

Simulation de l'effet de l'isolation thermique des bâtiments Cas du centre psychopédagogique SAFAA à Oujda

Rahma Guechhati¹, Mohammed Amine Moussaoui¹,
Ahmed Mezrhab¹ et Abdelhamid Mezrhab²

¹ Laboratoire de Mécanique & Energétique, Département de Physique
Faculté des Sciences, Université Mohammed 1^{er}, 60000 Oujda, Maroc

² Equipe Technologie de l'Information Géographique et Gestion de l'Espace
Université Mohammed 1^{er}, 60000 Oujda, Maroc

(reçu le 25 Mai 2010 – accepté le 29 Juin 2010)

Résumé - *Le but de cet article, est l'étude thermique et énergétique du centre psychopédagogique 'SAFAA' qui se situe dans la ville d'Oujda (Maroc). A ce propos, des simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel de simulation du comportement thermique en régime dynamique 'TRNSYS 16' avec le modèle numérique type 56. Ce projet vise l'introduction des matériaux isolants dans un bâtiment afin d'améliorer le confort thermique et de réduire l'énergie consommée. Diverses solutions ou variantes ont été proposées, qui permettent de faire un choix pertinent assurant un meilleur confort thermique de cette institution tout en étant très peu gourmand en énergie.*

Abstract - *The aim of this paper is the study of thermal energy center psycho 'SAFAA' which is located in the town of Oujda (Morocco). In this regard, simulations were performed using the software simulation of thermal behaviour in dynamic 'TRNSYS 16' with the numerical model type 56. This project is the introduction of insulating materials in buildings to improve thermal comfort and reduce energy consumption. Various solutions have been proposed or variants, which can make a relevant choice providing better thermal comfort of this institution while being very greedy little energy.*

Mots clés: Modélisation - TRNSYS - Isolation thermique - Economie d'énergie.

1. INTRODUCTION

Le Maroc est un pays très faiblement doté en ressources énergétiques fossiles et dépend à plus de 96 % des importations pour son approvisionnement. Il est donc nécessaire de réduire les besoins énergétiques tout en améliorant l'efficacité énergétique, notamment dans le secteur du bâtiment. Celui-ci offre des possibilités de réduction considérable de la consommation énergétique, notamment par l'amélioration de l'isolation thermique des enveloppes.

Ainsi, l'efficacité énergétique dans les bâtiments et l'isolation thermique des enveloppes constituent un domaine de recherche très important et ont connu un grand développement ces dernières années [1-14]

Plusieurs études numériques et expérimentales ont été réalisées sur l'efficacité énergétique et sur l'optimisation des bâtiments. Parmi ces études, Babbah *et al.* [7] ont utilisé le logiciel CODYBA pour modéliser un bâtiment situé au Nord du Maroc (Tétouan) en régime dynamique. Ils ont estimé un besoin énergétique de chauffage de l'ordre de 160 kWh pour maintenir la température 18 °C (confort d'hiver) pour le mois de janvier, et une énergie de climatisation de l'ordre de 540 kWh pour une température de 25 °C (confort d'été).

Mohsen *et al.* [8] ont effectué une recherche sur l'économie d'énergie par l'isolation des bâtiments avec différents matériaux comme le polystyrène, la laine de roche, et par une lame d'air. Ils ont constaté que l'économie d'énergie peut atteindre 77 % en utilisant le polystyrène dans l'isolation des murs et du toit.

Aktacir *et al.* [9] ont étudié l'effet de l'isolation sur un simple bâtiment situé à Adana en Turquie (climat méditerranéen). Ils ont montré que l'augmentation des épaisseurs de polystyrène extrudé entraîne une réduction des besoins en énergie de rafraîchissement.

Ozel *et al.* [10] ont utilisé la méthode des différences finies pour déterminer la position et la distribution optimales des isolants sur les murs. Ils ont conclu que l'isolation extérieure des murs constitue la meilleure solution.

Al-Sanea *et al.* [11] ont montré que l'orientation des murs a un effet significatif sur les caractéristiques du transfert de chaleur, alors que cet effet est relativement plus faible sur le coût total et l'épaisseur optimale d'un isolant donné. Dans la même étude, ils ont évoqué le coût total et l'épaisseur optimale d'isolation, ainsi que leurs sensibilités aux changements dans les paramètres économiques.

Fezzioui *et al.* [12] ont utilisé le logiciel TRNSYS pour étudier l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique en période de surchauffe. Ils ont introduit des éléments d'amélioration de l'habitat étudié, tels que l'augmentation de l'inertie thermique, l'isolation des murs extérieurs et de la toiture.

Medjelekh *et al.* [13] ont évalué l'impact de l'inertie thermique sur la consommation énergétique des bâtiments en réalisant une comparaison entre une maison de l'époque coloniale et une villa contemporaine. Leurs résultats ont montré que l'utilisation d'un matériau local adapté au climat de la région permet d'obtenir un confort hygrothermique et réduire ainsi la consommation d'énergie.

Dans ce travail, on propose d'étudier l'effet de l'isolation thermique sur les consommations énergétiques du Centre Psychopédagogique 'SAFAA', abritant des enfants handicapés mentaux à Oujda (Fig. 1).

Les techniques utilisées pour l'isolation thermique ont pour objectif d'assurer et de garantir, dans les bâtiments du centre, un meilleur confort thermique quelques soient les conditions climatiques. De nombreux paramètres influencent le comportement thermique du bâtiment (caractéristiques de l'enveloppe, gestion de la ventilation, du chauffage, occupation, météo...).

Pour la réalisation de cette étude, on a eu recours au logiciel TRNSYS, qui est un outil de simulation thermique dynamique puissant et précis permettant de prédire le comportement thermique du bâtiment et des systèmes qui lui sont associés.

2. DESCRIPTION DE L'ECOLE 'SAFAA'

L'école 'SAFAA' est un centre psychopédagogique pour enfants handicapés mentaux. Il est situé à Oujda avec les coordonnées suivantes (+34° 39' 42.32'', -1° 52' 21.19''). La figure 1 montre le plan de masse du projet. Nouvellement construit sur une superficie de 3300 m², le centre se compose de deux bâtiments principaux:

Le premier représente l'administration générale comprenant trois (03) bureaux, une salle de consultation, un magasin, une salle d'archive, un hall et une toilette.

Le deuxième bâtiment est bâti en forme 'L', composé par une direction pédagogique, un réfectoire-restaurant, quatre (04) salles de classe, une salle d'informatique, une salle de psychomotricité, un atelier, un magasin de stock, une cuisine, un douche collectif et deux (02) toilettes.

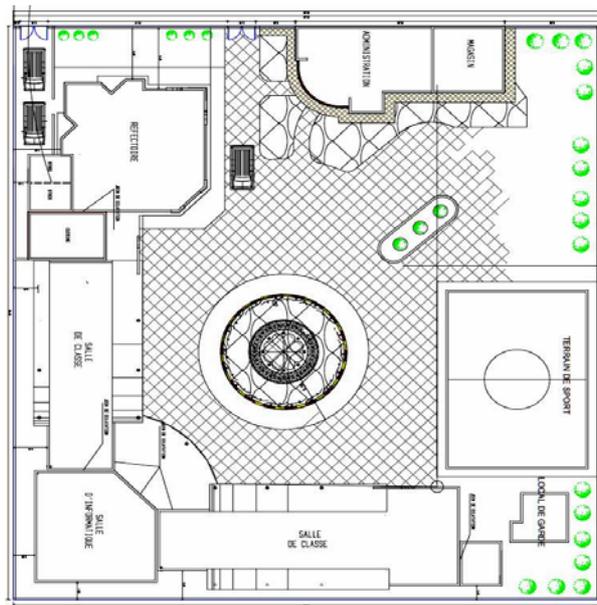


Fig. 1: Plan de masse du centre 'SAFAA'

2.1 Caractéristiques météorologiques de la ville d'Oujda

La figure 2 montre l'évolution horaire de la température d'air de la ville d'Oujda, située à 550 m au-dessus de la mer. Ces valeurs ont été traitées sur une période de 10 ans. Le climat à Oujda, nettement méditerranéen, se caractérise par des hivers relativement froids et des étés relativement chauds. Les précipitations sont essentiellement pluviales et deviennent parfois neigeuses. Elles sont marquées par l'irrégularité de leur répartition dans le temps et dans l'espace.

La température minimale atteinte est de 3.15 °C, alors que la température maximale est de 36.3 °C. D'après ces variations, Juillet est le mois le plus chaud de l'année avec une température moyenne de 27.24 °C, alors que Janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne de 9.21 °C. La température moyenne annuelle est de 17.44 °C. Ces mesures ont été effectuées à partir d'une station météorologique se trouvant à la Faculté des Sciences d'Oujda.

2.2 Description du logiciel TRNSYS

TRNSYS, 'TRaNsient System Simulation Program' [15] est un environnement de simulation thermique pour des systèmes évoluant dans le temps dont la principale caractéristique est sa modularité (équipements de CVC, PV, solaire thermique, cogénération, etc.). Développé par le SEL, 'Solar Energy Laboratory' de l'Université du Wisconsin Madison (USA), en collaboration avec le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) de Sophia Antipolis (France) et avec TRANSSOLAR

Energietechnik (Allemagne) [16], TRNSYS constitue une référence mondiale dans le domaine de la simulation dynamique de la thermique et de l'aéraulique des bâtiments.

Il est composé d'une liste de sous-programmes écrits en Fortran constituant une bibliothèque de plusieurs modules ou types. Chaque type est un objet informatique indépendant: il correspond à un élément du système thermique et se compose d'entrées, de sorties et de paramètres.

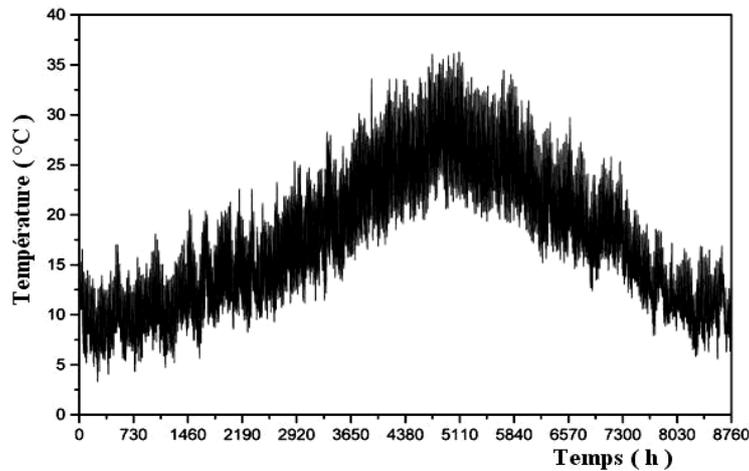


Fig. 2: Variation annuelle de la température d'air de la ville d'Oujda

Afin de définir le bâtiment, on introduit toutes ses caractéristiques dans TRNBuild. Cette interface permet de décrire tous les composants d'un bâtiment multizones utilisant le Type 56. En fait, nous spécifions la composition des murs, leurs orientations respectives, les surfaces vitrées et les types de vitrages utilisés. Il est nécessaire aussi de définir les conditions initiales de la zone étudiée (la température intérieure et l'humidité relative), les paramètres de contrôle du chauffage et du rafraîchissement ainsi que les apports gratuits.

Les différents niveaux du bâtiment sont reconstitués par découpage en zones thermiquement homogènes, ainsi le bâtiment 1 est devisé en 8 zones thermiques et la partie L en 14 zones thermiques.

Les caractéristiques des murs, fenêtres, portes, planchers et plafonds (dimensions, matériaux, orientation, etc.) dans chaque zone ont été obtenues à partir des dessins d'architecture. Le modèle de bâtiments multizones par le logiciel TRNSYS permet à l'utilisateur de construire des types de murs à partir de couches, dans lequel chaque couche est un matériau unique.

Les propriétés thermophysiques de chaque couche (conductivité thermique, densité, chaleur spécifique, épaisseur, etc.) sont entrées par l'utilisateur ou choisis à partir d'une bibliothèque existante.

2.3 Description des variantes proposées

Les niveaux de températures intérieures atteints dans un bâtiment non climatisé dépendent principalement de la température extérieure, des apports internes de chaleur, des apports solaires, de la ventilation et de l'inertie thermique [17].

En phase de réhabilitation, la géométrie, la volumétrie, l'implantation et l'orientation sont imposées par le projet existant. Parmi les paramètres, sur lesquels peut agir le concepteur pour améliorer les conditions du confort thermique, on peut citer l'isolation de l'enveloppe du bâtiment, l'inertie du bâtiment et la surface des baies vitrées, ...

Le **tableau 1** illustre la composition des parois du bâtiment original avec les épaisseurs de chaque couche de la paroi et les valeurs du coefficient de déperdition thermique U .

Tableau 1: Composition des parois de l'état actuel du centre 'SAFAA'

Paroi	Constitutions (intérieur vers extérieur)	U (W/m ² .K)
Mur extérieur	Enduit extérieur (1 cm) + Brique creuse (10 cm) + Lame d'air (10 cm) + Brique creuse (10 cm) + Enduit extérieur (1 cm)	0.75
Plancher	Parquet de bois (2 cm) + carrelage (2 cm) + mortier (4 cm) + béton lourd (5 cm)	2.5
Plafond	enduit extérieur (1 cm) + hourdis 20 (20 cm) + béton lourd (5 cm) + bitume triple épaisseur (1.5 cm) + béton lourd (5 cm)	2.1
Porte	Bois léger (3 cm)	2.7
Fenêtre	Simple vitrage (3 mm) avec un châssis en aluminium	5.68

Pour les bâtiments 'administration et partie L', les travaux concernent l'isolation du toit, l'isolation de la totalité de l'enveloppe, ainsi que le double vitrage des fenêtres. Pour assurer un éclairage naturel suffisant, la surface du vitrage est conservée. Par contre, nous avons utilisé un double vitrage pour réduire les déperditions thermiques à travers les surfaces vitrées.

Dans cette étude, on propose des solutions ou des variantes permettant de faire un choix pertinent pour l'amélioration du confort dans les bâtiments du centre (**Tableau 2**).

Tableau 2: Différentes variantes proposées pour les simulations

Variante	Description	U (W/m ² .K)
1	Insolation de la toiture avec 6 cm de polystyrène Expansé 035	0.449
2.1	Insolation de la toiture et isolation externe des murs avec 6 cm de polystyrène expansé 035	0.336
2.2	Insolation de la toiture et isolation interne des murs avec 6 cm de polystyrène expansé 035	0.331
3	Insolation de la toiture et isolation interne des murs avec 6 cm de polystyrène expansé 035 et utilisation du double vitrage	2.95*
4	Insolation de la toiture et isolation des murs avec 6 cm de polystyrène expansé 035 entre la double cloison	0.351
5	Insolation de la toiture et isolation des murs avec 6 cm de paille compacte entre la double cloison	0.759

* Valeur de U du double vitrage

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans cette étude, nous effectuons des simulations permettant d'étudier plusieurs variantes en conditions de conditionnement afin de déterminer la solution pertinente au niveau énergétique. Nous comparons la consommation énergétique nécessaire pour chauffer le centre à une température de consigne égale à 19 °C en fonction des différentes solutions proposées.

Les figures 3 et 4 présentent une comparaison de la consommation énergétique annuelle entre les différentes variantes et pour chaque zone des deux bâtiments.

L'état actuel (variante 0) consomme plus d'énergie en comparaison aux autres solutions proposées. Pour tous les cas, l'utilisation de l'isolation permet de diminuer la consommation énergétique.

Ces résultats montrent que l'utilisation de la variante 3 où on propose d'utiliser l'isolation de la toiture et l'isolation interne des murs avec 6 cm de polystyrène expansé 035 et l'utilisation du double vitrage permet de réduire considérablement la puissance de chauffage.

La consommation énergétique dans la zone réfectoire est supérieure par rapport aux autres zones dans la partie L; ceci est dû à son volume, au temps d'occupation et au nombre d'occupants.

Pour la partie administration, la consommation énergétique dans la zone 'magasin' est supérieure à celles des autres zones; ceci est dû à son volume, au temps d'occupation et au nombre d'occupants sachant aussi que la surface vitrée est grande.

Comme on peut le constater sur les figures 3 et 4, l'utilisation du double vitrage avec une isolation de la toiture et des murs avec 6 cm de polystyrène expansé 035 (isolation complète) consomme moins d'énergie par rapport aux autres solutions proposées.

Ceci est la caractéristique essentielle des isolants thermiques qui réduisent les pertes de chaleur et permettent des économies d'énergie pour le chauffage en conditions hivernales.

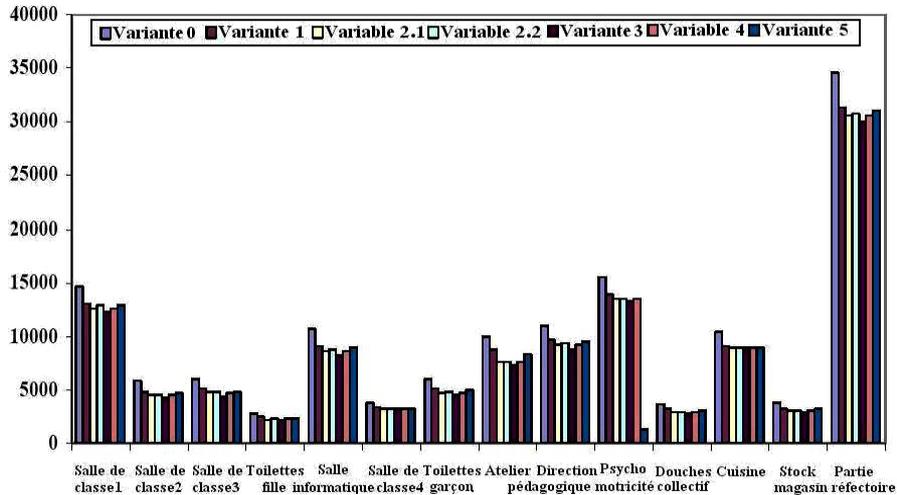


Fig. 3: Comparaison de la consommation énergétique en kWh entre les différentes variantes et pour chaque zone de la partie L

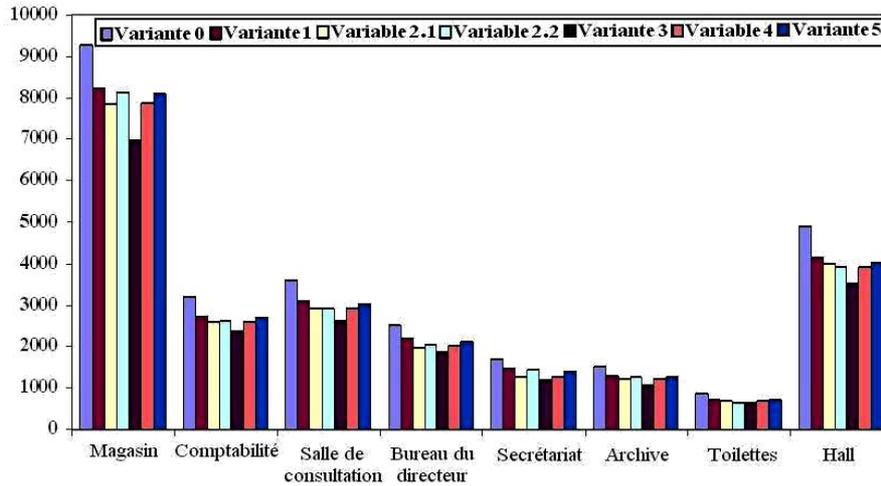


Fig. 4: Comparaison de la consommation énergétique en kWh entre les différentes variantes et pour chaque zone de l'administration

Sur la figure 5, on présente le besoin en énergie pour chauffer les deux bâtiments en fonction des variantes proposées. Pour l'état actuel, on a une consommation maximale d'énergie de l'ordre de $189,41 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ pour la partie 'L' et de l'ordre de $205,2 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ pour l'administration.

Les figures 5 et 6 montrent que l'introduction de l'isolation entraîne une diminution remarquable des besoins de chauffage par rapport à l'état actuel. L'isolation de la toiture par 6 cm de polystyrène expansé 035 (variante 1) réduit les besoins d'énergie de 13.34 % par rapport à l'état actuel.

Les variantes 2.1, 2.2 et 4 permettent d'avoir une réduction de l'énergie consommée de 16.36 %, de 15.4 % et de 16.3 %, respectivement. D'après ces résultats, on constate que l'isolation externe est une solution énergétiquement meilleure que celle interne ou en milieu, car elle permet d'emmagasiner la chaleur des gains internes et des gains solaire dans le mur (inertie thermique).

La consommation énergétique annuelle dans la variante 5 où on utilise la paille compactée entre la double cloison est importante. Elle atteint 23300 kWh/an et elle économise les besoins de 13.81 % par rapport l'état original.

La variante 3 est meilleure avec une réduction de l'ordre de 19.8 %. Cependant, cette solution s'avère coûteuse à cause du prix du double vitrage, d'où la nécessité de choisir les variantes qui viennent en seconde position.

Donc, on peut choisir la variante 2.1 qui consiste à isoler la toiture et les faces externes des murs avec 6 cm de polystyrène expansé 035 ou bien choisir d'isoler la toiture et les murs avec 6 cm de polystyrène expansé 035 entre la double cloison (variante 4).

Toutefois, cette dernière solution est difficile à réaliser techniquement puisque les murs sont déjà construits, et de ce fait nous avons opté pour la variante 2. Ceci est bien montré sur la figure 6 où on présente l'économie d'énergie en kWh par rapport à l'état actuel.

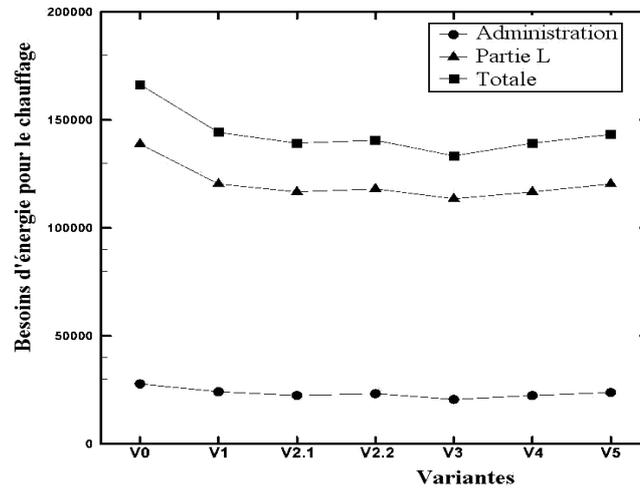


Fig. 5: Besoin d'énergie annuel en kWh pour le chauffage

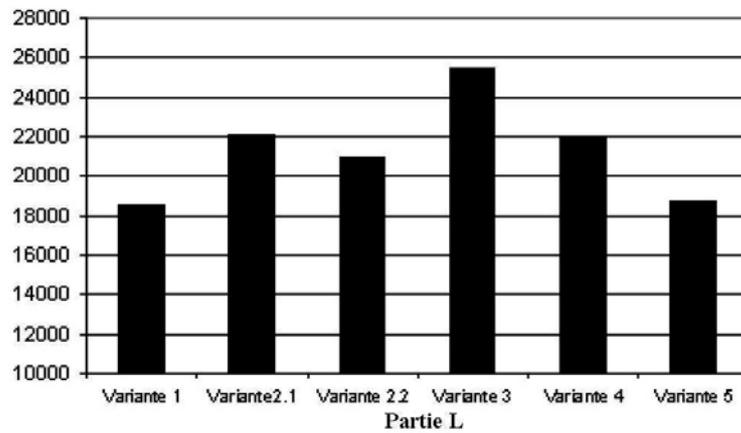
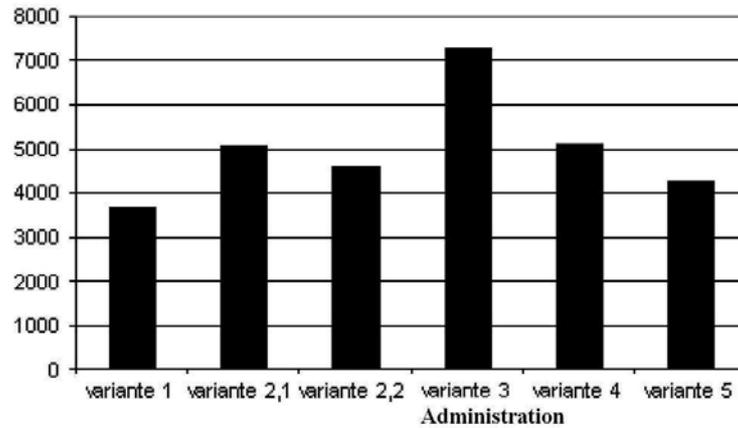


Fig. 6: Economie d'énergie en kWh par rapport à l'état actuel

4. CONCLUSION

Dans cette étude, on a présenté différentes solutions pour améliorer l'efficacité énergétique dans le centre psychopédagogique 'SAFAA' à Oujda formé par deux bâtiments principaux. Cette étude a été réalisée avec l'environnement de simulation TRNSYS 16, utilisant le modèle multizone (type 56).

Il en résulte de cette étude, les conclusions suivantes:

- Toutes les solutions proposées permettent de réduire la consommation d'énergie,
- L'isolation de la toiture est nécessaire pour économiser les besoins de chauffage,
- La partie réfectoire et la partie magasin consomment plus d'énergie,
- L'économie en énergie maximale a été obtenue en utilisant l'isolation complète du centre,
- L'isolation de la toiture couplée à l'isolation externe des murs avec 6 cm de polystyrène expansé 035 a été retenue comme solution.

Remerciements

Les auteurs remercient:

- La Coopération Universitaire de Développement CUD – Belge, P3 pour son appui financier,
- La Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) et l'association SAFAA pour avoir permis aux auteurs d'effectuer les relevés et toutes les mesures du centre.

REFERENCES

- [1] R. Belarbi, M. Spérandio et F. Allard, 'Evaluation des Bâtiments Munis de Systèmes de Rafraîchissement Passif. Application au Cas de l'Evaporation Adiabatique', Revue Générale de Thermique, Vol. 36, N°7, pp. 547 - 561, 1997.
- [2] C. Inard, P. Depecker et J. Roux, 'Un Modèle Simplifié pour la Prédiction du Champ de Température dans les Bâtiments', Revue Générale de Thermique, Vol. 36, N°2, pp. 113 - 123, 1997.
- [3] G.A. Florides, S.A. Tassou, S.A. Kalogirou, L.C. Wrobel, 'Measures Used to Lower Building Energy Consumption and Their Cost Effectiveness', Applied Energy, Vol. 73, N°3, pp. 299 - 328, 2002.
- [4] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz and A. Chekane, 'Etude par Simulation de l'Effet d'Isolation Thermique d'une Pièce d'un Habitat dans la Région de Ghardaïa', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 10, N°2, pp. 281 - 292, 2007.
- [5] F.F. Al-Ajmi and V.I. Hanby, 'Simulation of Energy Consumption for Kuwaiti Domestic Buildings', Energy and Buildings, Vol. 40, N°6, pp. 1101 - 1109, 2008.
- [6] U. Eicker, V. Fux, U. Bauer, L. Mei and D. Infield, 'Façades and Summer Performance of Buildings', Energy and Buildings, Vol. 40, N°4, pp. 600 - 611, 2008.
- [7] S. Babbah, A. Draoui, C.H. Menezo, R. Yezou et J. Ben Abdelouahab, 'Evaluation Énergétique des Bâtiments au Nord du Maroc', Actes des 12^{èmes} Journées Internationales de Thermique, pp. 235 - 238, Tanger, Maroc, 15 - 17 Novembre 2005.
- [8] M.S. Mohsen and B.A. Akash, 'Some Prospect of Energy Saving in Building', Energy Conversion Management, Vol. 42, N°11, pp. 1307 - 1315, 2001.

- [9] M.A. Aktacir, O. Büyükalaca and T. Yilmaz, 'A Case Study for Influence of Building Thermal Insulation on Cooling Load and Air-Conditioning System in the Hot and Humid Regions', *Applied Energy*, Vol. 87, N°2, pp. 599 - 607, 2010.
- [10] M. Ozel and K. Pihtili, 'Optimum Location and Distribution of Insulation Layers on Building Walls with Various Orientations', *Building and Environment*, Vol. 42, N°8, pp. 3051-3059, 2007.
- [11] S.A. Al-Sanea, M.F. Zedan and S.A. Al-Ajlan, 'Effect of Electricity Tariff on the Optimum Insulation-Thickness in Building Walls as Determined by a Dynamic Heat-Transfer Model', *Applied Energy*, Vol. 82, N°4, pp. 313 - 330, 2005.
- [12] N. Fezzioui, B. Draoui, M. Benyamine et S. Larbi, 'Influence des Caractéristiques Dynamiques de l'Enveloppe d'un Bâtiment sur le Confort Thermique au Sud Algérien', *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11, N°1, pp. 25 - 34, 2008.
- [13] D. Medjelakh et S. Abdou, 'Impact de l'Inertie Thermique sur le Confort Hygrothermique et la Consommation Énergétique du bâtiment', *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11, N°3, pp. 329 - 341, 2008.
- [14] L. Peeters, R. de Dear, J. Hensen and W. D'haeseleer, 'Thermal Comfort in Residential Buildings: Comfort Values and Scales for Building Energy Simulation', *Applied Energy*, Vol. 86, N°5, pp. 772 - 780, 2009.
- [15] S.A. Klein, W.A. Beckman and J.A. Duffie, 'TRNSYS - A Transient Simulation Program', *ASHRAE Transactions*, Vol. 82, N°1, pp. 623 - 633, 1976.
- [16] S.A. Klein, W.A. Beckman, J.W. Mitchel, J.A. Duddie, N.A. Duffie and T.L. Freeman, 'TRNSYS Manual', University of Wisconsin, 2006.
- [17] B. Moujalled, R. Cantin and G. Guarracino, 'Contraintes du Confort d'Été, Lors de la Réhabilitation d'un Lycée', 2^{ème} Congrès Méditerranéen, CLIMAMED, Madrid, Spain, Fev. 2005.