

Influence de la réflectivité de l'enveloppe sur la demande énergétique des bâtiments et sur le confort thermique

MANSOURI Ouarda^{a,b,*}, BOURBIA Fatiha^a et BELARBI Rafik^b

^a Laboratoire ABE, Université de Constantine 3, Ville Nouvelle Ali MENDJELI, Constantine 25000 Algérie

^b Laboratoire LaSIE, Université de La Rochelle, Avenue Michel Crépeau, 17042, La Rochelle, France

Résumé

Dans le milieu urbain, la nature des matériaux qui couvrent les surfaces urbaines (trottoirs, façades et toitures) influe considérablement sur la consommation énergétique et l'ambiance thermique à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment dépendamment du climat. La fraction de l'énergie solaire incidente réfléchiée par les éléments extérieurs d'une structure affecte de manière significative le gain ou la perte de chaleur globale de la structure. Dans le bâtiment, qui est considéré comme le plus grand secteur consommateur d'énergie dans le monde, un choix judicieux des revêtements qui couvrent ses surfaces externes notamment du point de vue réflectivité solaire pourra être une solution adéquate pour économiser de l'énergie en assurant un niveau de confort thermique avec une consommation énergétique réduite. Cet article présente une étude ayant pour objectif l'évaluation de l'effet des revêtements réfléchissants sur la réduction des besoins énergétiques du bâtiment ainsi que l'amélioration du confort thermique intérieur. Dans la ville de Skikda, située au Nord-Est algérien et caractérisée par un climat méditerranéen, une étude paramétrique a été réalisée sur un bâtiment générique en faisant varier la réflectivité solaire de ses murs et de son toit ainsi que d'autres paramètres tel que son orientation, la masse thermique et l'isolation de son enveloppe. Les résultats montrent qu'une haute réflectivité solaire combinée avec l'isolation thermique définissent un niveau de confort acceptable et diminuent les charges d'énergie, et que ces effets sont plus significatifs pour la toiture que pour les murs.

Mots-clés: Albédo, charges énergétiques, orientation, masse thermique, confort thermique, TRNSYS.

Abstract

In the urban environment, the nature of the materials that cover urban surfaces (sidewalks, facades and roofs) greatly affects the energy consumption and the thermal environment outside and inside the building, depending on the climate. The fraction of the incident solar energy reflected by the exterior elements of a structure significantly affects the overall heat gain or loss of the structure. In the building that is considered the world's largest energy-consuming sector, a judicious choice of coatings covering its external surfaces, particularly from the point of view of solar reflectivity, may be an adequate solution for saving energy by ensuring Level of thermal comfort with reduced energy consumption. This article presents a study aimed at assessing the effect of reflective coatings on reducing the building's energy requirements and improving indoor thermal comfort. In the town of Skikda, located in northeastern Algeria, characterized by the Mediterranean climate, a parametric study was carried out on a reference building, varying the solar reflectivity of its walls and roof, as well as others Such as its orientation, the thermal mass and the insulation of its envelope. The results show that a high solar reflectivity combined with thermal insulation defines an acceptable level of comfort and reduces the energy loads and that these effects are more significant for the roof than for the walls.

Keywords: Albedo, energy requirements, orientation, thermal mass, thermal comfort, TRNSYS.

1. Introduction

Les effets du réchauffement climatique et la hausse des températures dans les centres urbains ont pris aujourd'hui des proportions qui inquiètent les scientifiques. Ceux-ci alertent d'un réchauffement qui

menace les grands équilibres planétaires et précisent que les systèmes urbains en sont les grands responsables dans la mesure où ils représentent plus de 75 % de la consommation globale de l'énergie [1]. En effet, le secteur du bâtiment est considéré comme le premier consommateur d'énergie dans le monde, car il présente en

lui seul autour de 35 % de la consommation d'énergie finale devant l'industrie et le transport qui consomment respectivement 31 % et 30 % [2]. L'Algérie n'échappe pas à cette règle, vu que les secteurs résidentiel et tertiaire se trouvent parmi les secteurs les plus énergivores, avec une consommation de 46 % de l'énergie finale et de 28 % de l'énergie primaire [3].

La température moyenne mondiale ne cesse d'augmenter. Cette hausse pourra provoquer des phénomènes climatiques très dangereux (inondations, sécheresse, tempêtes ... etc.), mais reste que la manifestation la plus connue du microclimat suite à cela et d'après les chercheurs est le phénomène d'îlot de chaleur urbain « ICU » [4]. Ils annoncent que la minéralisation des espaces urbains et la réduction des espaces verts qui furent remplacés par des chaussées, des toits et des façades dont les matériaux absorbent la chaleur et augmentent les rejets en grande longueur d'onde, font partie des causes principales de ce phénomène. Pour remédier à ce problème et essayer d'atténuer son intensité, un grand intérêt a été porté aux matériaux de surface, en particulier ceux qui ont une réflectivité élevée "albédo élevé" pour minimiser l'absorption du rayonnement solaire et, par conséquent, réduire sa restitution en longue longueur d'onde la nuit. En effet, l'albédo pourra être défini comme étant la fraction du rayonnement solaire incident qui est renvoyée par réflexion. Il est généralement exprimé en pourcentage. Il peut avoir une valeur minimale de 0 pour désigner un revêtement tout à fait absorbant et une valeur maximale de 1 pour indiquer un revêtement complètement réfléchissant.

De nombreuses recherches telles que [5-10] ont démontré l'effet positif des matériaux réfléchissants sur la modération du microclimat urbain et sur l'atténuation du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Qu'en est-il de leurs effets sur l'environnement intérieur et la consommation énergétique ? Le rayonnement solaire incident sur l'enveloppe du bâtiment peut être absorbé, réfléchi ou transmis. Il influe sur les températures de surfaces extérieures et intérieures. Le flux de chaleur pénètre dans le bâtiment sous différents modes, à savoir la conduction et la convection à travers les quatre murs, le toit et le plancher ; la convection, sous forme de ventilation et d'infiltration, et par le gain direct à travers la surface vitrée des fenêtres.

Une multitude de recherches, anciennes et récentes, expérimentales et numériques, ont montré l'effet positif des revêtements réfléchissants sur l'atténuation des températures intérieures et la diminution de la consommation énergétique des bâtiments. Ces revêtements réfléchissants peuvent être appliqués à la

paroi horizontale "toit" par la réalisation de ce qu'on appelle « cool roof », ou à la paroi verticale (façade). Leur application permet de réfléchir la lumière du soleil au maximum au lieu de l'absorber, ce qui réduira la température de la surface extérieure, diminuera le flux de chaleur entrant dans le bâtiment et donc diminuera la température ambiante intérieure.

2. État de l'art

Citons à titre d'exemple quelques études précédentes effectuées dans ce sens.

2.1. Effet des revêtements réfléchissants sur la température de surface et de l'air :

Givoni et Hoffman [11] ont réalisé des expériences sur des petits bâtiments avec différentes couleurs extérieures. Ils ont comparé la température intérieure résultante pour des bâtiments non ventilés. Ils ont trouvé que les bâtiments avec des murs de couleur blanche ont été d'environ 3 °C plus frais en été que lorsque ces mêmes bâtiments ont été peints en gris. Reagan et Acklam [12] ont effectué une étude qui montre que le fait de changer la couleur du toit du sombre ($\alpha=0,75$) au Claire ($\alpha = 0,35$), réduit considérablement le gain de chaleur du toit. Les réductions étaient de 6,4 % et de 4,8 % en plein jour de juillet à Tucson, en Arizona, pour des maisons avec des résistances thermiques du plafond de 2,50 et 5,88 m²k/w respectivement. Bansal *et al.* [13] ont étudié expérimentalement ainsi que théoriquement l'effet de la couleur de la surface externe d'un bâtiment sur son comportement thermique, ils ont trouvé que l'enceinte peinte en noir a enregistré un maximum de température de 7 °C plus élevée que l'enceinte correspondante peinte en blanc pendant les heures de radiation solaire maximale. Taha *et al.* [14] ont trouvé que les revêtements électrométriques blancs avec une réflectivité supérieure à 0,72 peuvent être plus froids de 45 °C que les revêtements noirs avec un coefficient de réflexion de 0,08, en variant les matériaux réfléchissants utilisés dans les surfaces urbaines. Cheng *et al.* [15] ont effectué une investigation avec des cellules d'essai sur l'effet de la couleur de l'enveloppe et la masse thermique sur la température intérieure sous condition de temps chaud et humide. Ils ont trouvé que la différence maximale de la température de l'air intérieur entre une cellule noir et une cellule blanche était d'environ 12 °C pour la construction légère. Uemoto *et al.* [16] ont démontré que les formulations de peintures de couleurs fraîches produisent

significativement les plus hautes réflexions du rayonnement proche infrarouge que les peintures conventionnelles de couleurs similaires, et que les températures de surface sont plus que 10 °C inférieures à celles des peintures classiques, lorsqu'elles sont exposées à un rayonnement infrarouge. Shen *et al.* [17] ont réalisé une étude expérimentale sur l'impact des revêtements réfléchissants sur l'environnement intérieur et la consommation d'énergie du bâtiment. Ils ont constaté que les températures de surface extérieure et intérieure peuvent être réduites jusqu'à 20 °C et 4,7 °C respectivement en utilisant différents revêtements, selon l'emplacement, la saison et l'orientation. La réduction maximale de la température globe et la température moyenne radiante était de 2,3 °C et 3,7 °C dans cet ordre. Bozonnet *et al.* [18] ont étudié l'impact des toits frais sur la réponse thermique du bâtiment dans le contexte français par une étude expérimentale complétée par des simulations dynamiques. Ils ont constaté que le "cool roof" diminue la température de surface extérieure moyenne de plus de 10 °C, avec de faibles différences pour des températures plus basses, mais un fort impact sur les températures les plus élevées. Pisello *et al.* [19] ont appliqué un toit frais comme une technique innovante pour réduire les besoins du bâtiment en énergie de refroidissement et pour améliorer les conditions de confort thermique intérieur. Leur solution consiste en un prototype de tuile d'argile sur un bâtiment résidentiel traditionnel dans le centre de l'Italie. Ils ont constaté que l'effet maximum de la baisse du pic estival de la surchauffe intérieure du grenier est de 4,7 °C. La réduction maximale du sur-refroidissement d'hiver correspondant est de 1,2 °C.

Dans une autre étude, Pisello *et al.* [20] ont visé par leur travail à déterminer les performances thermiques de la combinaison d'une membrane de toiture fraîche innovante avec la peinture fraîche de la façade lorsqu'elle est appliquée sur un bâtiment prototype, grâce à une surveillance continue. Les résultats ont montré que les solutions combinées génèrent un refroidissement passif significatif en termes de réduction de la température opérative intérieure.

2.2. Effet des revêtements réfléchissants sur la consommation énergétique :

Taha *et al.* [5] ont simulé la réduction de la charge de refroidissement d'un bâtiment de 18,9 % pour les journées d'été à Sacramento, en Californie, pour une augmentation de l'albédo des toits et des murs de 0,30 à

0,90. Les simulations indiquent que le badigeonnage du bâtiment produit des gains directs de 14 % et 19 % sur le pic de puissance de refroidissement et sur l'énergie électrique de refroidissement respectivement.

La modification de l'albédo urbain global en plus du badigeonnage du bâtiment, peut entraîner des économies totales de 35 % et de 62 % respectivement. Parker *et al.* [21] ont contrôlé six maisons en Floride avant et après l'application de revêtements à haut albédo sur leurs toits. La réduction de la consommation d'électricité pour le conditionnement d'air était mesurée entre 11 % et 43 % avec une économie moyenne de 9,2 kWh/jour, et la réduction de la demande de pic de puissance (se produit entre 5h et 6h d'après-midi) était 0,4-1,0kW avec une réduction moyenne de 0,7 kW. Akbari *et al.* [7] ont surveillé le pic de puissance et les économies d'énergie de refroidissement pour des revêtements à haut albédo d'une maison et deux bungalows scolaires à Sacramento, en Californie. Ils ont trouvé des économies de 2,2 kWh/j pour une maison (80 % du cas de base utilisé), et la réduction de la demande de pointe de 0,6kW. Dans les bungalows de l'école, l'énergie de refroidissement a été réduite de 3,1 kWh/j (35 % du cas de base utilisé) et la demande de pointe de 0,6kW. Simpson et McPherson [22], ont mesuré les réductions de la charge totale de conditionnement d'air ainsi que la charge de pointe qui était d'environ 5 % pour un toit de maison de couleur blanche (SR ≈ 0,75) par rapport soit au gris (SR ≈ 0,30) ou au couleur argent (SR ≈ 0,50) pour des toits de bâtiments en modèle réduit à Tucson en Arizona. Shariah *et al.* [23] ont réalisé une série de simulations pour deux climats doux et chauds en Jordanie. Ils ont constaté que, comme les réflectivités passent de 0 à 1, la charge totale d'énergie diminue de 32 % et 47 % pour les bâtiments non isolés et de 26 % et 32 % pour les bâtiments isolés à Amman et Aqaba respectivement. Synnefa *et al.* [24] ont étudié l'impact de l'utilisation de revêtements "cool roof" sur les charges de refroidissement et de chauffage et ont estimé les conditions de confort thermique intérieur de bâtiments résidentiels pour diverses conditions climatiques. Les résultats ont montré que l'augmentation de la réflectivité solaire du toit réduit les charges de refroidissement par 18 à 93 % et le pic de demande de refroidissement dans les bâtiments climatisés par 11 à 27 %. Zinzi *et al.* [25] ont évalué les propriétés solaires de revêtements frais écologiques et les avantages réalisables pour des applications de bâtiment pour différentes localités méditerranéennes. Ils ont montré qu'il existe une influence des matériaux frais sur la performance énergétique dans toutes les zones, en particulier là où les

plus hauts niveaux d'isolation associés au contrôle solaire conduisent à de fortes réductions d'énergie et ont une amélioration conséquente sur les conditions thermiques à l'intérieur du milieu bâti. Shen *et al.* [17], pour ce qui est de la consommation énergétique du bâtiment, ont trouvé que pour le cas conditionné, la réduction annuelle de la consommation d'électricité a atteint 116 kWh. Lapisa *et al.* [26] de leur part ont modélisé le comportement d'un bâtiment de référence afin d'étudier les principaux paramètres qui influent sur la demande d'énergie et le confort. Ils ont démontré que l'utilisation simultanée de "toit cool" et de ventilation naturelle combinée à une forte inertie thermique du bâtiment peut être une solution de refroidissement passif adéquate pour des bâtiments commerciaux, avec une baisse de 99,8 % en degrés-heures d'inconfort en été.

3. Description de la méthodologie

Une étude paramétrique a été réalisée sur un bâtiment générique situé à Skikda, ville du Nord-Est de l'Algérie (latitude 36,54 °N et longitude 6,52°E) afin d'estimer l'effet de la réflectivité des matériaux (albédo) combinée avec d'autres facteurs (orientation, masse thermique et isolation thermique) sur les besoins énergétiques annuels en chauffage et en refroidissement ainsi que sur le confort thermique. Ce bâtiment vu comme un type courant dans la région, dans un contexte de climat méditerranéen (chaud et humide en été et doux et pluvieux en hiver). La température moyenne est de l'ordre de 26,09 °C pour le mois d'août qui est le mois le plus chaud et de l'ordre de 12,07 °C pour le mois de février qui est le mois le plus froid de l'année. Les humidités relatives moyennes mensuelles varient entre 67,1 % et 70,83 %. Le rayonnement solaire est intense, l'énergie incidente maximale sur un plan horizontal est de 8010 W/m² pendant le mois de juillet [27]. Pour les vents, ils sont généralement faibles avec une moyenne annuelle de 3,43 m/s de direction Nord-Est et Sud-Ouest en été, et Nord-Ouest à Nord-Est en saison froide, en plus de l'alternance des brises de terre et brises de mer [28]. Les simulations de cette étude sont effectuées sur 02 ans par le biais du logiciel TRNSYS17 [29] "Système de simulation transitoire", avec un pas de temps d'une heure. Le bâtiment utilisé dans cette étude qui représente un cas de référence virtuel est un parallélépipède de 10 m de longueur, 7 m de largeur et 3 m de hauteur (Figure 1), il se compose de murs en parpaing en double parois de 30 cm d'épaisseur avec une lame d'air de 5 cm d'épaisseur avec un toit plat et un albédo de 0,5.

En premier lieu et afin de simuler l'effet de la paroi verticale (façade), Nous avons considéré que l'albédo de la toiture est fixée à une valeur de 0,5 (une valeur moyenne, pas trop réfléchissante ni trop absorbante), par contre celui des murs, il varie entre 0,1 et 0,9 (sachant qu'un matériau parfaitement réfléchissant ou parfaitement absorbant n'existe pas dans la réalité).

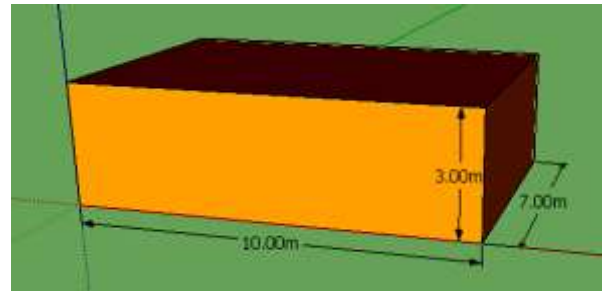


Figure 1 : Forme du bâtiment de référence proposé (parois opaques)

L'orientation du bâtiment varie dans l'intervalle de (90°-Est- à 270°-Ouest-) vers le Sud suivant un angle de 45°. Le coefficient de transmission des murs de façades sont de 1,57 W/m²k pour le mur isolé en parpaing et 1,07 W/m²k pour le mur en brique, les deux principaux matériaux utilisés dans la région. Les simulations sont effectuées sans isolation, puis en introduisant une lame d'air de 5 cm d'épaisseur. Les premières simulations sont effectuées pour les murs opaques afin d'en déduire leurs effets net, ensuite répétées en introduisant une surface vitrée de 6 m² sur le côté Sud du bâtiment (20 % de la surface du mur) afin de déduire l'influence de la pénétration du rayonnement solaire sur les besoins en énergie (Figure2). La fenêtre a un cadre en bois avec simple vitrage de 4 mm d'épaisseur, un coefficient de transmission de 5,74 W/m²k et un facteur solaire de 0,87.

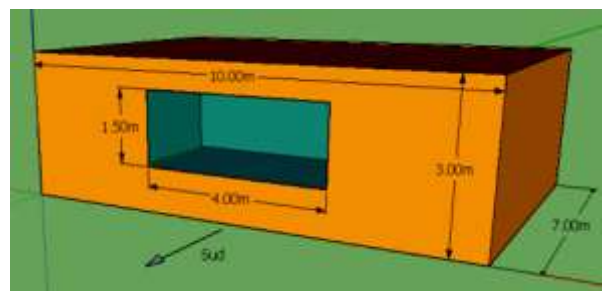


Figure 2 : Forme du bâtiment de référence proposé (Introduction du vitrage)

En deuxième lieu et pour simuler l'effet de la paroi horizontale (toit), Nous avons fixé l'albédo des murs à une valeur de 0,5 ; par contre celui du toit varie entre 0,1

et 0,9. Le coefficient de transmission de la toiture légère est $2,48 \text{ W/m}^2\text{k}$ et celui de la toiture lourde $3,31 \text{ W/m}^2\text{k}$ (les deux principaux types de toitures existants utilisés dans cette étude). Le coefficient d'émissivité de longue longueur d'ondes est considéré égal à 0,9.

On suppose les mêmes scénarios pour les différentes simulations et on considère que le bâtiment est occupé par 5 personnes. Les températures de consigne sont de 20°C et 26°C pour le chauffage et le refroidissement respectivement. En ce qui concerne les gains internes, l'apport de la chaleur sensible et celui de la chaleur latente sont de 75 W par personne relatif à une activité légère selon la norme ISO7730 [30]. Nous avons utilisées les données météorologiques relatives à la ville de Skikda. Les mêmes simulations ont été répétées sans conditionner le bâtiment afin d'estimer l'effet du changement de la réflectivité solaire sur les conditions de confort dans le bâtiment. Les caractéristiques des différentes enveloppes et les conditions de simulations thermiques dynamiques sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 1
Récapitulation des différents paramètres pris en considération dans la simulation

Bâtiment		Caractéristiques	
Élément	Réflectivité Solaire	Orientation	Coefficient de transmission ($\text{W/m}^2\cdot\text{k}$)
Mur en brique isolé	0,1-0,9	90-270	1,07
Mur brique sans Isolation			1,30
Mur en parpaing Isolé	0,1-0,9	90-270	1,57
Mur en parpaing sans isolation			2,12
Toit léger isolé	0,1-0,9		0,62
Toit léger sans Isolation			2,48
Toit lourd isolé	0,1-0,9		0,66
Toit lourd sans isolation			3,31
Surface du bâtiment			70 m^2
Volume du bâtiment			210 m^3
Surface de la fenêtre			6 m^2
Fenêtre			5,74
Température de consigne pour refroidissement			26°C
Température de consigne pour chauffage			20°C

4. Résultats et discussion

4.1. Paroi verticale

Les résultats des simulations propres à la paroi verticale (façade) concernant les besoins énergétiques et le confort thermique sont analysés comme suit :

4.1.1. Les besoins énergétiques

L'analyse des résultats de l'étude paramétrique concernant les besoins énergétiques est exprimée par les graphiques suivants selon différents paramètres :

4.1.1.1. Effet de la réflectivité solaire

D'après la figure 3, on remarque que le bâtiment de référence, qui a une valeur d'albédo de 0,5, présente des besoins énergétiques annuels totaux pour le chauffage et le refroidissement de l'ordre de $68,98 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$, soit $28,14 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$ et $40,84 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$ pour le chauffage et le refroidissement respectivement. En attribuant la valeur d'albédo de 0,9 aux différentes façades du bâtiment, les besoins énergétiques en chauffage augmentent de $7,02 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$, dont un pourcentage de 20 %, par contre les besoins en refroidissement diminueront de $9,92 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$, soit un pourcentage de 24 %. Par conséquent, les besoins totaux diminuent de $2,89 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$ équivalent à un pourcentage d'environ 4 %.

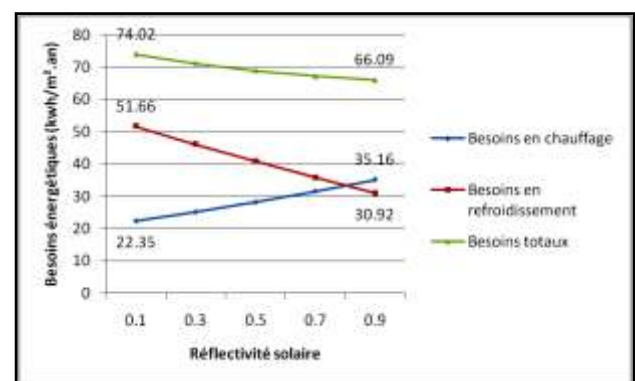


Figure 3 : Effet de la réflectivité solaire sur les charges annuelles d'énergie pour le bâtiment en parpaing orienté Sud

Néanmoins, le changement de la couleur des murs de façades par un albédo de 0,1 donne des résultats opposés. Les besoins en chauffage diminueront de $5,79 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$ avec un pourcentage de 20 %. Les exigences en refroidissement augmenteront de $10,82 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{an}$, donnant un pourcentage de 21 %, d'où le total des besoins

énergétiques augmente de 5,77 kWh/m².an avec un pourcentage de 7,79 %.

Nous constatons que les besoins énergétiques totaux sont inversement proportionnels avec les valeurs de la réflectivité solaire-albédo, et nous pouvons conclure que la couleur des murs extérieurs affecte la performance thermique du bâtiment en donnant de meilleurs résultats avec la couleur la plus réfléchissante d'un albédo de 0,9.

4.1.1.2. Effet de l'orientation

L'orientation du bâtiment est importante à prendre en considération dès la conception du bâtiment afin de le protéger contre le soleil d'été et de profiter d'accès solaire en hiver. La figure 4 montre que l'énergie totale nécessaire pour offrir le confort tout au long de l'année selon différentes orientations est de l'ordre 68,98 kWh/m².an pour le Sud, 70,34 kWh/m².an pour le Sud-Ouest, 70,32 kWh/m².an pour le Sud-Est, 70,08 kWh/m².an pour le Sud-Est et 70,08 kWh/m².an pour l'Est et l'Ouest. On peut en déduire que l'énergie totale annuelle nécessaire à la fois pour le chauffage et le refroidissement est la plus faible pour l'orientation Sud, ce qui signifie que la façade Sud est la meilleure orientation permettant des économies d'énergie.

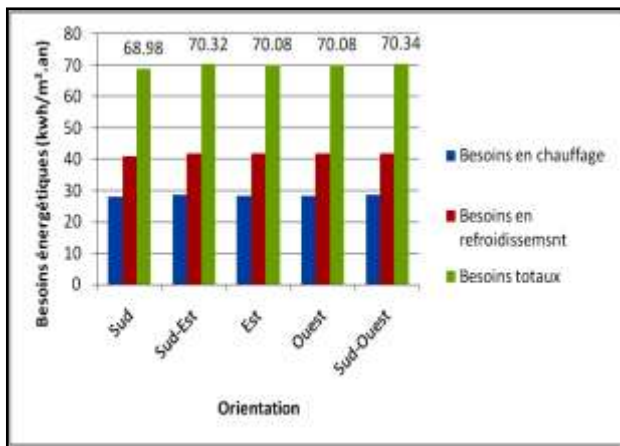


Figure 4 : Effet de l'orientation sur les charges annuelles d'énergie pour le bâtiment en parpaing avec une réflectivité solaire de 0,5

4.1.1.3. Effet du type de matériau et isolation

Les types de matériaux utilisés dans cette étude sont le parpaing et la brique, qui sont les plus répandus dans la région. Le changement dans la constitution de la paroi verticale du bâtiment entre le mur de parpaing et le mur de brique a donné les résultats représenté par la figure 5. On constate que les besoins en chauffage pour les bâtiments avec mur de parpaing sont de 35,13 kWh/m².an tandis que pour les murs en brique, ils sont de

24,67 kWh/m².an, d'où une diminution de 10,46 kWh/m².an représentant un pourcentage de 29,77 %. Les besoins en refroidissement sont de 40,38 kWh/m².an pour les murs en parpaings et 42,20 kWh/m².an pour les murs en brique, d'où une différence de 1,82 kWh/m².an et un pourcentage de 4,31 %. La demande énergétique totale à son tour passe de 75,50 kWh/m².an pour le premier cas et 66,87 kWh/m².an pour le second, ce qui donne une différence de 8,63 kWh/m².an relative à un pourcentage de 11,43 %, ce qui montre que la brique a une meilleure performance énergétique par rapport au parpaing.

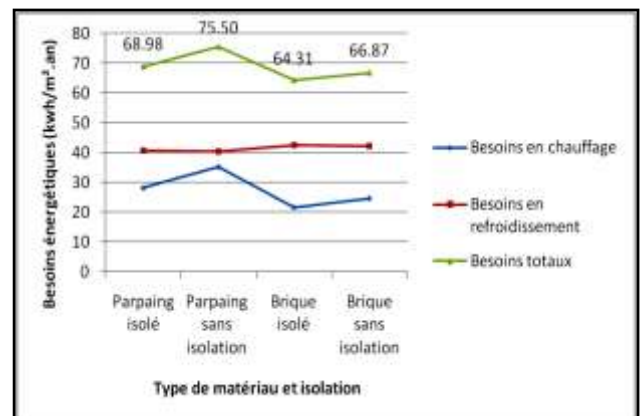


Figure 5 : L'effet du type de matériau et de l'isolation sur les besoins énergétiques annuels pour une réflectivité solaire de 0,5 et une Orientation Sud

L'effet de l'isolation est estimée en comparant le même type de paroi avec et sans isolation.

Pour le parpaing, les exigences de chauffage lorsque une isolation est appliquée sont réduites de 6,99 kWh/m².an comparé à ceux obtenus pour un mur sans isolation, d'où un pourcentage de 19,89 %, alors que les besoins de refroidissement ont augmenté de manière insignifiante. Par conséquent, la diminution des besoins totaux est de 6,52 kWh/m².an soit un pourcentage de 8,63 %.

Pour le mur de brique, la même tendance est constatée. Les besoins de chauffage pour la paroi isolée sont inférieurs à ceux de la paroi sans isolation d'environ 3,01 kWh, d'où un pourcentage de 12,20 %. Le changement dans les exigences de refroidissement est négligeable, et la diminution des besoins totaux est de l'ordre de 2,56 kWh avec un pourcentage de 3,82 %.

On peut déduire que le rajout d'une couche isolante au niveau du mur réduit d'avantage les besoins énergétiques du bâtiment, donc, accentue son efficacité énergétique. En outre, le changement des besoins énergétiques annuels totaux en chauffage et en refroidissement entre le

bâtiment en parpaing et celui en brique lorsque l'isolant est appliqué marque une diminution de 8,63 %, ce qui explique la meilleure performance énergétique de la brique comparé au parpaing.

Après l'introduction d'une fenêtre dans le mur Sud du bâtiment, les besoins en énergie ont changé. Pour le mur de parpaing plein Sud, avec une réflectivité de 0,5, les besoins en chauffage ont diminué de 21,67 %, bien que les exigences de refroidissement aient augmenté de 16,99 %, entraînant une augmentation des besoins totaux de 3,17 %.

Pour la réflectivité de 0,1, les besoins en chauffage pour la paroi percée ont diminué de 20 %. Les besoins en refroidissement ont augmenté de 13,36 % ce qui engendre une augmentation de 4,50 % pour les besoins totaux.

Pour le pouvoir réfléchissant de 0,9, la demande en chauffage a diminué de 23 %. La nécessité d'un refroidissement a augmenté de 21,85 %, mais le total des besoins a enregistré une différence négligeable. Les résultats des besoins énergétiques après avoir ajouté une fenêtre au mur Sud du bâtiment sont présentés par la figure 6.

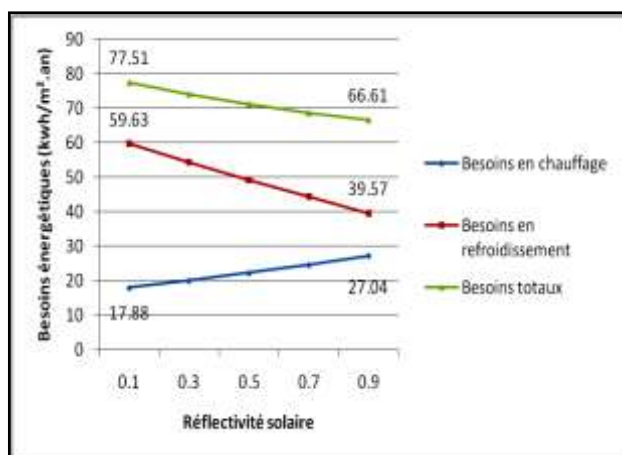


Figure 6 : Effet de la réflectivité solaire sur les charges d'énergie annuelles pour le bâtiment en parpaing orienté Sud avec vitrage

Nous pouvons conclure que l'introduction d'une fenêtre dans le mur sud peut diluer l'effet des avantages de la haute réflectivité de l'enveloppe du bâtiment sur la demande d'énergie.

4.1.2. Le confort thermique

Pour estimer le confort d'été à l'intérieur du bâtiment, nous avons répété les mêmes simulations sans

conditionnement d'air. Nous avons pris un seuil de température de 27 °C, au-delà duquel nous avons enregistré le nombre d'heures d'inconfort. Les résultats obtenus seront lus après le changement de la réflectivité des murs de façade. Le nombre d'heures d'inconfort pour le bâtiment de référence est de 2 866 heures d'où un pourcentage de 32,71 %. Comme on s'y attendait, l'augmentation du pouvoir réfléchissant du revêtement de la façade diminue le nombre d'heures d'inconfort. Par exemple, pour la valeur de réflectivité de 0,9, le nombre d'heures d'inconfort sera réduit à 2 070 heures équivalentes à un pourcentage de 23,63 %.

Si l'on applique un revêtement d'une réflectivité de 0,1, le nombre d'heures d'inconfort augmentera à 3 552 heures, ce qui entraîne un pourcentage de 40,54 %. Nous pouvons conclure que la réflectivité des matériaux des revêtements muraux joue un rôle dans l'amélioration des conditions de confort d'été à l'intérieur du bâtiment, au-delà de 0,5, l'ambiance intérieure est modérée et le confort thermique est atteint par la diminution du nombre d'heures d'inconfort.

4.2. Paroi horizontale

Le changement de la réflectivité ainsi que l'attribution d'une couche isolante au niveau du toit a donné les résultats suivants :

4.2.1. Les besoins énergétiques

4.2.1.1. Effet de la réflectivité solaire et du type de matériau

Le fait de fixer l'albédo des murs et de varier celui de la toiture a permis de mettre en évidence l'effet de la réflectivité de la toiture sur les besoins énergétiques du bâtiment et sur le confort thermique. La figure 7 montre que pour un toit léger sans isolation, le fait de changer l'albédo de 0,1 à 0,9 a permis de réduire les besoins énergétiques annuels de 33,22 %, par une augmentation en chauffage de 49,90 % et une réduction des besoins en refroidissement estimée à 72,22 %. La même constatation pour le toit lourd sans isolation (Figure 8). Le passage de l'albédo de 0,1 à 0,9 a permis de réduire les besoins énergétiques totaux de 31,70 %, avec une augmentation de 33,80 % pour le chauffage et une réduction de 78,48 % pour le refroidissement.

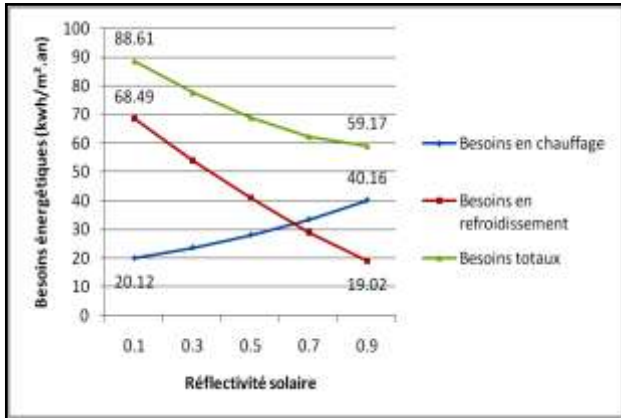


Figure 7 : Effet de la réflectivité solaire du toit léger sans isolation sur les charges d'énergie annuelles

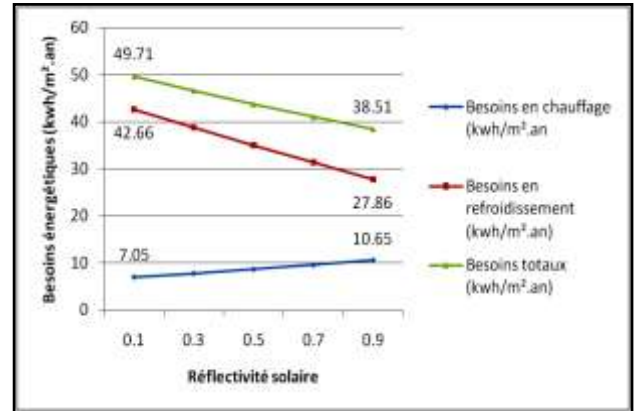


Figure 9 : Effet de la réflectivité solaire du toit léger isolé sur les charges d'énergie annuelles

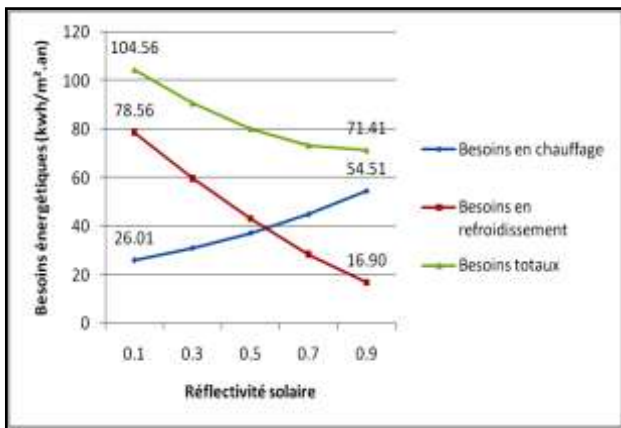


Figure 8 : Effet de la réflectivité solaire du toit lourd sans isolation sur les charges d'énergie annuelles

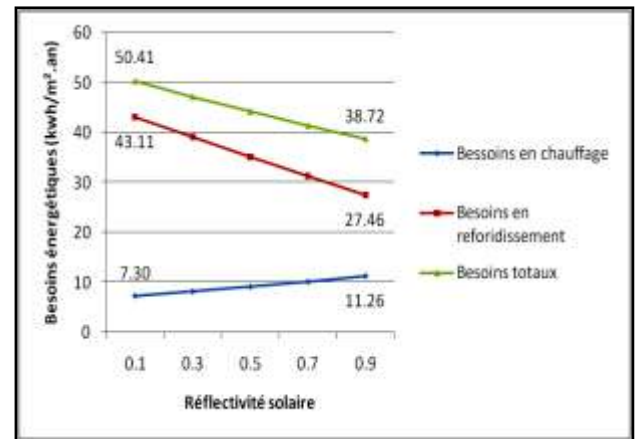


Figure 10 : Effet de la réflectivité solaire du toit lourd isolé sur les charges d'énergie annuelles

4.2.1.2. Effet de l'isolation

L'introduction d'une couche isolante de polystyrène expansé d'une épaisseur de 5 cm pour les deux types de toit n'a fait qu'améliorer les performances énergétiques du bâtiment, en réduisant d'avantage la demande énergétique totale. Les résultats obtenus pour les deux toits isolés s'approchent en matière de besoins énergétiques mais différent de ceux obtenus sans isolation avec une réduction de 43,90 % pour l'albédo de 0,1 relatif à un toit léger, et une réduction de 34,91 % pour l'albédo de 0,9. Pour le toit lourd, et avec un albédo de 0,1, la réduction des besoins énergétiques totaux est de 51,78 % et elle est de 45,77 % pour la valeur d'albédo de 0,9. Ces résultats sont illustrés par la figure 9 et la figure 10 et qui coïncident avec des recherches précédentes entre autres, celle de Givoni et Hoffman [11] et celle de Shariah *et al.* [23].

4.2.1.3. Le confort thermique

L'effet de la réflectivité du toit sur le confort thermique est estimé de la même manière que celui du mur, c'est à dire en comptabilisant le nombre d'heures d'inconfort pour des revêtements ayant différentes valeurs d'albédo, et pour ce faire, nous avons choisi le toit léger sans isolation, pour un bâtiment en parpaing isolé, où la valeur d'albédo des murs est fixé à 0,5, (bâtiment de référence). Le nombre d'heures d'inconfort pour l'albédo de 0,5 pour ce type de toit est estimé à 5 022 heures dont un pourcentage de 57,32 %. Le fait de changer l'albédo du toit à la valeur de 0,1 fait augmenter le nombre d'heures d'inconfort à 3 386 heures d'où un pourcentage de 38,65 %, et pour un revêtement réfléchissant d'une valeur d'albédo de 0,9, le nombre d'heures d'inconfort est réduit à 1 408 heures avec un pourcentage de 16,07 %. Ces résultats coïncident avec ceux de Synnefa *et al.* [24].

5. Conclusion

Le but de cette étude est d'estimer l'effet de la réflectivité solaire (albédo) des parois horizontales et verticales avec d'autres paramètres sur la consommation d'énergie et le confort thermique dans le contexte climatique méditerranéen. On peut déduire que :

- La haute réflectivité joue un rôle très important dans la réduction des besoins énergétiques du bâtiment.
- L'effet de la réflectivité du toit dépasse celui des murs de façades, donc plus efficace.
- L'effet de la réflectivité de l'enveloppe du bâtiment est accentué si ce dernier est orienté Sud et muni d'une isolation thermique.
- Pour le cas de notre région, il est préférable d'utiliser la brique au lieu du parpaing, pour les meilleures qualités et performances thermiques qu'elle présente.
- Concernant le confort, les toits réfléchissants donnent de meilleurs résultats que les murs réfléchissants. Cela permet de minimiser le recours au conditionnement d'air, donc, réduire considérablement les besoins en refroidissement, et par conséquent le nombre d'heures d'inconfort.

L'optimisation et la combinaison des différents paramètres étudiés (réflectivité solaire, orientation, masse thermique et isolation thermique), permettent aux intervenants sur le bâtiment (concepteurs, architectes, décideurs ... etc.) d'assurer un niveau de confort thermique pour l'habitant tout au long de l'année avec une consommation énergétique moindre.

Références

- [1] ONU "World urbanisation prospects 3, Progress in planning, 2011, AIE & PNUE, In J. J. Terrin, Villes et changements climatiques, îlots de chaleur urbain, Ed. Parenthèses, Marseille, 2015, p10.
- [2] Romani Z., "Développement d'une méthode d'aide à la décision multicritère pour la conception des bâtiments neufs et la réhabilitation des bâtiments existants à haute efficacité énergétique", Thèse 2015, Université de La Rochelle, France
- [3] Nezzar S. and Goudache G., In Fezzioui N. et al., Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud algérien, Revue des énergies renouvelables, 11 (1) (2008) 25–34.
- [4] Pigeon G., Lemonsu A., Masson V., Hidalgo J., De l'observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville, La Météorologie, 62 (2008) 62-39.
- [5] Taha H., Akbari H., Rosenfeld A. and Huang J., Residential cooling loads and the urban heat island: the effects of albedo, Build. Environ., 23 (4) (1988) 271–283.
- [6] Rosenfeld A., Akbari H., Bretz S., Fishman B. L., Kurn D. M., Sailorand D., Taha H., Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates, Energy Build., 22 (3) (1995) 255–265.
- [7] Akbari H., Bretz S., Kurnand D. M., Hanford J., Peak power andcooling energy savings of high-albedo roofs, Energy Build., 25 (2) (1997) 117–126.
- [8] Prado R.T.A., Ferreira F. L., Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials, Energy build., 35 (2005) 295–300.
- [9] Akbari H., Pomerantz M. & Taha H., Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas, Solar energy, 70 (3) (2001) 295–310.
- [10] Mansouri O., "L'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur la modification du microclimat et sur le confort thermique extérieur ans un canyon urbain", Mémoire de Magister, 2008, Université Mentouri, Contantine, Algérie..
- [11] Givoni B. and Hoffiman M. E., Effect of building materials on internal temperatures, Technion, Israel Institute of Technology. Building Research Station., Ed. Haifa, 1968
- [12] Reagan J. A. and Acklam D. M., Solar reflectivity of common building materials and its influence on the roof heat gain of typical southwestern U.S.A. residences, Energy Build., 2 (3) (1979) 237–248.
- [13] Bansal N. K., Gargand S. N., Kothari S., Effect of exterior surface colour on the thermal performance of buildings, Build. Environ., 27 (1) (1992) 31–37.
- [14] Taha H., Sailor D., Akbari H., High albedo materials for reducing cooling energy use, Lawrence Berkeley Lab. 1992, Rep. 31721, vol. UC-530, Berkeley CA. USA
- [15] Cheng V., Ngand E., Givoni B., Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate, Sol. Energy, 78 (4), (2005) 528–534.
- [16] Uemoto K. L., Satoand N.M.N., John V.M., Estimating thermal performance of cool colored paints, Energy Build., 42 (1) (2010) 17–22.
- [17] Shen H., Tanand H., Tzempelikos A., The effect of reflective coatings on building surface temperatures , indoor environment and energy consumption: An experimental study, 43 (2011) 573–580.
- [18] Bozonnet E., Doya M. and Allard F., Cool roofs impact on building thermal response: A French case study, Energy Build., 43 (11) (2011) 3006–3012.
- [19] Pisello A. L., Cotana F., The thermal effect of an innovative cool roof on residential buildings in Italy: Results from two years of continuous monitoring, Energy and Buildings, 69 (2014) 154–164.
- [20] Pisello A. L., Castaldo C., Piselli C., Pignatta G., Cotana F., The Combined thermal effect of cool roof and cool façade on a prototype building, Energy procedia, 78 (2015) 1556-1561.
- [21] Parker D. S., Barkaszi S. F., Sonne J. K., Measured cooling energy savings from reflective roof coatings in Florida, Phase II report, Rep. No. FSEC-CR-699-94, Florida Sol. Energy Center, Cape Canaveral, FL, 1994.
- [22] Simpson J. R. and Mcpherson E. G., The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson , Arizona, 25 (2) (1997) 127-137.
- [23] Shariah A., Shalabi B., Rousanand A., Tashtoush B., Effects of absorptance of external surfaces on heating and cooling loads of residential buildings in Jordan, Energy Convers. Manag., 39 (3-4) (1998) 273–284.
- [24] Synnefa A., Santamouris M. and Akbari H., Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions, Energy Build., 39 (11) (2007) 1167–1174.
- [25] Zinzi M., Daneoand A. and Fanchiotti A., Paper No 314: Optical properties and influence of reflective coatings on the energy demand and thermal comfort in dwellings at Mediterranean latitudes, PLEA 2008, 25th Conf. Passiv. Low Energy Archit, Dublin, 22nd to 24th Oct. 2008, 314.
- [26] Lapisar R., Bozonnet E., Abadie M. O. and Salagnac P., Cool roof and ventilation efficiency as passive cooling strategies forcommercial low-rise buildings—ground thermal inertia impact, Advances in Building Energy Research, 7 (2) (2013) 192–208.
- [27] Capderou M., Atlas solaire de l'Algérie. Tome 2, Aspect énergétique. Edition OPU, Algérie, 1985, pp12.
- [28] Station météorologique de Skikda (2015)
- [29] "RNSYS 17", T. S. S. P. U. Manuel, Sol. Energy Lab. Univ. Wisconsin, Madison, USA.

[30] ISO 7730, Moderate thermal environment - determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions of thermal comfort, Geneva. International Standards Organisations. 1984.
