



Impact du couplage matériaux locaux-chauffage solaire sur les performances énergétiques des bâtiments

Habiba **KAZEoui**^a, Abdelkader **TAHAKOURT**^a, Rafik **BELARBI**^b, Abdelkrim **AIT-MOKHTAR**^b

^aLaboratoire de Génie de la Construction et Architecture (LGCA). Université de Bejaia., Algérie.

^bLaboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (LaSIE), Université de La Rochelle, Avenue Michel Crépeau, 17042 La Rochelle cedex1, France

hkazeoui@yahoo.fr, atahakourt@yahoo.fr, rbelarbi@univ-lr.fr, kmokhtar@univ-lr.fr

Résumé : L'étude porte sur l'évaluation des performances énergétiques des bâtiments traditionnels et modernes équipés d'un Plancher Solaire Direct (PSD). Les termes "moderne" et "traditionnel" font références aux matériaux de construction utilisés : béton ou brique pour les modernes, et l'adobe ou la pierre pour les traditionnels. L'étude a été menée en utilisant un code dynamique de simulation thermique des bâtiments « TRNSYS ». Le travail proprement dit a porté sur l'évaluation des besoins énergétiques de chaque bâtiment sans et avec le système de plancher solaire. Ceci nous a permis l'évaluation de la contribution du PSD dans la réduction de la facture énergétique de chaque type de bâtiment. Le confort thermique, par l'évaluation de la température intérieure et des indices de confort PMV et PPD, a ensuite été analysé. L'analyse a montré que la construction en matériaux traditionnels offre un meilleur confort thermique que ce soit en hiver ou en été. Le couplage de ces matériaux avec le plancher solaire direct offre d'importantes économies d'énergie. Enfin une étude paramétrique a été réalisée afin d'évaluer les principaux facteurs affectant le bilan énergétique de tels bâtiments.

Mots clés : Energie solaire, matériaux locaux, confort thermique, TRNSYS.

1. Introduction

Au delà des considérations environnementales aujourd'hui bien connues, l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments est devenue une nécessité absolue du fait de l'augmentation constante et irréversible du prix de l'énergie. Augmentation liée directement à sa raréfaction croissante et à son coût d'exploitation, lui aussi croissant.

En Algérie, le secteur bâtiment occupe la première place en matière de consommation d'énergie. Il représente 52% environ de la consommation totale nationale [1]. En outre, le programme d'un million de logements lancé par le gouvernement Algérien représentera une fois réalisé, 17% environ du parc existant et engendrera donc une consommation supplémentaire équivalente si les règles d'efficacité énergétique dans le bâtiment ne sont pas intégrées [2]. L'utilisation des énergies renouvelables en Algérie n'a pas dépassé le seuil d'expérience malgré sa situation géographique. Son gisement solaire est des plus importants dans le monde : près de 1700KWh/m²/an au nord et 2263 KWh/m²/an dans les hauts plateaux et le Sahara [2,3]. Ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans le domaine du bâtiment.

D'un autre côté, le choix des matériaux de construction a une incidence non négligeable sur les performances d'un bâtiment. Malheureusement, toutes les constructions actuelles se ressemblent et utilisent les mêmes matériaux : le béton ou la brique, sous n'importe quel climat. Cette inadaptation des constructions au climat engendre la réalisation de « passoires thermiques » où le recours à l'utilisation des systèmes de conditionnement d'air devient inévitable pour assurer un certain confort.

De nombreuses études ont montré l'efficacité de la construction avec des matériaux locaux dans le confort d'été [4,5]. Cependant, le confort d'hiver était insuffisant et que dans ce cas, un apport en chauffage serait indispensable. A cet effet, nous présentons dans cette étude l'intégration de la technique de chauffage par Plancher Solaire Direct dans les bâtiments à base de matériaux locaux et l'analyse de leur comportement thermique et énergétique. Les résultats sont comparés à ceux obtenus avec les bâtiments construits actuellement. Une étude paramétrique a été réalisée afin d'évaluer les principaux facteurs affectant le bilan énergétique du PSD couplé à l'utilisation des matériaux de construction locaux dans un climat aride.

2. Consommation énergétique et émission des GES

La consommation nationale de l'énergie en Algérie, toutes formes confondues (gaz, produits pétroliers et électricité) est passée d'environ 30,1 Mtep en 2000 à 41,1 Mtep en 2008, soit un taux de croissance moyen annuel de l'ordre de 3,7 % et une consommation moyenne de 1,2 tep/hab. La consommation du gaz naturel du marché intérieur a connu une forte croissance avec un taux moyen de 8 % par an durant cette période contre 6 % enregistrée pour la consommation de l'électricité [1].

La consommation finale par secteurs d'activités, représentée dans le tableau1, fait sortir que le secteur « ménages » vient en tête avec 52% de la consommation globale.

Tableau1 : Consommation finale par secteur d'activité en 2008. Source [1].

Consommation finale par secteur d'activité	Quantité (Mtep)	Proportion (%)
Industrie et BTP	6.779	24.6
Transport	6.450	23.4
Ménages et autres	14.308	52.0
Total	27.538	100

En outre, le rapport du projet GEF/PNUD [1] estime que la consommation totale annuelle de gaz naturel en 2025 serait de 846 565 millions de thermies soit une augmentation de 230 % par rapport à l'année 2007. La consommation des ménages en 2025 subira une augmentation de 336 % par rapport à 2007.

En matière d'émission des GES, les industries énergétiques constituent l'activité prédominante avec 32,30 % du total des émissions. Elles sont suivies par le résidentiel et les transports avec respectivement 16,24 % et 14,60 %. Il y'a lieu de noter que le secteur industriel le plus polluant est le secteur des matériaux de construction qui arrive largement en tête avec une consommation de 2 987 488 tep, soit 63 % de la consommation totale. Ceci est principalement dû à la généralisation de la construction en béton dont le constituant principal est le ciment. En effet, l'essentiel des émissions de CO₂ dans ce secteur provient de la production du ciment (99% environ) tel que montré par le tableau 2. Cette situation incite à se pencher de plus près à cette branche d'activité et plus particulièrement la branche du ciment qui demeure l'activité la plus émettrice de CO₂.

Tableau2 : Répartition des émissions de CO₂ dues aux produits minéraux. Source [1].

Produits	Emission CO ₂ (Gg)
Ciments	3196.58
Chaux	35.50
Calcaire dolomite	3.36
Soude (utilisation et production)	9.53

La stratégie nationale dans le secteur de l'énergie vise la maîtrise de la consommation énergétique, la réduction des émissions de gaz effet de serre et le développement des énergies renouvelables. Réduire le recours au ciment par la construction en matériaux locaux ainsi que l'utilisation du solaire thermique peuvent contribuer d'une manière significative à cette politique.

3. Approche mathématique

Dans le but d'estimer le confort thermique et d'évaluer la performance énergétique de l'utilisation couplée du plancher solaire direct avec la construction en matériaux locaux, le travail a été mené en deux étapes. La caractérisation thermique et mécanique a d'abord été réalisée [5,6]. Les caractéristiques thermophysiques ont été mesurées au laboratoire sur des échantillons d'adobe dont la composition est présentée au tableau 3. Dans la seconde étape, le logiciel TRNSYS a été utilisé afin de modéliser le bâtiment équipé du système PSD [7,8].

Tableau 3: Composition du matériau local utilisé dans la simulation.

Matériau	Argile	Agent de stabilisation (CPA)	Paille	Eau
Masse (g)	100	10	2	50

4. Description des simulations numériques

Les bâtiments simulés correspondent aux constructions types rencontrées dans le secteur résidentiel Algérien : anciens bâtiments traditionnels, très rarement utilisés actuellement, et les bâtiments modernes qui sont par contre généralisés pour tous les climats. Les termes “traditionnel” et “moderne” font référence aux matériaux de construction utilisés dans le bâtiment: pierre et adobe pour les traditionnels et briques et béton pour les modernes, comme l’indique le tableau 4 qui donne les caractéristiques des matériaux composant les murs [9]. Les planchers bas sont en béton de 12cm d’épaisseur pour les bâtiments modernes et en terre cuite de 14cm pour les traditionnels. Quant aux plafonds, c’est un plancher à corps creux de 20cm d’épaisseur pour le bâtiment en briques, une dalle pleine en béton de 14cm pour celui en béton et un plafond traditionnel en terre (+fibres végétales: alfa) de 30cm pour les bâtiments traditionnels. Les caractéristiques thermo-physiques de ces matériaux sont données dans le tableau 5.

Les épaisseurs des matériaux utilisées dans les simulations représentent celles réellement utilisées dans le secteur de construction Algérien. Ces valeurs sont basées uniquement sur des calculs de structure sauf pour les murs en double briques où le côté thermique est pris en considération par l’utilisation d’une bande de 5cm d’air entre deux cloisons en briques, comme matériau isolant.

Notons que le bâtiment simulé est une construction individuelle de type monozone (tous les murs sont en contact avec l’extérieur) puisque l’objectif est de montrer l’incidence du couplage PSD-matériaux locaux sur les performances énergétiques et thermiques des bâtiments. Le ratio de captage (surface capteurs/surface plancher) utilisé dans les simulations est de 10%.

Tableau 4: Caractéristiques des matériaux de construction constituant les murs extérieurs.

Mur en :		Conductivité thermique λ ($W/m^{\circ}C$)	Masse volumique ρ (kg/m^3)	Capacité thermique C ($kJ/kg.^{\circ}C$)	Epaisseur e (m)
Adobe		0.427	1594.2	0.687	0.3
Pierre		1.0	1700	0.936	0.4
Double-Briques	Brique creuse	0.5	720	0.794	0.15
	Lame d’air	0.025	1.18	1	0.05
	Brique creuse	0.5	720	0.794	0.10
Béton		1.75	2400	0.92	0.15

Tableau 5: Caractéristiques des matériaux de construction constituant les planchers.

Matériaux		λ ($w/m^{\circ}C$)	ρ (kg/m^3)	C ($kJ/kg.^{\circ}C$)	e (m)
Corps creux		1.14	2000	1080	0.20
Terre cuite		3.6	1150	984	0.14
Plancher en terre	terre	4.14	2000	936	0.30
	alfa	0.18	120	620	0.05

Afin d’examiner la performance énergétique de ces bâtiments, la méthodologie retenue consiste en un calcul des besoins énergétiques pour le chauffage de chaque bâtiment sans installation solaire et du même bâtiment avec plancher solaire.

Par “ besoins énergétiques ”, nous entendons la quantité d’énergie nécessaire pour atteindre une température intérieure de consigne que nous avons fixée à 20°C. Il y’a lieu de noter qu’aucun système d’appoint n’a été considéré dans les bâtiments.

La présence du PSD génère une réduction des besoins d'énergie et l'économie réalisée représente la part des besoins couverte par l'installation solaire. Elle est calculée par l'expression suivante :

$$\text{Economie (\%)} = \frac{\text{Besoins sans PSD} - \text{Besoins avec PSD}}{\text{Besoins sans PSD}}$$

Cette économie est le résultat de la modélisation du PSD couplé au bâtiment et intègre de ce fait tous les phénomènes de transfert. En effet, le couplage PSD-bâtiment est réalisé via le flux conductif calculé au sein du plancher et la température équivalente qui fait intervenir les flux convectif et radiatif dans les bilans thermiques. Le confort thermique à l'intérieur des bâtiments sans et avec le plancher solaire a aussi été analysé. En effet, dans un premier temps, c'est la température intérieure de chaque bâtiment qui a été calculée, durant la période de chauffage puis durant une journée type d'hiver (la plus froide). Ensuite, les indices de confort : PMV (Predicted Mean Vote) et PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) ont été estimés dans chaque bâtiment durant toute la période de chauffage (Octobre à Avril).

Les hypothèses suivantes ont été considérées:

- La température de consigne pour le chauffage a été fixée à 20°C.
- Les simulations ont été menées en utilisant les données météorologiques de la ville de Bechar (Algérie).

Une série de paramètres, pouvant affecter la performance énergétique du système PSD couplée à la construction avec les matériaux locaux, a été étudiée (tableau 6). Chaque paramètre a été considéré constant sauf sous le cas d'étude considéré.

Tableau 6: Liste des paramètres étudiés.

Paramètre étudié	Définition ou valeur
Données climatiques	Bechar (semi-aride) – Alger (Méditerranéen)
Surface du vitrage sud	20% - 40% de la surface du mur sud
Type du vitrage	Simple – Double
Surface des capteurs	10% - 20% de la surface du plancher chauffant.

5. Résultats et discussions

5.1 Economies énergétiques

De l'estimation des besoins de chauffage, nous remarquons que les économies d'énergie réalisées par le plancher solaire varient comme suit : entre 60 et 100% pour le bâtiment en adobe, entre 25 et 100% pour le bâtiment en pierre, de 21 à 65% pour le bâtiment moderne en double brique et entre 11 et 37% pour le bâtiment en béton (Figure 1). Les économies de 100% enregistrées en début et fin de saison de chauffage (le PSD couvre la totalité des besoins en chauffage) sont tout à fait prévisibles du fait qu'en ces périodes, les besoins diminuent et le soleil est très présent ce qui augmente le rendement du système solaire.

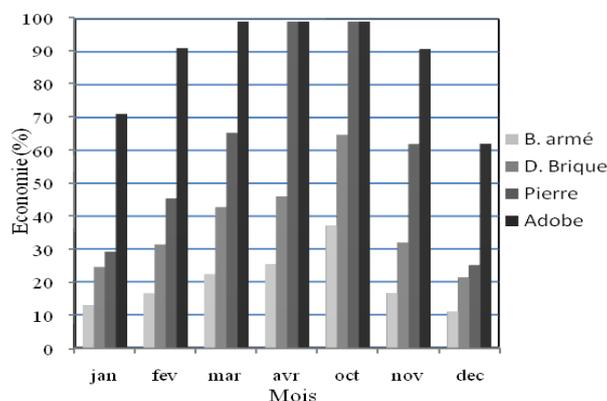


Figure 1: Variation de l'économie de chauffage apportée par le PSD. Bâtiment avec 20% de vitrage double en façade sud.

5.2 Températures intérieures et indices de confort

L'illustration de l'évolution mensuelle de la température d'air à l'intérieur des bâtiments dans la figure 2 montre que, sans le PSD, la différence des températures entre les différents bâtiments n'est pas très grande (les valeurs minimales varient de 10°C pour le bâtiment en béton à 12.7°C pour le bâtiment traditionnel en adobe). L'introduction du plancher solaire contribue à l'amélioration des températures intérieures dans tous les bâtiments, seulement sa contribution est nettement plus importante dans le bâtiment en adobe. Dans ce cas, la température moyenne mensuelle minimale (décembre) a augmenté de 4.5°C par rapport au bâtiment non chauffé (12.7 à 17.2°C) contre seulement 2°C (10 à 12°C) pour le bâtiment en béton.

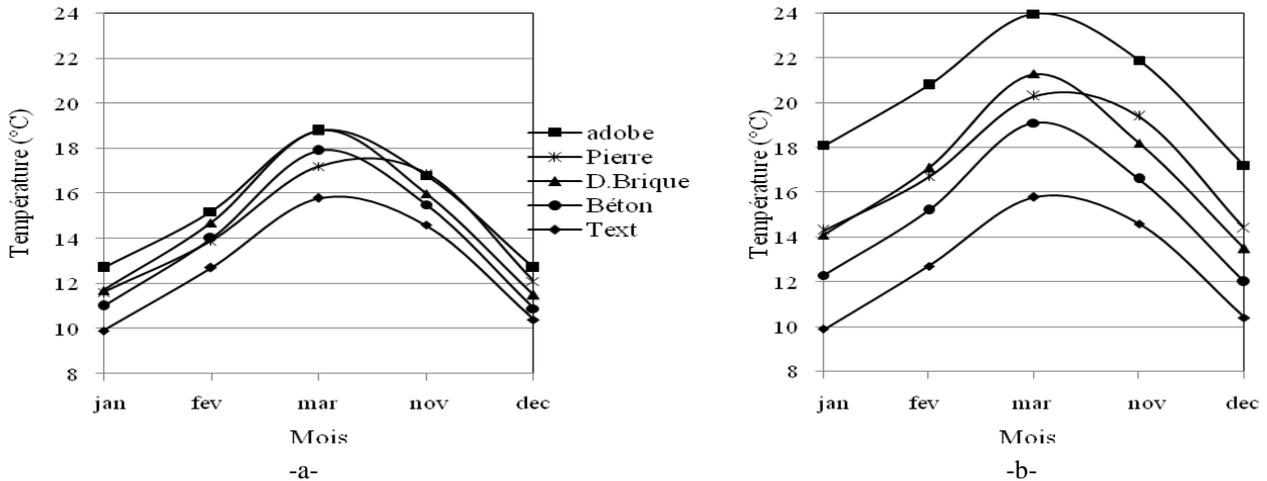


Figure 2: Evolution mensuelle de la température intérieure dans les différents bâtiments. -a- sans PSD ; -b- avec PSD.

En analysant les températures intérieures journalières durant un mois-type d'hiver (Figure 3), on voit clairement l'effet de l'inertie thermique qui caractérise les bâtiments traditionnels. Celle-ci permet la préservation et le maintien des températures intérieures grâce à son potentiel de stockage thermique qui lui permet d'emmagasiner de la chaleur quand le soleil est là (d'où l'intérêt de leur couplage avec un système solaire) et de maintenir la température stable.

Quand la température extérieure diminue, la chaleur emmagasinée est restituée à l'ambiance intérieure contrairement à la construction moderne qui suit, sans amortissement ni retard, les fluctuations de la température. Ce phénomène peut être mieux illustré par la figure 4 qui représente l'évolution horaire des températures durant une journée-type d'hiver.

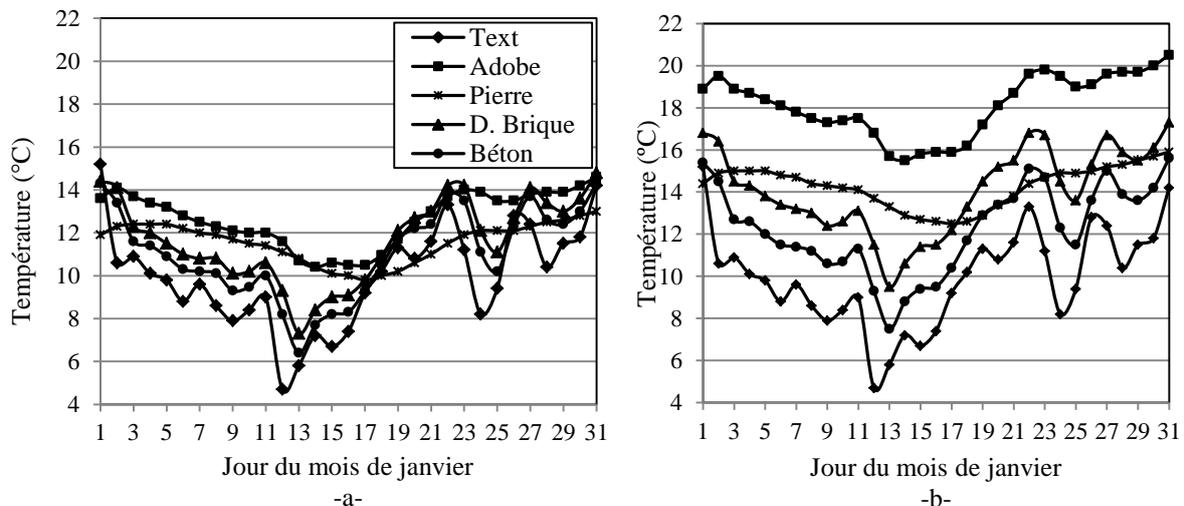


Figure 3: Evolution journalière de la température intérieure dans les différents bâtiments durant le mois de janvier. -a- sans PSD ; -b- avec PSD.

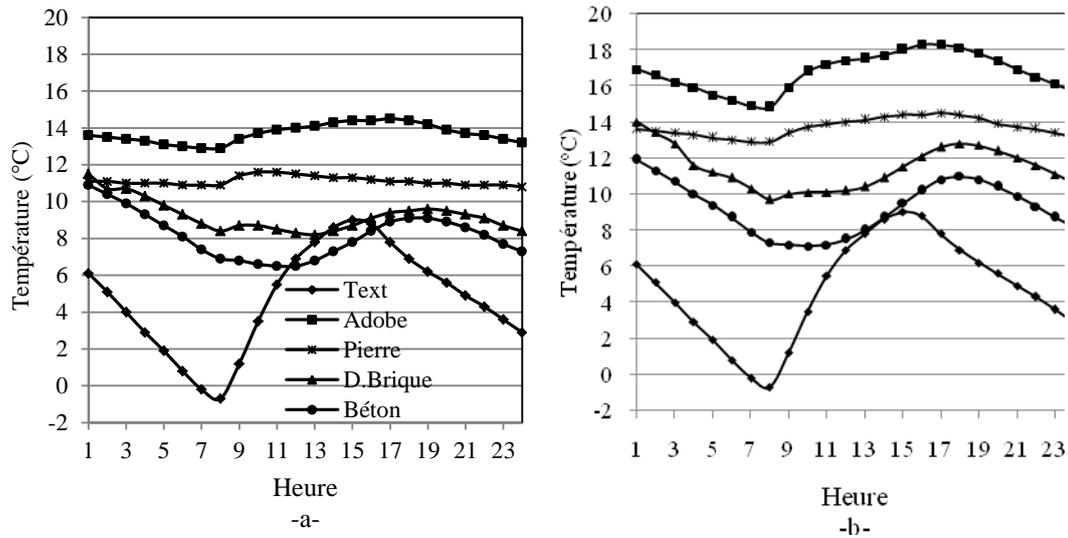


Figure 4: Evolution horaire de la température intérieure dans les différents bâtiments durant une journée-type d'hiver. -a- sans PSD ; -b- avec PSD.

En outre, les indices de confort PMV et PPD ont été évalués (rappelons que ces deux indices sont évalués en considérant qu'il n'y a aucun chauffage d'appoint). Les figures 5 et 6 montrent les distributions fréquentielles des deux évaluateurs de confort durant toute la période de chauffage. Comme le montre la Figure 5, l'utilisation du PSD réduit considérablement les zones froides et par conséquent, améliore les conditions de confort. Les zones de confort sont plus étendues dans les bâtiments traditionnels que dans les bâtiments modernes. En effet, environ 56% des PMV simulés varient de -0.5 à +0.5 (zone de confort où la température est d'environ 20°C) dans le bâtiment en adobe contre 43% dans le bâtiment en doubles briques et seulement 27% dans celui en béton. Le nombre d'heures "froides", durant la période de chauffage, est plus important dans les bâtiments modernes où nous avons noté 41% et 18% (par rapport au nombre d'heures total de chauffage) contre seulement 6% et 1% dans les bâtiments traditionnels.

Nous constatons que le PSD provoque quelques légères "surchauffes" dans le bâtiment en adobe; ceci est principalement dû à son inertie thermique qui stocke de la chaleur et en agissant simultanément avec les apports solaires passifs, contribue à créer ces surchauffes.

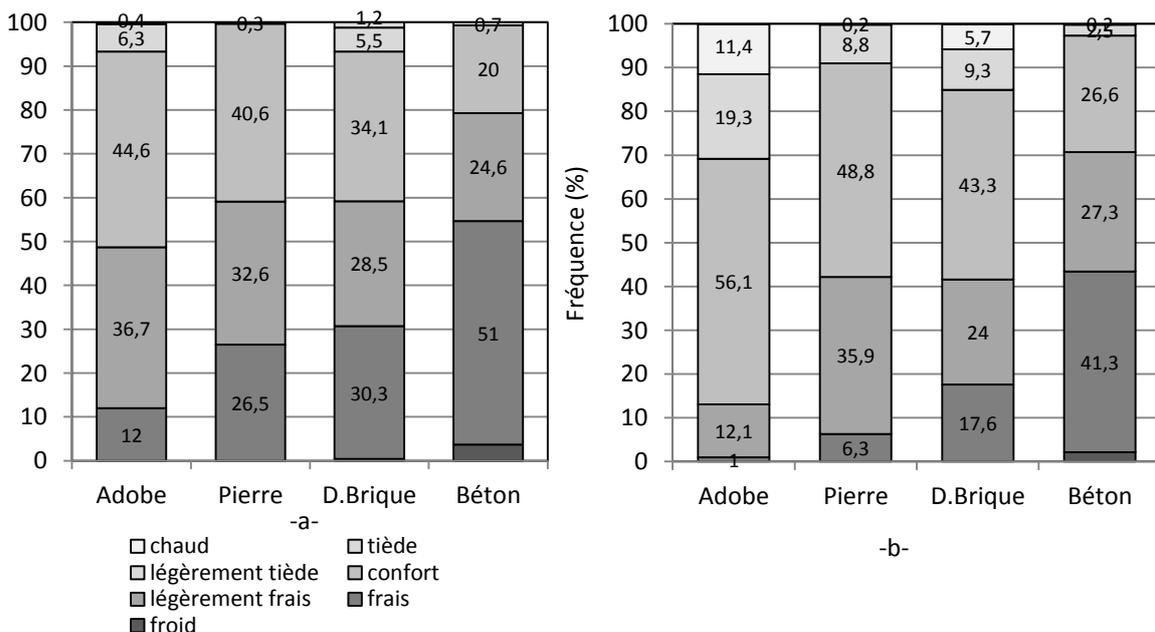


Figure 5: Distribution fréquentielle (%) de l'indice PMV pour toute la période de chauffage. -a- sans PSD; -b- avec PSD.

La Figure 6 montre qu'avec le plancher solaire le pourcentage d'insatisfaits ne dépasse pas 20% durant 80% de la période de chauffage dans les bâtiments traditionnels. Ce pourcentage est ramené à 65% du temps de chauffe dans le bâtiment à double brique et 45% dans le bâtiment en béton.

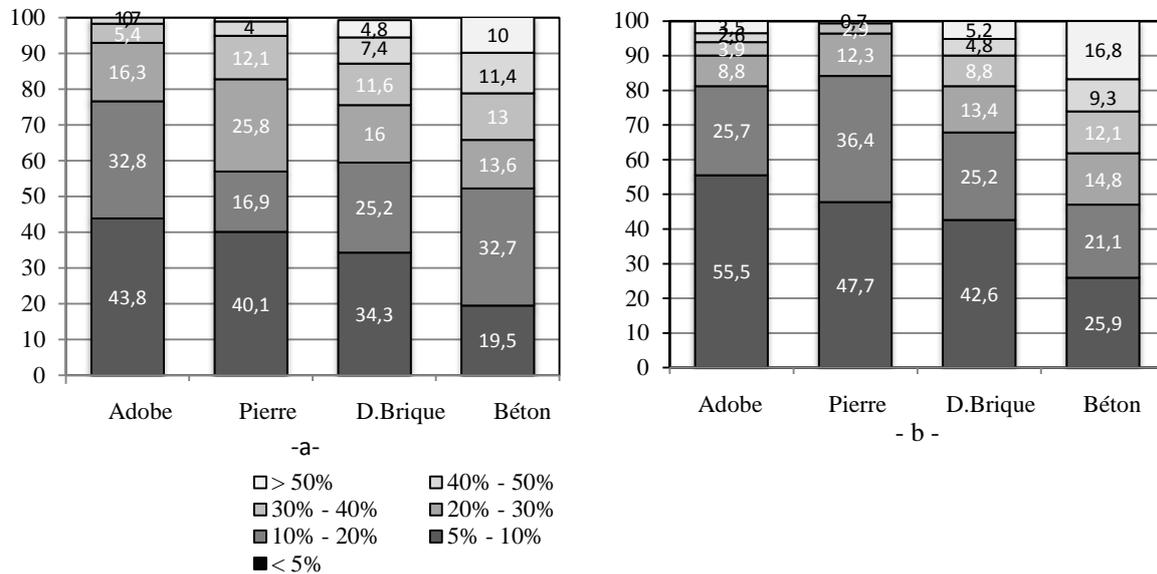


Figure 6: Distribution fréquentielle (%) de l'indice PPD pour toute la période de chauffage. -a- sans PSD ; -b- avec PSD.

5.3 Etude paramétrique

5.3.1. Les données climatiques

Les données climatiques ont, sans doute, une grande incidence sur les performances énergétiques d'un quelconque système solaire. Le potentiel solaire joue un très grand rôle dans l'efficacité de ces systèmes. Dans un climat où la durée d'insolation dépasse 3500 heures annuellement (Bechar), les économies d'énergie, comme montrées sur la figure 7, sont nettement plus grandes comparées à celles enregistrées dans un climat méditerranéen (Alger). En effet, les économies enregistrées par le PSD à Bechar sont plus de 1.5 fois plus grandes. Néanmoins, on notera que même sous un climat méditerranéen, les matériaux traditionnels conduisent aux meilleures performances énergétiques grâce à leur inertie thermique qui permet la gestion optimale des apports de chaleur. Il y a lieu par contre de bien dimensionner la surface des capteurs afin de rentabiliser le système.

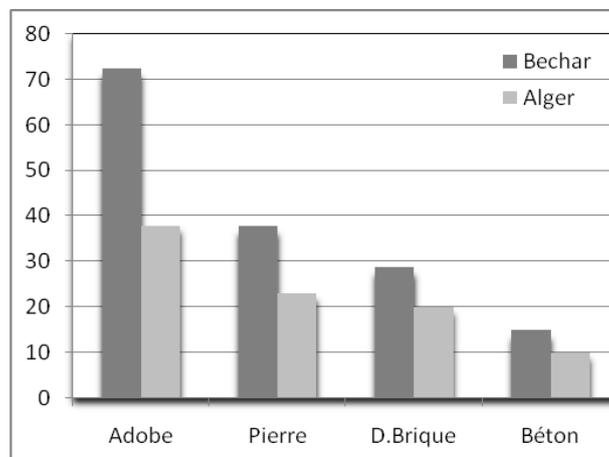


Figure 7: Evolution de l'économie globale de chauffage selon le type de climat.

5.3.2. Surface des capteurs solaires

Il est clair qu'en augmentant la surface des capteurs solaires, on augmente l'énergie solaire utile et par conséquent l'économie générée par l'installation solaire (Figure 8). Néanmoins, il n'y a pas de proportionnalité entre cette dernière et la surface des capteurs. En doublant la surface des capteurs, nous avons noté des augmentations de performances énergétiques allant de 12 à 45% pour le climat aride (figure 8-a-) contre des valeurs plus grandes (30 à 75%) pour le climat méditerranéen (figure 8-b-). Ceci s'explique par le fait qu'un ratio de captage de 10% est insuffisant dans un climat méditerranéen et en l'augmentant, on améliore la performance du PSD. Alors que dans un climat aride, de très bonnes économies sont enregistrées avec 10% de captage et qu'il est inutile d'augmenter la surface des capteurs. En effet, les premiers mètres carrés de capteurs sont les plus rentables et à partir d'une certaine valeur ça ne sert absolument à rien d'augmenter la surface si ce n'est augmenter le coût d'installation !

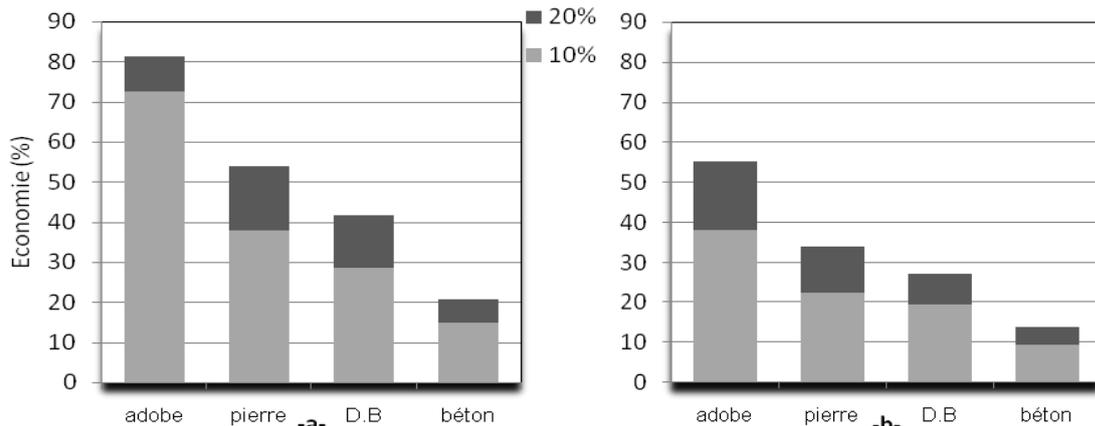


Figure 8 : Evolution des économies globales durant toute la période de chauffage en fonction de la surface des capteurs solaires. -a- Climat aride (Bechar) ; -b- Climat méditerranéen (Alger).

5.3.3. Type de vitrage en façade sud

Le passage du vitrage simple (VS) au vitrage double (VD) conduit à une amélioration de performances énergétiques des bâtiments chauffés par PSD (Figure 9). Ceci est dû au fait qu'en utilisant un vitrage double, on réduit les déperditions et par conséquent l'économie générée par le PSD est augmentée. Cette augmentation de performances est plus importante dans les bâtiments traditionnels que dans les modernes du fait que les apports solaires transmis sont mieux utilisés quand l'inertie du bâtiment est grande.

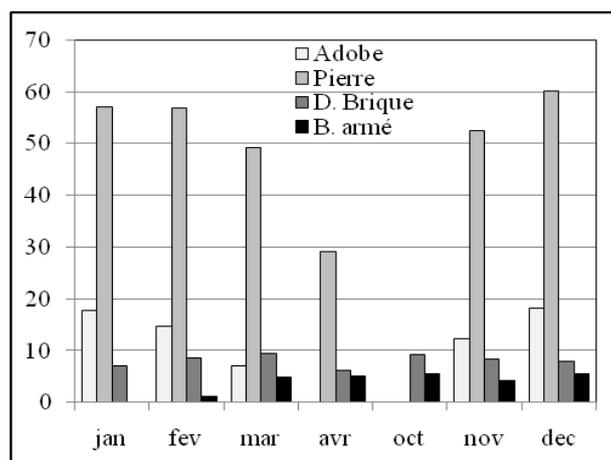


Figure 9: Augmentation de la performance énergétique du bâtiment muni de 20% VD par rapport à celui muni de 20% de VS.

5.3.4. Surface du vitrage en façade sud

En analysant l'effet de l'augmentation de la surface de vitrage sud, nous avons constaté deux phénomènes différents selon le type du vitrage utilisé. Le doublement de la surface de vitrage **double** conduit à des réductions

des performances énergétiques pour tous les bâtiments sauf pour ceux en pierre et en béton (Figure 10-a-). En effet, l'augmentation de la surface du vitrage contribue, comme le PSD, à réduire les besoins de chauffage du bâtiment (avant l'introduction du système solaire). Il est donc tout à fait naturel que l'économie générée par le PSD soit moindre. Ceci est d'autant plus vrai que les économies avant le doublement du vitrage sont grandes.

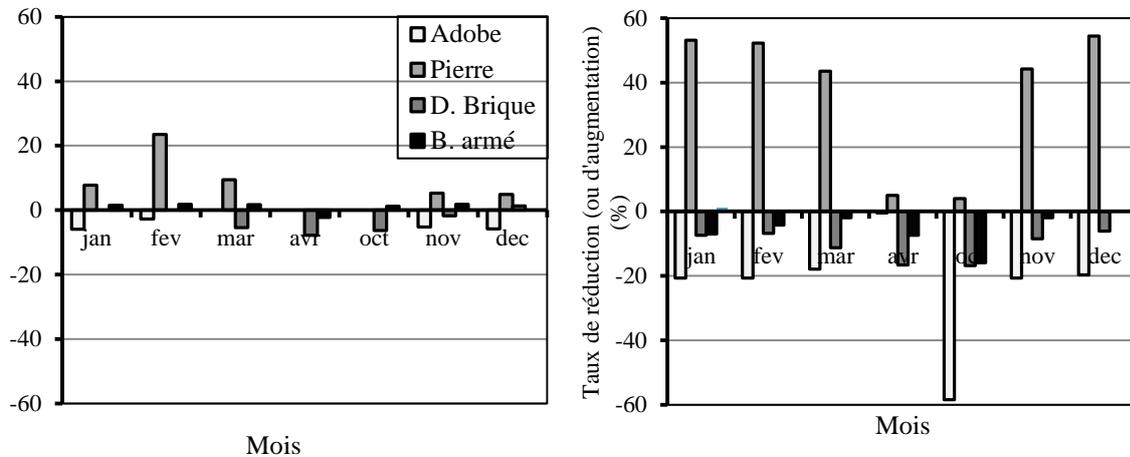


Figure 10: Evolution de la performance énergétique du bâtiment muni de 40% de vitrage dans la façade sud par rapport à celui muni de 20%. -a- Vitrage double ; -b- Vitrage simple.

Concernant le doublement de la surface de vitrage **simple** (Figure 10-b-), le phénomène est différent. Les bilans sur la saison de chauffage nous indiquent que le bilan du vitrage est négatif, c'est-à-dire que les apports solaires transmis ne compensent pas les déperditions. Il convient d'envisager donc une surface moindre ; les besoins énergétiques sont ainsi réduits et les performances du système actif améliorées.

Pour les bâtiments en pierre, l'augmentation de sa performance énergétique proportionnellement à l'augmentation de la surface vitrée est tout à fait prévisible du fait que ce bâtiment présente les températures intérieures les plus basses et le bilan du vitrage est plutôt positif contrairement aux bâtiments précédents.

Conclusion

Ce travail a porté essentiellement sur la modélisation, sous TRNSYS, de quelques bâtiments-types rencontrés en Algérie. En outre, l'efficacité de l'utilisation d'un système de chauffage solaire (PSD) dans ces bâtiments a été étudiée. Les résultats principaux de cette étude peuvent être résumés dans les points suivants :

- La construction en matériaux traditionnels (adobe ou la pierre) offre un meilleur confort thermique que ce soit en hiver ou en été.
- Une importante économie d'énergie par la réduction des besoins de chauffage a été obtenue après l'installation du plancher solaire.
- L'efficacité d'un système solaire est fortement dépendante du potentiel solaire de chaque climat. Les économies d'énergie obtenues avec le PSD dans le climat semi-aride sont 1.5 à 2 fois plus grandes que celles obtenues dans le climat méditerranéen.
- Même en climat méditerranéen, les matériaux traditionnels offrent les meilleures économies d'énergie.
- Dans un climat semi-aride à aride, un ratio surface capteur/surface plancher = 10% est largement suffisant si le bâtiment est de type traditionnel., un ratio de 20% s'impose.
- Dans un climat méditerranéen, un ratio surface capteur/surface plancher = 10% n'est plus suffisant quel que soit les matériaux utilisés, un ratio de 20% est un minimum exigé.
- Le doublement de la surface vitrée conduit à une réduction de performances énergétiques sauf pour le bâtiment en pierre traditionnelle. Cette réduction est d'autant plus grande si le vitrage utilisé est de type simple. Un ratio surface vitrage/surface murs sud = 20% semble être un bon compromis entre une bonne performance et un bon éclairage.
- Si la pierre est utilisée comme matériau de construction, un ratio de 40% est conseillé.
- L'utilisation du vitrage double est fortement conseillée dans les cas des bâtiments en pierres, double-briques ou en béton. Si le bâtiment est en adobe, le vitrage simple peut être utilisé puisque les économies générées dans ce cas par le PSD sont appréciables.

Nomenclature

Symbole	Nom, <i>unité</i>
λ	Conductivité thermique, W/m°C
ρ	Masse volumique, kg/m ³
c	Chaleur spécifique, kj/kg.°C
e	Epaisseur m
T	Température, °C

REFERENCES

- [1] Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques. Projet GEF/PNUD ; ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Alger 2010.
- [2] S. Bentouba, A. Slimani, M. Boucherit « Les énergies renouvelables dans le cadre d'un développement durable en Algérie ». 8ème Séminaire International sur la Physique Energétique, 11 et 12 Novembre 2006. Centre universitaire de Bechar.
- [3] Carole-Anne Sénit : L'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel : une analyse des politiques des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée. Idées Débat sur le changement climatique, Institut du développement durable et des relations internationales, 2007.
- [4] D. Medjelekh : Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. Thèse de Magister, option architecture bioclimatique. Université de Constantine (Algérie). Novembre 2006.
- [5] R. Benhabib, A. Ait-mokhtar, F. Allard, «bioclimatic analysis of traditional houses in the north-Sahara regions». Conférence Européenne sur la Performance Énergétique et Qualité des Ambiances dans le Bâtiment, Lyon, Novembre 1994
- [6] H. Kazeoui, A. Tahakourt, A. Ait-Mokhtar, R. Belarbi, «Coupled utilization of solar energy and local materials in building». FIER 2002; Maroc.
- [7] H. Kazeoui, « Influence du système plancher solaire direct sur le conditionnement climatique des locaux dans le contexte maghrébin ». Thèse de magister. USTO (Algérie) 1997.
- [8] A Transient System Simulation program "TRNSYS 16.1". Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison. 2005.
- [9] DTR. C3-2 : Réglementation thermique des bâtiments d'habitation. Règles de calcul des déperditions calorifiques. Ministère de l'habitat 1998.