

## Estimation des performances énergétiques du bâtiment dans le contexte maghrébin

M. Annabi<sup>1</sup>, A. Mokhtari et T.A. Hafrad

Laboratoire de Matériaux, Sols et Thermique,  
USTO, B.P. 1505 El M'naouer, Oran, Algérie

(reçu le 21 Février 2006 - accepté le 21 Juin 2006)

**Résumé** - Ce travail a été consacré à l'estimation des performances énergétiques d'un local assimilé à être à usage d'habitation ou administratif dans le contexte algérien en particulier et maghrébin en général, afin d'analyser les performances en terme d'économie et de confort en fonction de l'enveloppe. Pour cela on a fait appel à un des outils de simulation les plus puissants permettant de prendre en compte le plus finement possible les différents problèmes thermiques présents dans notre système. Il s'agit de TRNSYS avec IISIBAT compte tenu de sa souplesse, sa structure modulaire et de l'ampleur de son domaine d'application.

**Abstract** - This work was devoted to the estimate of the energy performances of a room compared to being of use of dwelling or administrative in the algerian context in particular and maghrebin in general, in order to analyze the performances in term of economy and comfort according to the envelope. For that one called upon one of the most powerful tools for simulation allowing to take into account most finely possible the various thermal problems present in our system. It is about TRNSYS with IISIBAT taking into account its flexibility, its modular structure and of the width of its applicability.

**Mots clés:** Besoin énergétique - Chauffage - Rafraîchissement - TRNSYS - IISIBAT - PREBID - Inertie thermique - Vitrage - Isolation.

### 1. INTRODUCTION

La qualité thermique des bâtiments au Maghreb y est généralement très insuffisante; cela entraîne des consommations d'énergie excessives pour les bâtiments conditionnés et des conditions très inconfortables pour les autres. Cependant, si le climat maghrébin est tel qu'il suscite des besoins de chauffage l'hiver et de refroidissement l'été, la modération même du climat permet de satisfaire la quasi-totalité des besoins de manière naturelle, particulièrement dans le secteur résidentiel. L'idée forte est que la réglementation du secteur résidentiel soit basée sur une qualité de confort minimale à réaliser par le bâti de manière naturelle. Dans le cas où un niveau de confort plus élevé serait demandé, cette exigence entraînera des économies d'énergie et des équipements moins coûteux, mais pour que les acteurs du secteur de la construction s'approprient cette idée, il est indispensable que celle-ci soit bien adaptée aux spécificités socio-économiques, climatiques et culturelles du milieu dans lequel elle doit être appliquée.

### 2. L'ENVIRONNEMENT DE SIMULATION DANS TRNSYS 15 W IISIBAT

TRNSYS est basé sur une approche par schéma-bloc. Cette approche modulaire permet à la fois de décomposer des problèmes complexes en plusieurs problèmes moins complexes et de travailler dans un environnement "ouvert", permettant de rajouter de nouveaux composants et concepts. Un projet de simulation TRNSYS consiste donc à formuler des :

- modèles mathématiques et
- décrire les interactions entre ces modèles.

---





<sup>1</sup> mannabi2004@yahoo.fr

L'environnement graphique IISiBat 3 appuie l'utilisateur dans les deux aspects avec un éditeur de modèles et un éditeur de projets [1].

### 2.1 Le bâtiment dans TRNSYS

L'architecte ou le thermicien ont besoin de trouver des références dans le contexte dans lequel ils travaillent. Ils ont tendance à vouloir retrouver, dans l'environnement de simulation, les éléments du monde extérieur vus de leur propre point de vue (monde architectonique). De fait, tous les éléments réels peuvent être traduits (modélisés) dans TRNSYS.

**Tableau 1:** Relation entre TRNSYS et le monde réel

Le monde réel	TRNSYS- IISiBat	Symbole
Le soleil	Type 16 (Radiation Processeur)	 radiation_T16a
Le bâti Dimension/ Matériaux	Type 56 (Multizone) Prebid Bid	 type56
Données climatiques	Type 9 (Reader Data)	 weather_T9b
Visualisation, Affichage	Type 65 (Online Plotter)	 online_T65

## 3. MODELISATION THERMIQUE DE L'ENVELOPPE

Il est évident qu'une bonne conception d'un bâtiment nécessite une étude thermique détaillée ayant pour objectif l'obtention d'une meilleure qualité thermique des ambiances intérieures des locaux de telle manière à ce que le confort de l'occupant soit assuré.

Comme le comportement thermique du bâtiment est très complexe du fait des transferts thermiques se produisant simultanément et de la variation des conditions le sollicitant (conditions climatiques), une étude en régime transitoire s'avère nécessaire.

### 3.1 Bilans thermiques au sein de l'enveloppe

Les transferts thermiques au sein de l'enveloppe sont traités en utilisant le "Type56" de TRNSYS. Sachant qu'une paroi de bâtiment peut donner lieu à trois transferts thermiques différents :

- la conduction au sein de la paroi,
- la convection entre les faces de la paroi et les ambiances fluides qu'elle sépare,
- le rayonnement courtes et grandes longueurs d'ondes (CLO) et (GLO).

Le bilan thermique (pour chaque face) s'écrit comme suit :

$$\phi_{GLO} + \phi_{VLO} + \phi_{Cond} = 0 \quad (1)$$

#### 3.1.1 Cas d'une paroi extérieure opaque

##### Echanges conductifs

Dans TRNSYS, les transferts par conduction sont traités par une méthode convolutive, celle de la transformée en Z. La rapidité de calcul des différentes méthodes a été comparée par B.

Berges [2] dans le cas d'un mur. Elle a pu montrer que la méthode de la transformée en Z est très performante comparativement à la méthode des différences finies.

$$\phi_{\text{Conde}}(t) = - \sum_{i=0}^{Na} a_i T_{Se}(t - i \Delta t) + \sum_{i=0}^{Nb} b_i T_{Si}(t - i \Delta t) - \sum_{i=0}^{Nd} d_i \phi_{\text{conde}}(t - i \Delta t) \quad (2)$$

$$\phi_{\text{condi}}(t) = + \sum_{i=0}^{Na} b_i T_{Se}(t - i \Delta t) - \sum_{i=0}^{Nb} c_i T_{Si}(t - i \Delta t) - \sum_{i=0}^{Nd} d_i \phi_{\text{condi}}(t - i \Delta t) \quad (3)$$

Concernant le vitrage, les parois vitrées sont considérées sans inertie. De ce fait, on utilise généralement l'équation du régime permanent pour modéliser les transferts conductifs.

$$\phi_{\text{cond}} = K (T_{Si} - T_{Se}) \quad (4)$$

#### Echanges convectifs

$$\phi_{\text{conv.e}} = h_{c,e} (T_{Se} - T_e) \quad (5)$$

$$\phi_{\text{conv.i}} = h_{c,i} (T_{Si} - T_i) \quad (6)$$

#### Echanges radiatifs

En ce qui concerne les échanges radiatifs, nous distinguons les échanges de courtes longueurs d'onde CLO correspondant à des longueurs d'onde inférieures à 2.5  $\mu\text{m}$  et les grandes longueurs d'onde GLO supérieures à 2.5  $\mu\text{m}$ .

$$\phi_{\text{rd}} = \phi_{\text{CLO}} + \phi_{\text{GLO}} \quad (7)$$

Donc pour une paroi extérieure, l'équation des échanges radiatifs s'écrit comme suit :

$$\phi_{\text{rde}} = \phi_{\text{CLOe}} + \phi_{\text{GLOe}} \quad (8)$$

$$\phi_{\text{GLOe}} = h_{r,c} (T_{Se} - T_c) + h_{r,e} (T_{Se} - T_e) \quad (9)$$

Concernant les échanges radiatifs CLO, les flux solaires sont calculés à l'intérieur du *Type 16* à partir des données météorologiques (hauteur  $H_s$  et azimut  $A_{zs}$  du soleil, densité de flux direct  $\phi_{\text{dirHz}}$  et diffus  $\phi_{\text{dif}}$  reçus sur un plan horizontal) qui constituent des entrées du *Type 16* [3].

### 3.1.2 Bilan de zone

Le bilan convectif du local s'écrit en traduisant le fait que les variations de la température d'air soient dues à la somme du flux convectif relatif à l'entrée d'air neuf des flux convectifs échangés entre les parois et l'air du local, ainsi que d'autres apports convectifs internes :

$$\sum_{i=1}^{Ns} S_i h_{ci} (T_{Si} - T_i) + \dot{m}_a C_a (T_a - T_i) + A_p = \rho_a C_a V \frac{dT_i}{dt} \quad (10)$$

### 3.1.3 Description du local étudié

Un des aspects de ce travail concerne le choix de constructions typiques. La construction type doit être représentative des techniques de construction les plus répandues en Algérie en particulier et au Maghreb en général.

La structure étudiée est un mono zone de 20  $\text{m}^2$  de surface habitable dont la structure est composée de poteaux/poutres. L'enveloppe est constituée comme suit :

- les murs extérieurs sont des parois doubles en briques creuses avec lame d'air;
- la toiture est une dalle à corps creux;
- le plancher bas sur terre plein est une dalle en béton;
- le vitrage est simple d'une épaisseur de 4 mm, d'une conductance hors résistances superficielles égale à 5  $\text{W/m}^2\text{K}$  et de facteur solaire égal à 0.85 avec un cadre en bois, le rapport de la surface vitrée à la surface habitable est de 1/5;
- la lame d'air est de 0.044  $\text{hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C/kJ}$  de résistance thermique.

Au vu des caractéristiques thermiques des parois envisagées actuellement, l'étude des principaux postes déperditifs suivants nous a semblé prioritaire : la toiture, le plancher bas, les murs extérieurs et le vitrage. Les simulations ont été conduites comme suit :

- le chauffage est mis en route lorsque la température intérieure passe en dessous de 18 °C;
- en période d'été, le climatiseur est mis en route lorsque la température intérieure passe au-dessus de 25 °C;
- l'infiltration et la ventilation sont fixées à 0.6 volume par heure;
- les gains internes ont été introduits pour correspondre à un taux d'occupation égal à 2 personnes assises, un micro ordinateur avec moniteur couleur (230 W) et un éclairage artificiel (10 W/m<sup>2</sup>).
- Trois sites représentatifs des zones climatiques maghrébines et un autre occidental ont été choisis pour les simulations : Oran, Casablanca, Tunis et Londres.

#### 4. PARAMETRES ETUDIÉS

##### 4.1 Influence de l'orientation du vitrage

Le vitrage joue un rôle important dans le comportement thermique d'un bâtiment, néanmoins son orientation n'est pas à négliger. C'est à travers cette réflexion que l'influence de ce paramètre a été analysée en considérant le local étudié isolé (4 cm de polystyrène) et muni d'une baie vitrée sud ensuite, on remplace cette dernière par un vitrage nord de même type et superficie (4 m<sup>2</sup>). Le vitrage utilisé est simple de 4 mm d'épaisseur, de coefficient de transmission égal à 5.7 W/m<sup>2</sup>K et d'un facteur solaire de 0.85. On constate à partir des figures 1 et 2 que la diminution des besoins annuels de chauffage lorsqu'on passe d'une orientation nord à une orientation sud, est très sensible. Le besoin est de 66 % environ pour une orientation nord et 34 % pour celle du sud.

Cette constatation s'explique par le fait que la paroi exposée au sud reçoit une quantité maximale d'énergie solaire en hiver<sup>(1)</sup>, alors que celle du nord ne reçoit pratiquement aucun apport solaire, c'est une paroi froide; donc l'optimisation de l'orientation des baies vitrées conduit à une diminution tangible des besoins de chauffage, mais cela n'empêcherait pas d'ajouter en plus du vitrage sud un vitrage nord avec une surface moins importante et qui contribuerait à l'amélioration de l'éclairage naturel en hiver et la ventilation naturelle en été lorsque les fenêtres sont ouvertes.

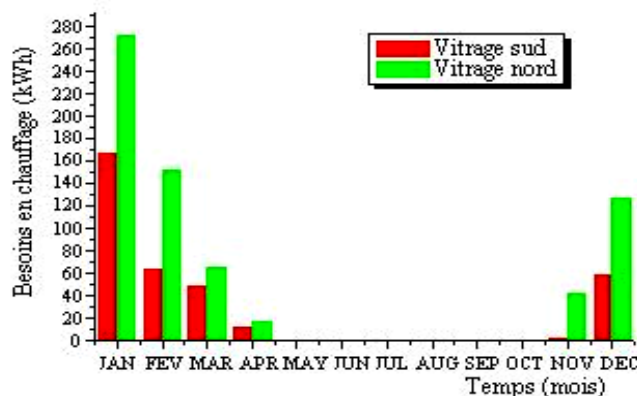


Fig. 1: Influence de l'orientation du vitrage sur les besoins mensuels de chauffage (Oran)

(1) Sous toutes les latitudes tempérées de l'hémisphère nord (de 32° à 56°), la façade sud d'un bâtiment reçoit en hiver, près de trois fois plus de soleil que les façades est et ouest. Les proportions s'inversent en été, et la façade sud reçoit alors beaucoup moins de soleil que la toiture et les façades orientées à l'est et à l'ouest [4].

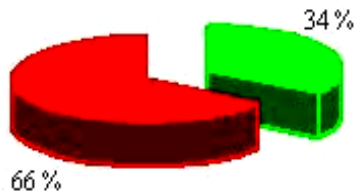


Fig. 2: Influence de l'orientation du vitrage sur les besoins annuels de chauffage (Oran)

Les figures 3 et 4 présentent quant à elle la répartition des besoins de rafraîchissement mensuels et annuels respectivement. On constate que l'orientation du vitrage vers le nord est évidemment la plus favorable au confort d'été, car elle ne risque pas d'apporter de surchauffes. On remarque à partir de la figure 4 que l'écart n'est pas très considérable, il est de l'ordre de 10 % et cela peut s'expliquer par le fait que l'orientation du vitrage vers le sud en été ne présente pas vraiment un problème, car le soleil est au plus haut de sa trajectoire et on peut s'en protéger facilement par une casquette architecturale ou des masques végétaux.

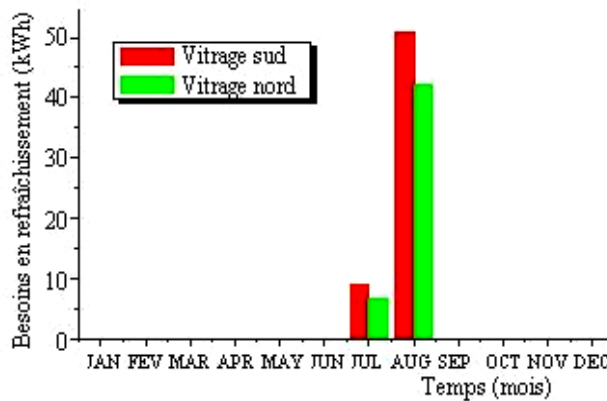


Fig. 3: Influence de l'orientation du vitrage sur les besoins mensuels de rafraîchissement (Oran)

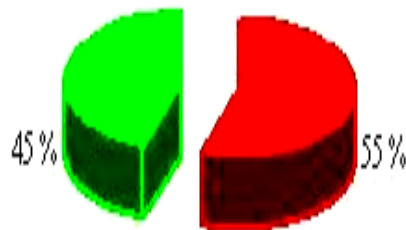


Fig. 4: Influence de l'orientation du vitrage sur les besoins annuels de rafraîchissement (Oran)

#### 4.2 Influence de l'isolation

La figure 5 présente la répartition des besoins de chauffage à Oran (Algérie) tout au long d'une année. On constate que l'introduction de 2 cm d'isolant (polystyrène,  $\lambda = 0.03 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ )

entraîne une diminution tangible des besoins de chauffage; par rapport à la variante non-isolée, dont la période de chauffage s'étale sur 8 mois (octobre - mai). et en analysant la figure 6, les besoins annuels sont presque deux fois plus importants par rapport à celle qui est isolée (2 cm) et dont la période de chauffage est plus courte de deux mois (novembre - avril).

Ces raisons découlent de la caractéristique essentielle de toute matière destinée à l'isolation thermique: une bonne résistance au passage de la chaleur, c'est-à-dire une réduction des pertes de chaleur ce qui permet d'effectuer des économies de chauffage en hiver.

L'épaisseur de l'isolant a certainement un rôle non négligeable sur les performances thermiques du local. Pour la même constitution de l'enveloppe, on a considéré trois valeurs différentes de l'épaisseur de l'isolant. On constate, à partir de la figure 5, le raccourcissement de la période de chauffage pour une épaisseur d'isolant égale à 8 cm, elle s'étale sur 4 mois (décembre - mars) par rapport aux deux autres épaisseurs (2 et 4 cm) dont la durée de chauffage est allongée de deux mois de plus (novembre - avril). La figure 6 montre que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant entraîne une réduction des besoins de chauffage, donc une décroissance des pertes. La diminution des besoins est de l'ordre de 11 % en passant de 2 à 4 cm d'isolant, de 3 % en passant de 4 à 8 cm et de 14 % si on passe de 2 à 8 cm. On note qu'en arrivant à un certain niveau d'épaisseur, l'écart des besoins est peu considérable.

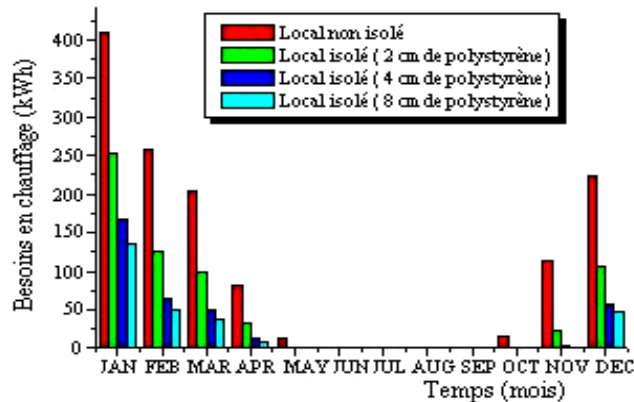


Fig. 5: Influence de l'isolation sur les besoins mensuels de chauffage (Oran)

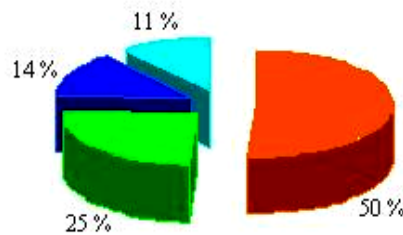


Fig. 6: Influence de l'isolation sur les besoins annuels de chauffage (Oran)

La figure 7 représente, quant à elle, l'influence de l'isolation sur les besoins de rafraîchissement toujours au même site, à la même année et avec les mêmes caractéristiques de l'isolant. On remarque un allongement de la période de climatisation pour la variante non-isolée; elle est de 4 mois (juin - septembre) et de 2 mois pour la variante isolée (juillet - août). En terme de comparaison des besoins annuels de rafraîchissement, on constate à partir de la figure 6 une différence très sensible entre les deux variantes. Les besoins sont 9 fois plus importants pour le

local non-isolé. On en déduit que l'isolation du local a entraîné une réduction des gains de chaleur en été, ce qui réduit incontestablement le coût du refroidissement.

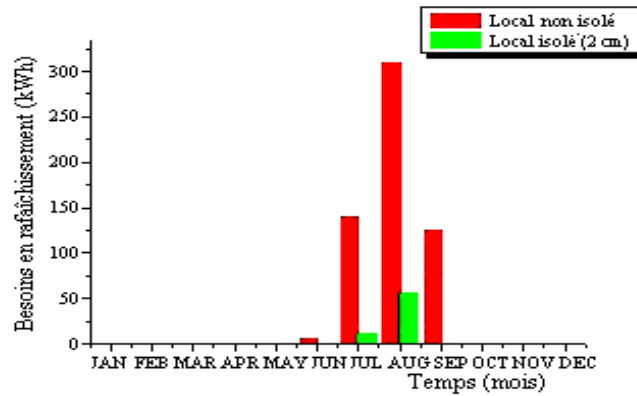


Fig. 7: Influence de l'isolation sur les besoins mensuels de rafraîchissement (Oran)

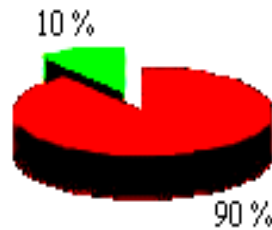


Fig. 8: Influence de l'isolation sur les besoins annuels de rafraîchissement (Oran)

## 5. CONCLUSION

Ce qui précède a montré sans ambiguïté l'intérêt de tout un amalgame de paramètres pour le confort, hiver comme été. Mais on retiendra que seul un paramètre ne suffit pas à apporter du confort : il faut impérativement pouvoir équilibrer, à l'échelle de la journée les apports de chaleur et la dissipation de cette dernière et pour cela il faudrait choisir chaque paramètre en fonction de l'autre afin d'optimiser l'économie d'énergie. Pour les locaux à occupation continue, l'inertie est incontestablement un atout pour mieux gérer les apports de chaleur. On peut sans risquer de se tromper affirmer qu'elle induira une économie d'énergie. En revanche, le cas des locaux à occupation discontinue pose problème; elle est source de surconsommation.

## NOMENCLATURE

$\phi_{GLO}$  : Densité de flux radiatif de grande longueur d'onde ( $W/m^2$ )

$\phi_{CLO}$  : Densité de flux radiatif de courte longueur d'onde ( $W/m^2$ )

$\phi_{Conv}$  : Densité de flux convectif ( $W/m^2$ )

$\phi_{Cond}$  : Densité de flux conductif ( $W/m^2$ )

$a_i, b_i$  et  $c_i$  : Coefficients de la transformée en Z des fonctions

de transfert relatifs aux températures de surface ( $W/m^2 K$ )

$d_i$  : Coefficients de la transformée en Z des fonctions de transfert relatifs  
Aux densités de flux

$N_a, N_b, N_c$  et  $N_c$  : Nombre des coefficients  $a_i, b_i, c_i$  et  $d_i$   
 $\Delta t$  : Pas de temps de calcul des coefficients de la fonction de transfert (s)  
 ou pas de simulation  
 $T_{Se}(t - i \Delta t)$  : Température de la surface externe de la paroi à l'instant  $(t - i \Delta t)$  (K)  
 $T_{Si}(t - i \Delta t)$  : Température de la surface interne de la paroi à l'instant  $(t - i \Delta t)$  (K)  
 $K$  : Conductance 'surface – surface' de la paroi vitrée ( $W/m^2 K$ )  
 $H_{c,e}$  et  $h_{c,i}$  : Coefficients de convection sur les faces externe et interne ( $W/m^2 K$ )  
 $T_e$  et  $T_i$  : Température de l'ambiance extérieure et de l'ambiance intérieure (K)  
 $T$  : Température proche de la moyenne entre  $T_{Se}$ ,  $T_c$  et  $T_e$ .  
 $h_{r,e}$  : Coefficient d'échanges radiatifs GLO avec l'environnement  
 $h_{r,i}$  : Coefficient d'échanges radiatifs GLO avec la voûte céleste  
 $\dot{m}_a$  : Débit d'air entrant dans la zone (kg/s)  
 $C_a$  : Débit d'air entrant dans la zone (kg/s)  
 $\rho_a$  : Masse volumique de l'air (supposée constante) ( $kg/m^3$ )  
 $V$  : Volume de zone ( $m^3$ )  
 $A_p$  : Apports internes convectifs (W)  
 $T_a$  : Température de l'air entrant dans la zone (K)

## REFERENCES

- [1] TRNSYS 15, Upgrade Description.
- [2] B. Berges, '*Analyse d'un Comportement Conductif de l'Enveloppe d'un Bâtiment - Recherche de Modèles de Transfert Adaptés au Couplage Enveloppe – Equipement Régulation*', Thèse de Doctorat, Université de Nice, 1986.
- [3] G. Fraisse et J. Virgone, '*Modélisation Numérique d'un Bâtiment Multizone sous TRNSYS*', Laboratoire Génie Civil et Habitat (LGCH), Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Chambéry (ESIGEC), Campus Scientifique Savoie, Technolac, 2003.
- [4] S. Charbonnier, C. Parant et A. Pouget, '*Guide de la Thermique dans l'Habitat Neuf*', Edition du Moniteur, Paris, 1992.