, il faut tenir compte de la méthodologie suivante :

- Calculer le ratio maximal profondeur de pièce / hauteur sous plafond;
- Évaluer les gains de chaleur, ce qui détermine la surface de l'ouverture.

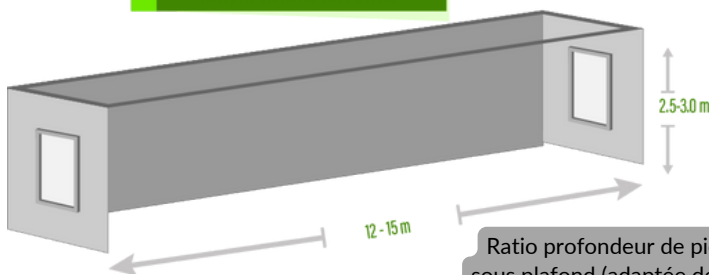
Ouverture Unilatérale Unique

Ratio 1.5



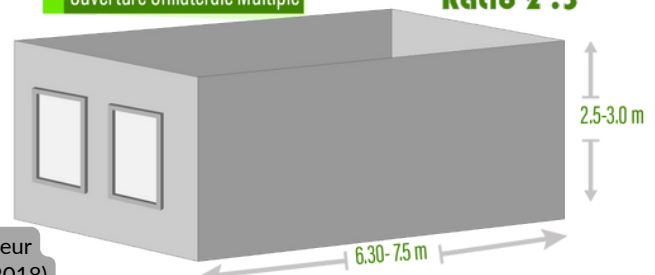
Ventillation Traversante

Ratio 5.0



Ouverture Unilatérale Multiple

Ratio 2.5



Ratio profondeur de pièce/hauteur sous plafond (adaptée de EDGE 2018)

Technique de rafraîchissement passif des bâtiments

9. Végétalisation

La plantation des arbres et le verdissement aux abords d'un bâtiment sont essentiels surtout pour les constructions neuves. La végétalisation impacte positivement le confort des espaces extérieurs et intérieurs. De plus, elle favorise la biodiversité du site et apporte une plus-value paysager et climatique.

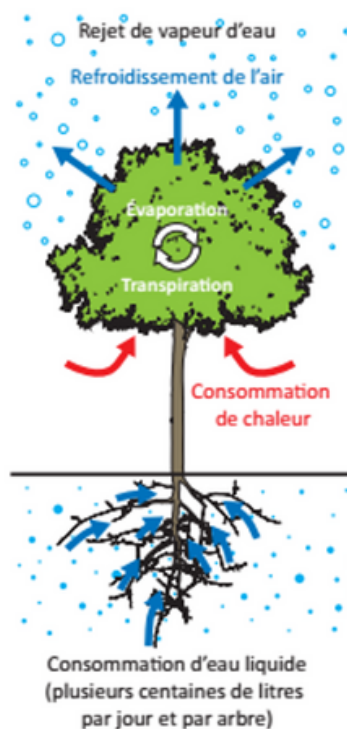
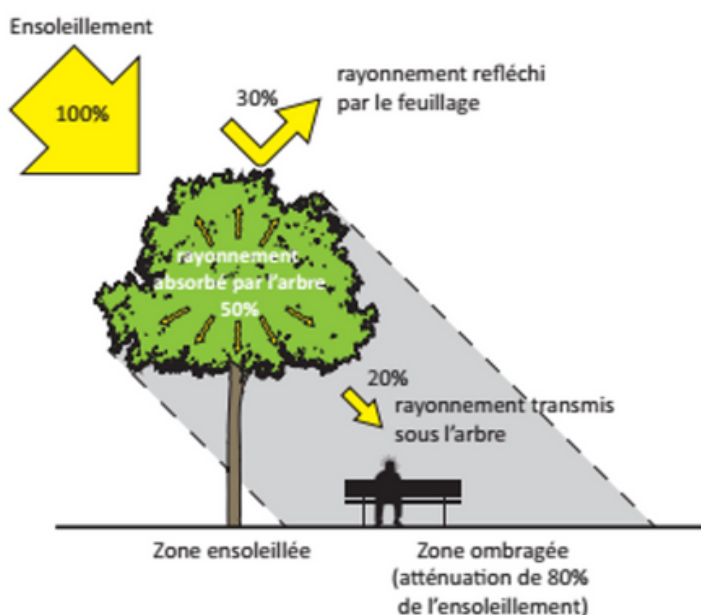


Avantages

- Assure une protection solaire des murs par ombrage, dont la qualité dépend de la densité du feuillage (diminution de 60% à 90% de l'effet du rayonnement solaire) ;
- Evite que le revêtement du sol réfléchisse le rayonnement solaire vers le bâtiment ;
- Rafraîchit l'ambiance environnante grâce à l'évaporation de l'eau ;
- Apporte une protection face aux poussières transportées par le vent.



Bâtiment médical avec patio végétalisé



Transferts thermiques : cas de la végétalisation par ombrage et évapotranspiration



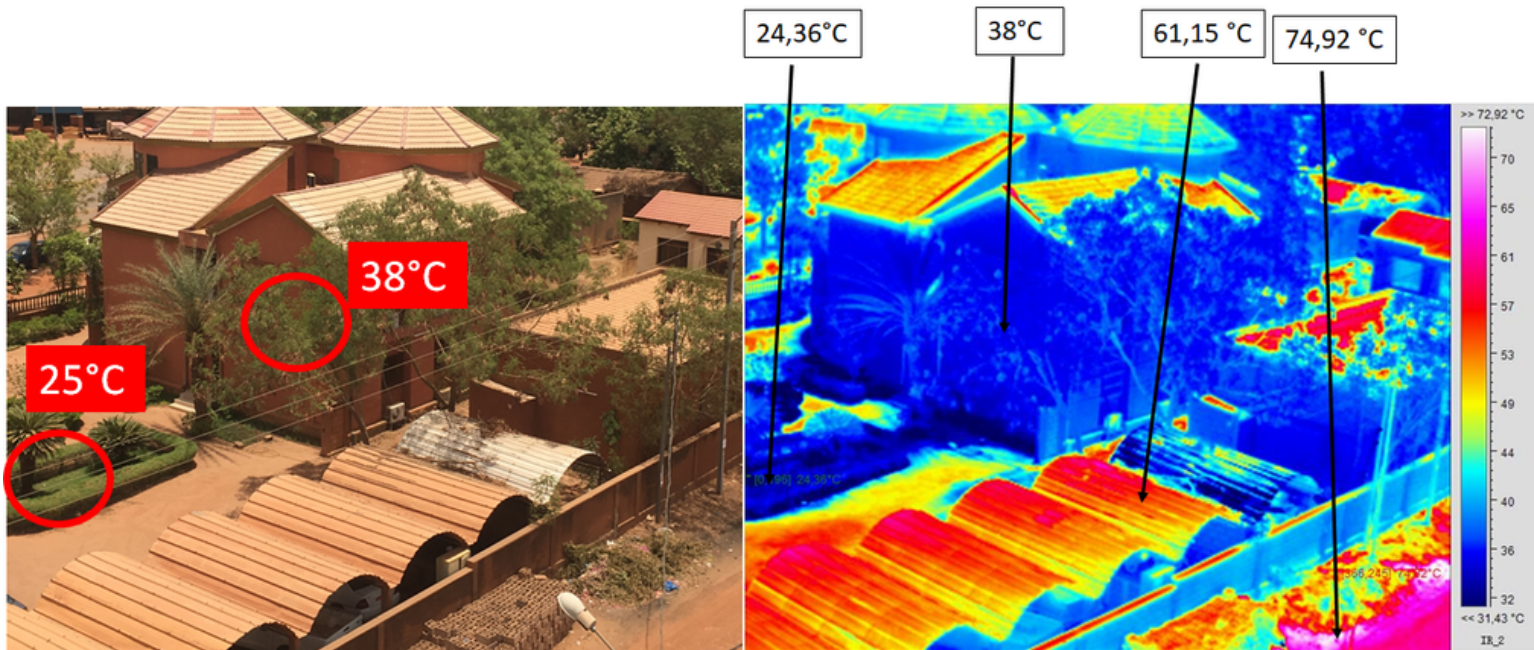
Application

La protection solaire peut être réalisée à l'aide d'une végétalisation de haute tige (arbres hauts), ou grâce à une végétation se développant verticalement sur treillis ou sur une tonnelle. Il est important de maintenir des distances de sécurité pour éviter les chutes d'arbres sur les bâtiments. Aussi, d'éviter de trop humidifier les bases des bâtiments, ce qui pourrait entraîner des problèmes structurels.



Vue d'une végétation dans des résidences

La végétalisation de haute tige est conseillée pour la protection solaire des murs situés du Est et Ouest, car la hauteur du soleil dans cette orientation est assez basse. Pour les murs situés du côté Nord et Sud, on préférera l'utilisation d'une protection solaire horizontale au-dessus du mur. Il est évidemment judicieux de choisir une végétation adaptée au climat local afin de limiter les besoins en arrosage.



Mesures de température de surface pour une journée caniculaire à Ouagadougou (Kabore, 2019)

Avec ces mesures de températures, nous pouvons remarquer la grande différence de température entre l'espace végétalisé et le bâtiment.

10. Dispositions des volumes intérieurs

Plusieurs étapes sont à prendre en compte dans le processus de conception du bâtiment : (1) la sélection du site, (2) l'orientation du bâtiment et (3) le placement des espaces internes.

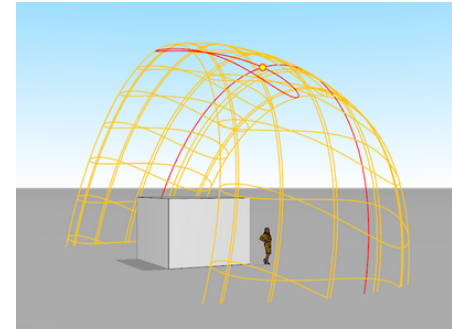
1

La sélection du site

La sélection du site doit tenir compte de l'influence du climat local et de :

- l'exposition aux vents, à l'humidité et aux rayonnements solaires ;
- l'environnement immédiat (topographie, végétation, etc.) ;
- l'utilisation faite du territoire autour du site (pour zones encore possible).

Une attention particulière sera portée à la salubrité du terrain, aux risques d'érosion ou d'inondation en saison des pluies.



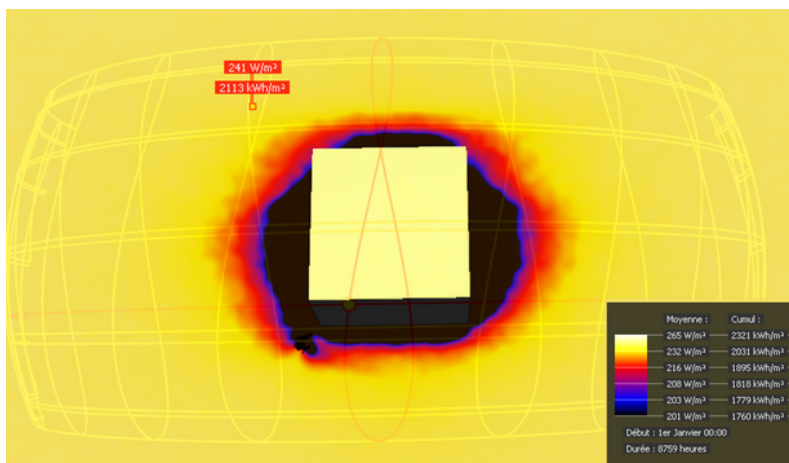
Position du soleil sous la latitude de Ouagadougou

2

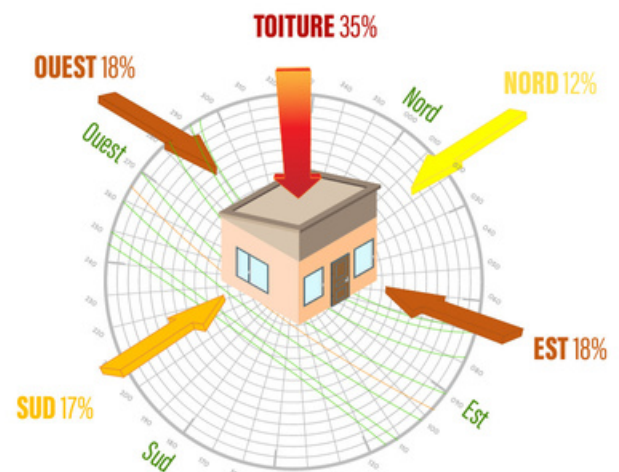
Orientation du bâtiment

L'orientation d'un bâtiment doit tenir compte de la trajectoire du soleil et des vents dominants, de l'alignement avec les bâtiments existants ainsi que de la présence de sources sonores (voie rapide, usine) et de nuisances visuelles (pylône électrique, bâtiments industriels).

Les apports de chaleur dans un bâtiment dépendent fortement de son orientation par rapport à la trajectoire du soleil. Dans les climats chaud, l'angle d'incidence de l'ensoleillement est plus important à l'ouest et à l'est qu'au sud et au nord. L'orientation la plus favorable se trouve donc le long de l'axe est-ouest.



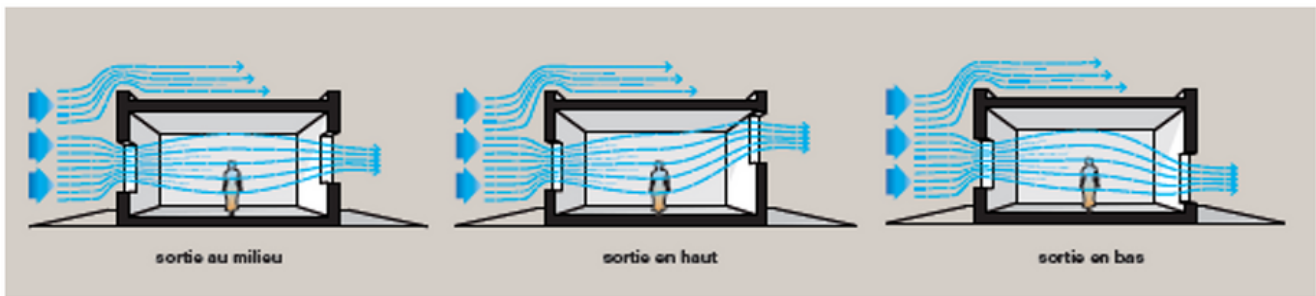
Intensité de l'ensoleillement des parois du bâtiment



Energie reçue par un bâtiment

En fonction de l'orientation, les ombres créées par le bâtiment peuvent également fournir d'agréables espaces extérieurs, dont il conviendra de tenir compte dans le choix de l'orientation et l'organisation des espaces intérieurs et extérieurs. L'ombre portée des bâtiments limitrophes est à prendre en compte ainsi que le couvert végétal.

Face aux vents dominants, deux stratégies sont possibles, s'exposer ou se protéger. Une exposition des façades principales aux vents dominants favorise la ventilation naturelle quand le dispositif est accompagné de bouches de ventilation de façon transversale.



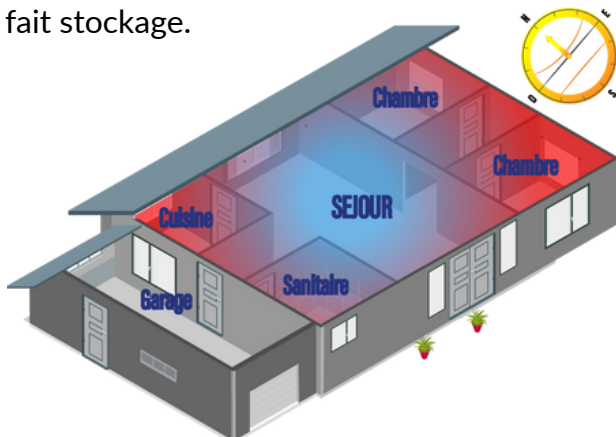
Position du bâtiment face aux vents dominants (Craterre, 2017)

Pour donner sens à une telle stratégie, il conviendra d'implanter le bâtiment dans une zone à bonne potentialité de vent, soit au voisinage du sommet d'une déclivité topographique, ou encore entre deux obstacles en créant un « effet venturi ». A contrario, un creux entre deux collines, ou un positionnement arrière d'un obstacle important (bâtiment, relief) est à éviter. Idéalement la distance devrait être de douze fois la hauteur de l'obstacle dans le sens du vent et de quatre fois celle-ci perpendiculairement au sens du vent.

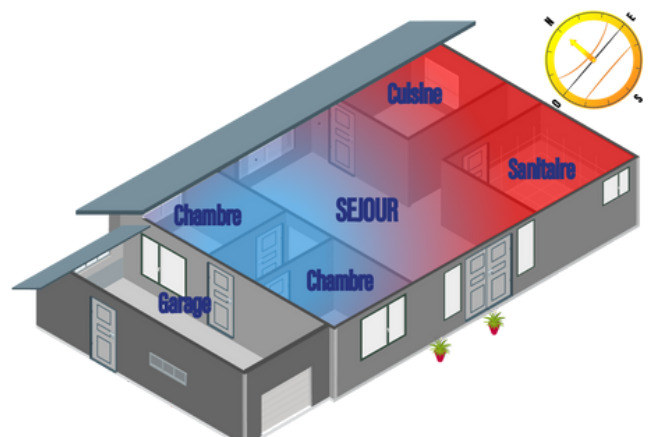
3

Disposition des espaces internes

Les zones les moins exposées aux apports de chaleur ou les plus aérées sont ainsi réservées à des utilisations demandant des températures modérées (chambres, salles de travail). A l'inverse, des locaux pouvant supporter des températures plus élevées comme ceux dédiés au séchage ou au lavage de linge, pourront être placés du côté le plus exposé aux radiations solaires. Cette stratégie peut également permettre de regrouper les locaux en fonction de leurs besoins en air conditionné et de réduire ainsi le niveau de la facture énergétique, tout en adaptant au mieux le confort d'une pièce à l'utilisation qui en est fait stockage.



Position des pièces de la maison en evolution libre en fonction de l'exposition au soleil des façades



Disposition des espaces climatisés pour limiter les apports de chaleur (adapté de Craterre 2017)

Les espaces intermédiaires entre les espaces extérieurs et les volumes habités tels que coursives, vérandas, loggias, sont des espaces qu'il est essentiel de traiter avec une approche bioclimatique rigoureuse permettant de faire de ces lieux de transit et de convivialité des zones abritées du soleil et de la pluie, bénéficiant d'une bonne ventilation naturelle et d'un bon éclairage naturel.



Galerie protectrice d'une villa

Technique de rafraîchissement passif des bâtiments

11. Protections Solaires

Pour les bâtiments bioclimatiques, l'orientation et l'emplacement des fenêtres doivent être choisis de sorte à limiter les apports de chaleur dus au rayonnement solaire, tout en maximisant l'éclairage naturel et en favorisant la ventilation naturelle. Cependant, la surface vitrée d'un bâtiment doit aussi tenir compte du besoin d'intimité des usagers. Pour les bâtiments climatisés, les principes sont les mêmes que pour les bâtiments bioclimatiques, mais la contrainte liée à la ventilation naturelle est moins prioritaire. Il sera aussi important de veiller à limiter les infiltrations d'air extérieur grâce à une bonne étanchéité à l'air (au niveau de la menuiserie elle-même et des liaisons avec la paroi). La protection des fenêtres et des baies est particulièrement importante : si les ouvrants sont mal protégés, ils représentent alors plus de la moitié des apports solaires des parois verticales.

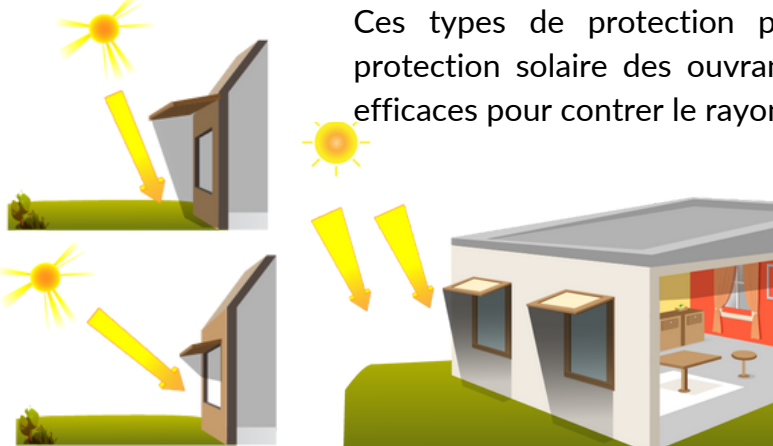
Quelques solutions de protections solaires des surfaces

1

Les débords de toiture et les auvents

Façade Sud et Nord: **Bonne Protection**

Ce sont toutes les protections extérieures qui se situent au-dessus des ouvrants, qu'elles soient positionnées au droit de la fenêtre ou à distance. Ces types de protection peuvent avoir une double fonction de protection solaire des ouvrants et des murs. Ils sont généralement très efficaces pour contrer le rayonnement direct, mais très peu pour diffus.



Principe des protections solaires fixes (débord de toiture et auvent)

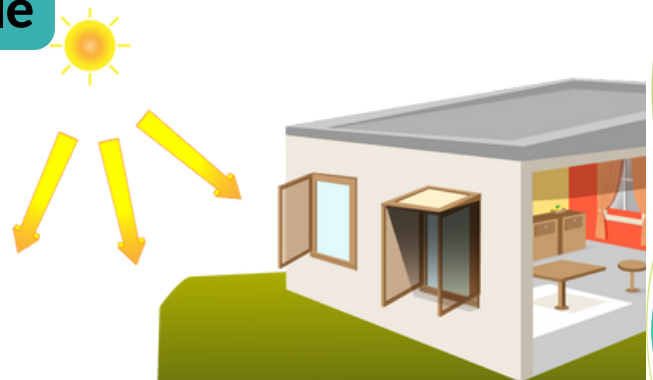


protections solaires des ouvertures

2

La protection latérale

Les protections latérales, si elles sont moins efficaces que les autres types de protections solaires, peuvent représenter un complément intéressant aux protections horizontales voire verticales. Elles ne pourront constituer à elles seules une protection suffisante, et ce quelle que soit l'orientation.



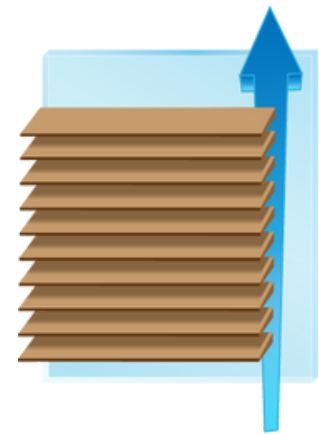
Principe protection solaire fixe latérale

Ce terme regroupe l'ensemble des solutions architecturales intégrées à une paroi, de type brise-soleil ou volet :

Brise-soleil

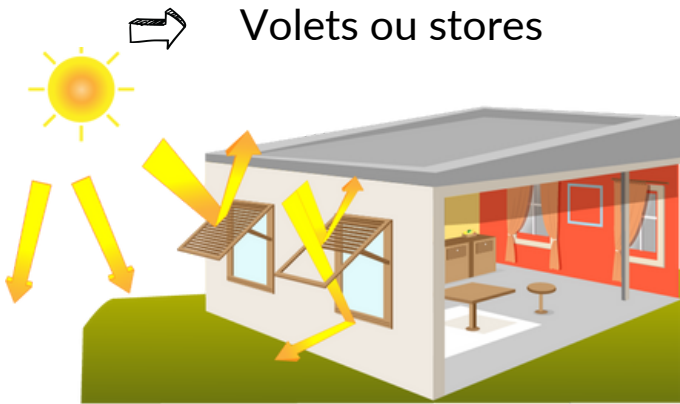
Ces dispositifs sont d'autant plus efficaces qu'ils obturent la lumière naturelle. Les solutions optimales sont donc obtenues en combinant ce type de protection solaire à d'autres (masques proches ou lointains par exemple).

On retrouve dans cette catégorie plusieurs types de protection : treillis, moucharabieh, perforés, à lamelles, mais nous ne traiterons ici que de cette dernière catégorie, plus simple et plus courante.



Brise-soleil vertical à lamelles

Volets ou stores



Principe volets et stores projetés

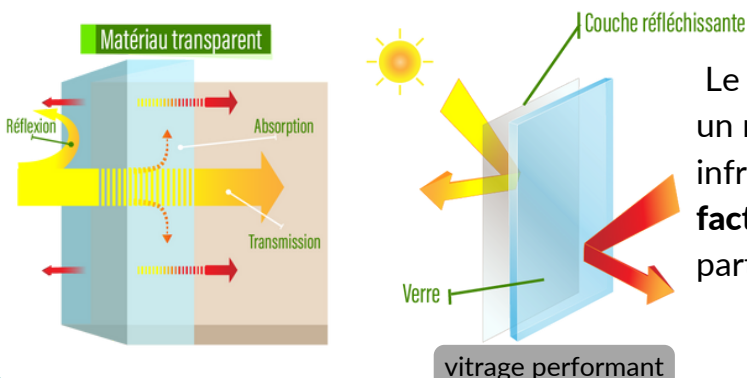
Les volets, assurent une protection solaire en étant ouverts, sans nuire à la ventilation naturelle (les volets (ou stores) projetables de couleur claire).



Protection solaire des ouvertures à Ouagadougou

Stores intérieurs	Stores extérieurs
Avantages	
Coût limité	Performances élevées
Facilité de pose	
Entretien peu onéreux	
Durabilité	
Inconvénients	
Performances limitées	Prix plus élevé
	Installation plus délicate
	Durée de vie limitée (exposition aux contraintes climatiques)
	Mobilité plus réduite (difficulté de manipulation par l'utilisateur)

Vitrage performant



Le vitrage performant anti-chaueur laisse entrer un maximum de lumière mais réfléchit les rayons infrarouges du spectre solaire (grâce au faible **facteur solaire g**), bloquant ainsi une grande partie de la chaleur à l'extérieur du bâtiment.

Projet « Efficacité Énergétique et Rafraîchissement des Logements Sociaux »

Objectif global

Réduire la demande énergétique et améliorer l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment



Résultats attendus du projet

Mise en oeuvre par le Global Green Growth Institute (GGGI) en partenariat avec le Ministère de l'Urbanisme, des Affaires Foncières et de l'Habitat (MUAFH), l'Ordre des Architectes du Burkina Faso (OAB) et l'appui financier du Clean Cooling Collaborative, les résultats attendus du projet sont les suivants:

1

Renforcer la prise en compte de l'efficacité énergétique dans le bâtiment dans l'environnement réglementaire du Burkina Faso.

- Contribuer à la mise en œuvre des Normes de Performances Energétique Minimales (NPEM), pour les équipements de climatisation et de ventilation;
- Mettre à jour les politiques, codes, et textes nationaux du logement et de l'urbanisme en prenant en compte l'efficacité énergétique.

2

Renforcer les capacités de mise en œuvre de solutions de rafraîchissement dans le secteur du bâtiment.

- Rassembler les acteurs du secteur de la construction sur la thématique du rafraîchissement écoénergétique dans un cadre formel sous une forme de communauté de pratique ;
- Organiser des sessions de sensibilisation sur l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments ;
- Développer des programmes de formation sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment ;
- Intégrer les solutions de rafraîchissement et la démarche bioclimatique dans les programmes publics de logements sociaux au Burkina Faso.

3

Accroître la demande en solution de rafraîchissement efficace dans le secteur résidentiel.

- Mener des campagnes de sensibilisation à l'échelle nationale sur le rafraîchissement passif des logements ;
- Améliorer l'accès aux solutions financières à destination des projets d'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment.

PARTENAIRES





Références bibliographiques

- Craterre 2017; Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal; Programme national de réduction des émissions GES à travers l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment; Projet de production de matériaux d'isolation thermique à base de typha.
- Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE), 2018. Guide de l'utilisateur de la plateforme Edge. IFC, World BANK
- CSTB, 2017. Manuel de bonnes pratiques architecturales-Éco-construction et efficience énergétique dans les bâtiments.
- Institut de la francophonie pour le développement durable, 2015. Guide du bâtiment durable en régions tropicales-Tome 1 : Stratégies de conception des nouveaux bâtiments en régions tropicales.
- Global shelter cluster, 2022. Cultures constructives locales pour des habitats durables et résilients.
- DUTREIX Armand , 2010. Bioclimatisme et performances énergétiques des bâtiments.
- GONZALO Roberto, HABERMANN J. Karl, 2006. Architecture et efficacité énergétique.
- KABORE Madi, 2015. Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne.
- VU Brigitte, 2008 . Guide de l'habitat passif.
- KERE D. Francis, CHING-Ian N. Shapiro, 2014. Green building illustrated.
- HIDE Richard, 2008. Bioclimatic housing innovative designs for warm climates.
- ECODOM +, 2010. guide de prescriptions techniques pour la performance énergétique des bâtiments en milieu amazonien. 2010





Suivez nos activités sur



[@GGGIBurkinaFaso](#)



[@GggiBurkinafaso](#)



www.gggi.org