

Détermination d'années météorologiques types utilisées pour la simulation thermique et énergétique des bâtiments de dix villes du Burkina Faso

**Ousmane COULIBALY^{1*}, Emmanuel OUEDRAOGO², Abdoulaye OUEDRAOGO²
et Jean KOULIDIATI¹**

¹ *Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement (LPCE), Unité de Formation et de Recherche en Sciences Exactes et Appliquée, Université de Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso*

² *Laboratoire d'Energie Thermique et Renouvelable (LETRE), Unité de Formation et de Recherche en Sciences Exactes et Appliquée, Université de Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso*

* Correspondance, courriel : coulous2005@yahoo.fr

Résumé

Les problématiques énergétiques actuelles conduisent à améliorer la conception des bâtiments ainsi qu'à accroître l'utilisation des systèmes utilisant les énergies renouvelables (ENR). La mise en place de ces objectifs passe par l'évaluation des performances thermiques et énergétiques grâce à des codes de simulation détaillés tel que TRNSYS. Dans cet article nous utilisons un générateur de données climatiques proposé dans TRNSYS pour déterminer des années météorologiques types pour dix villes du Burkina Faso. Puis nous évaluons les charges de climatisation d'un bâtiment type en utilisant ces années types. Les résultats sont comparés à ceux de Météonorm, à la méthode de Sandia. L'évolution de l'énergie nécessaire pour la climatisation du bâtiment a été déterminée pour chaque localité. Les consommations d'énergie obtenues en utilisant les données des années types simulées et celles de Météonorm sont du même ordre de grandeur. On note aussi une fluctuation des charges sensibles entre la période 1992 - 2006. Les valeurs des MBD sont comprises entre -7 % et + 7 % et la plupart des valeurs du RMSD sont inférieurs à 10 % sauf pour les années 1997, 2000 et 2005 ; ce qui est dû aux fortes fluctuations de températures qui a existé au cours de ces années. On montre enfin qu'une épaisseur d'isolation idéale du mur en polystyrène peut se situer entre 4 et 6cm.

Mots-clés : *année météorologique type, simulation sous TRNSYS, charges thermiques, isolation, bâtiment.*

Abstract

Development of typical meteorological years used for buildings thermal and energy simulation of ten cities in Burkina Faso

The current energy problems result in improving the building's design like increasing the use of renewable energies systems (ENR). The installation of these objectives passes by the energy performance evaluation thanks to codes of simulation detailed such as TRNSYS. In this article we use a generator of climatic data suggested in TRNSYS to determine standard weather years for ten cities of Burkina Faso. Then we evaluate air-conditioning loads of a standard building by using these standard years. The results are compared with those of Météonorm and with the method of Sandia.

The evolution of necessary energy for the air-conditioning of the building was given for each locality. The energy consumption obtained by using data of the simulated standard years and those of Meteoronorm is in the same order of magnitude. We noted also a fluctuation of the significant loads between the years 1992 - 2006. The values of the MBD lie between -7 % and +7 % and the majority of RMSD values are lower than 10 % except for years 1997, 2000 and 2005; what is caused to the strong fluctuations of temperatures which existed during these years. We have shown finally that a thickness of ideal insulation of wall in polystyrene can range between 4 and 6cm.

Keywords : *typical meteorological year, simulation under TRNSYS, thermal Loads, insulation, building.*

1-Introduction

La conception des bâtiments est liée au contexte climatique. En vue d'obtenir un niveau de confort acceptable en consommant un minimum d'énergie, les règles de construction doivent correspondre aux conditions climatiques locales. Des économies d'énergie pouvant atteindre jusqu'à 70 % de la consommation totale d'un bâtiment [1] en Afrique Subaharienne peuvent être faites si nous considérons les conditions climatiques locales dans la conception architecturale et le choix des climatiseurs à installer. Ces paramètres météorologiques sont en général: le rayonnement solaire, la température de l'air, l'humidité relative de l'air, la vitesse et la direction du vent. D'où la nécessité et l'avantage d'utiliser des données d'une année météorologique pour l'évaluation des performances du système. Ces années types sont générées par plusieurs méthodes telles que la méthode Danoise, celle du Laboratoire National Sandia (ou méthode de Sandia), celle de Festa-Ratto, celle de Crow, celle de Miquel-Bilbao, celle de Gazela-Mathioulakis [2-4]. Selon Santos et al. [5], les variables météorologiques sont très aléatoires pour de courtes périodes de temps et hautement déterministe pour de longues périodes de temps. Cependant la plus adéquate dans le domaine des bâtiments est celle de Sandia [2]. Cette méthode a été récemment utilisée par notre équipe de recherche pour déterminer une année météorologique type de la ville de Ouagadougou [6]. Cependant, l'utilisation de la plupart de ces méthodes exige la disponibilité des données météorologiques à pas horaire. Pourtant, le Burkina Faso comme d'ailleurs la plupart des stations météorologiques des pays d'Afrique subsaharienne ne dispose pas de données à pas horaire pour bon nombre de stations. Mais un module du logiciel TRNSYS génère de manière aléatoire une année artificielle à partir des moyennes mensuelles de température, d'irradiation solaire globale sur le plan horizontal et d'humidité spécifique [7]. Dans ce travail nous vous présentons dans un premier temps deux méthodes de génération des années types. Puis nous procédons à la description du bâtiment sous TRNSYS en vue de la détermination des charges thermiques. Nous terminons avec les résultats et la discussion.

2. Méthodologie

Nous présentons dans cette partie deux méthodes de génération des années météorologiques types (TMY), celle du laboratoire national de Sandia et le générateur type 54 de TRNSYS et la modélisation d'un bâtiment de type F3 sous TRNSYS.

2-1. La méthode du Laboratoire National de Sandia

Elle est basée sur la distribution discrète et la statistique de Finkelstein-Schäfer (FS) et a été initialement développée par [7] pour former une année complète appelé année météorologique type à partir de douze (12) mois individuels de différentes années sélectionnés au cours de la période d'étude.

Ce procédé utilise les données des paramètres climatiques. Pour chaque mois de l'année et pour toutes celles de la période, on calcule le facteur de la statistique de Finkelstein-Schäfer FS des paramètres météorologiques selon la **Formule** suivante :

$$FS_x(y, m) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| CDF_m(x_i) - CDF_{y,m}(x_i) \right| \tag{1}$$

$CDF_m(x_i)$: moyenne des fréquences cumulées des données du mois m de toute la période considérée ;
 $CDF_{y,m}(x_i)$: fréquences cumulées des données du mois m de l'année y considérée.

La fréquence cumulée du paramètre x_i se calcule à l'aide de la **Formule** ci-dessous :

$$CDF(x_i) = \sum_{x_j \geq x} F(x_j) \tag{2}$$

$F(x_i)$ étant la distribution de la fréquence pour une variable climatique x donnée est évaluée à partir de l'**Expression** suivante :

$$F(x_i) = \frac{n_i}{N} \tag{3}$$

Dans cette relation n_i est le nombre d'heure d'apparition de la valeur de la variable x_i et N le nombre total d'heure considéré dans l'analyse statistique.

La somme pondérée (WS) de la statistique de FS du mois m de l'année y est calculée à partir :

$$\sum_{x=1}^M WF_x = 1 \tag{4}$$

Avec

$$WS(y, m) = \frac{1}{M} \sum_{x=1}^M WF_x \cdot FS_x(y, m) \tag{5}$$

Où M est le nombre de paramètres climatiques considérés dans l'étude et WF_x le facteur de pondération appelé poids du paramètre x .

Le poids d'un paramètre est la capacité d'influence de ce paramètre par rapport aux autres sur les résultats (ou sur la performance du bâtiment).

2-2. Le générateur Type 54 de TRNSYS

Le programme *TRNSYS* offre en option, un simulateur de données climatiques, assez représentatif des modèles développés sur les années types [8]. Les modèles de base sont ceux de [9-12]. Ce simulateur génère de manière aléatoire une année artificielle à partir des moyennes mensuelles de température, d'irradiation solaire globale sur le plan horizontal et d'humidité spécifique. Les modèles statistiques correspondants sont des modèles autorégressifs du premier ordre pour l'ensoleillement (dépendance à un jour), du deuxième ordre pour la température. Il s'agit du modèle 54 (Type 54) qui a par exemple été récemment utilisé par [13] pour générer une année météorologique type pour quelques villes en Australie.

Nous avons utilisé ce programme pour générer une année artificielle pour dix stations synoptiques du Burkina. Les données que nous avons utilisées sont fournies par la direction générale de la météorologie et de l'aviation civile du Burkina Faso. La **Figure 1** représente le schéma utilisé pour la génération des années types (TMY) à partir du Type 54 de TRNSYS pour les dix stations synoptiques du Burkina. Elle comprend outre le modèle du module Type 54, le calcul des paramètres psychrométriques à travers le Type 33, l'imprimante et le traceur.

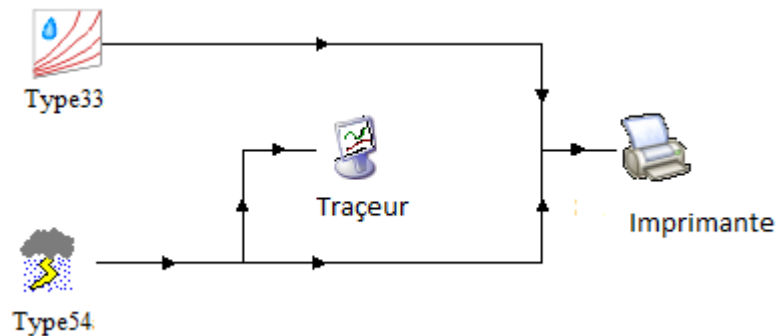


Figure 1 : Schéma utilisé pour la détermination des TMY dans dix stations synoptiques

2-3. Calcul de quelques paramètres statistiques

Les paramètres statistiques tels que le biais moyen « Mean Bias Difference » (MBD) et la racine de l'écart quadratique moyen « Root Mean Square Difference » (RMSD) pour l'année j sont calculées respectivement par les **Equations (6) et (7)**:

$$MBD_j = \frac{\sum_{i=1}^{12} (x_{ij} - y_i)}{12} \cdot \frac{1}{y} \cdot 100 \quad (6)$$

$$RMSD_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (x_{ij} - y_i)^2}{12}} \cdot \frac{1}{y} \cdot 100 \quad (7)$$

Dans ces relations x_{ij} représentent les charges de chaque mois au cours de l'année j , y_i et \bar{y} sont respectivement les charges mensuelles et la moyenne mensuelle des charges obtenues en utilisant les données Météonorm.

2-4. Description du bâtiment étudié

L'étude menée concerne un logement social construit par le Centre de Gestion des Cités (CE.GE.CI) d'environ 50 m² de surface, dont la façade est orientée sud. La configuration du bâtiment est représentée par la **Figure 2**. C'est un bâtiment de type F3 (2 chambres, 1 salon et une toilette). Les murs extérieurs sont en agglomérés creux de 25 cm avec enduits extérieur et intérieur au ciment, peinture blanche à l'intérieur et jaune foncée à l'extérieur. Le plancher en béton de 15 cm. Les portes sont en bois, châssis double avec encadrement en fer.

Le vitrage est simple et de 4 mm d'épaisseur avec cadre en fer, d'une conductance hors résistance superficielles égale à $5,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ et de facteur solaire égale à 0,85 avec cadre en bois. La toiture est en dalle de 20 cm et les cloisons en agglomérés creux de 15 cm avec enduits intérieur et extérieur au sable, peinture blanche des deux côtés [14].

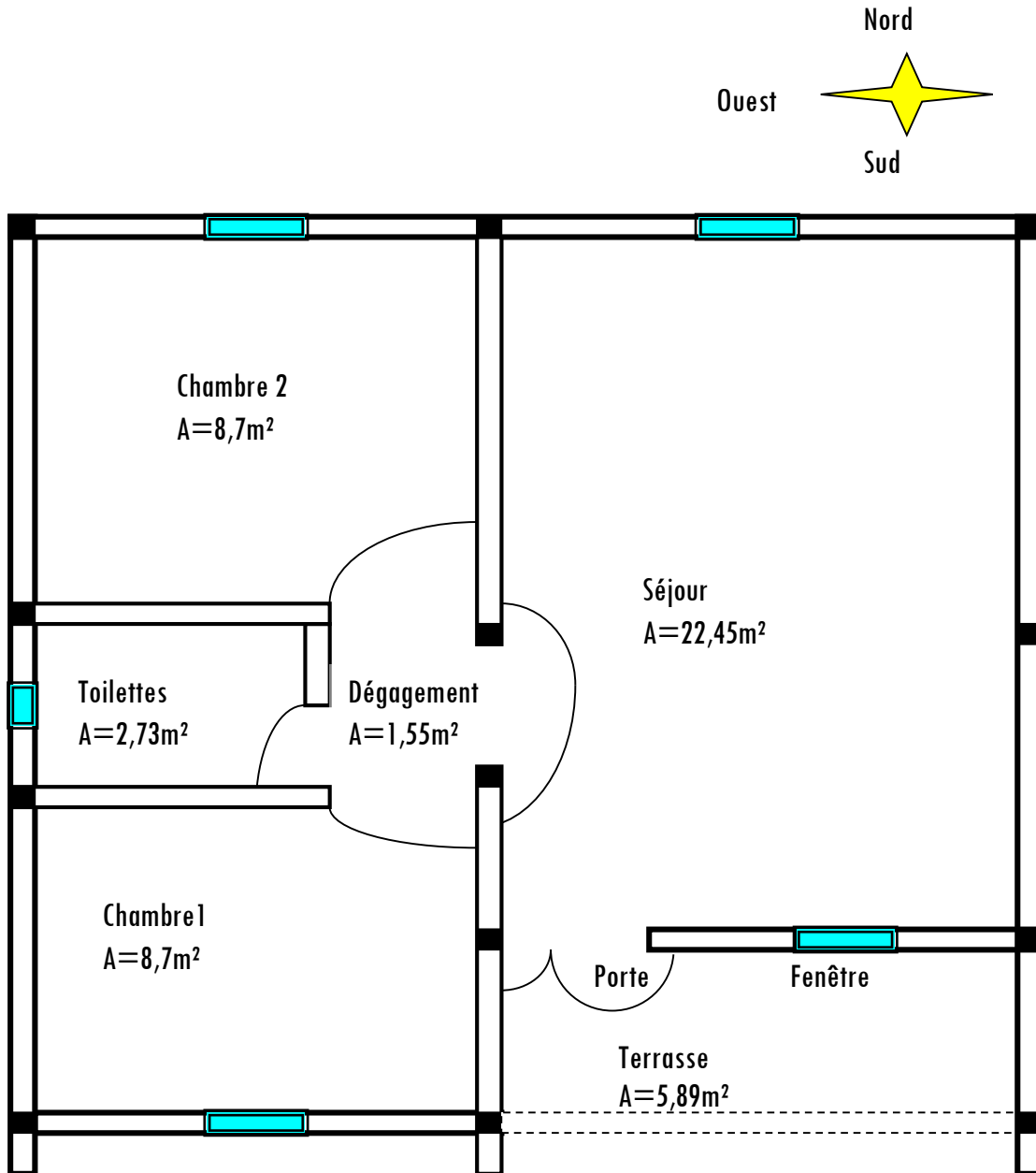


Figure 2 : Configuration de l'appartement

2-5. Modélisation en multizones

Afin d'avoir une modélisation plus fine de l'habitat en fonction de son utilisation, nous l'avons subdivisé en six (6) zones pour le décrire dans TRNSYS : Zone 1 : Séjour ; Zone 2 : Terrasse ; Zone 3 : Dégagement ; Zone 4 : Chambre 1 ; Zone 5 : chambre 2 ; Zone 6 : Toiletttes.

Le **Tableau 1** donne les propriétés thermo-physiques des matériaux de construction utilisés pour le bâtiment.

Tableau1 : Propriétés thermo-physiques des matériaux [14]

Composants du Bâtiment	Matériaux	Conductivité thermique (W/ m.K)	Masse volumique (kg/m ³)	Capacité thermique (J/ kg.K)
Construction en parpaing creux	-Parpaing creux	0,67	1250	880
	-enduit au ciment	0,87	2200	105
Fenêtres	-Vitrage simple (verre)	1,15	840	1000
Portes	-Porte en bois	0,12	593	2510
Plancher	-Béton	1,75	2100	653
Toit en dalles	-Béton	1,75	2100	653

2-6. Charges internes et appareils de régulation

Nous supposons que le climatiseur est mis en marche lorsque la température intérieure passe au-dessus de 26°C avec une humidité relative de 50 %. La ventilation et l'infiltration sont fixées à un volume par heure. Des scénarios d'occupation semaine et weekends correspondant aux chambres et au séjour ont été créés. Le nombre d'occupants est de 4 pour le séjour et 2 par chambre. Pour l'éclairage, une lampe fluorescente de 8 W/m² de chaleur dégagée est utilisée par local. Le séjour comporte une télévision de 60 W et un réfrigérateur de 70 W ayant un coefficient d'utilisation de 100 % et un DVD de 150W dont le coefficient d'utilisation est fixé à 40 % [15].

2-7. Assemblage des modules sous TRNSYS

Nous avons décrit le plan du bâtiment à l'aide du modèle multizone (TYPE 56) de TRNSYS [7]. En résumé, l'assemblage représenté par la **Figure 3** comporte :

- L'entrée des données climatiques. A ce niveau les fichiers utilisés sont :
 - ✓ Utilisation du fichier Météonorm de quatre villes du Burkina et de la ville de Bamako au Mali. Ces fichiers sont directement proposés dans la bibliothèque de la version 16.1 de TRNSYS [7] ;
 - ✓ Simulation des années types (TMY) à partir du Type 54 de TRNSYS pour les dix stations synoptiques du Burkina [7] ;
 - ✓ Utilisation de l'année météorologique type déterminé pour la ville de Ouagadougou par la méthode de Sandia [6].
- Le calcul des radiations en courtes et grandes longueurs d'ondes selon les différentes directions, de la température équivalente de la voûte céleste, des paramètres psychrométriques et la température du sol.
- Le calcul des charges thermiques du bâtiment à travers le modèle de bâtiment multizone type 56 de TRNSYS.
- Il y a enfin la sortie des données à travers l'intégrateur et l'imprimante.

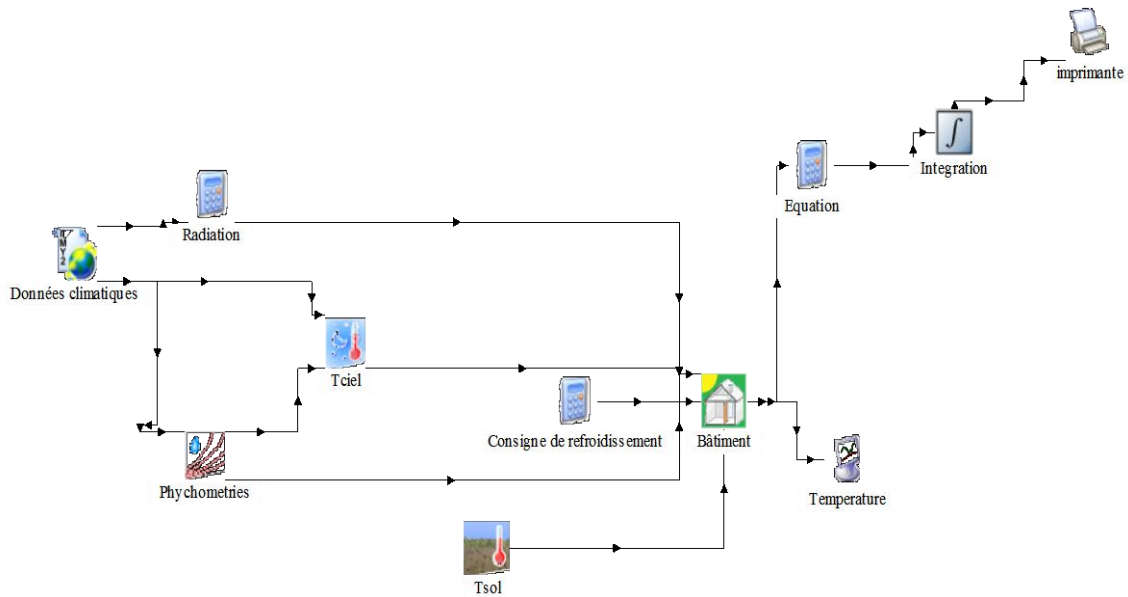


Figure 3 : Assemblage des modules pour la description du bâtiment dans TRNSYS

3. Résultats et Discussion

3-1. Influence de la température et de l'humidité entre la période 1992-2006

Nous évaluons ici l'influence de la température et de l'humidité sur les charges sensibles et latentes entre la période 1992-2006 pour la ville de Ouagadougou. Pour cela, nous remplaçons les données de température et d'humidité du fichier Météonorm par celles que nous avons saisies à la direction générale de la météorologie du Burkina. En pratique, cela se fait en utilisant le Type 9 de TRNSYS. Les **Figures 4** et **5** présentent les moyennes et les valeurs extrêmes obtenues entre la période 1992 et 2006 pour chaque mois et respectivement pour les charges sensibles et latentes. La courbe des valeurs moyennes est comparée à celle obtenue en utilisant le fichier Météonorm. Ces deux courbes sont encadrées par les valeurs extrêmes. Cette analyse permet de connaître les valeurs extrêmes de puissance de climatisation que l'on pourrait avoir du fait de la fluctuation de la température et de l'humidité d'une année à l'autre.

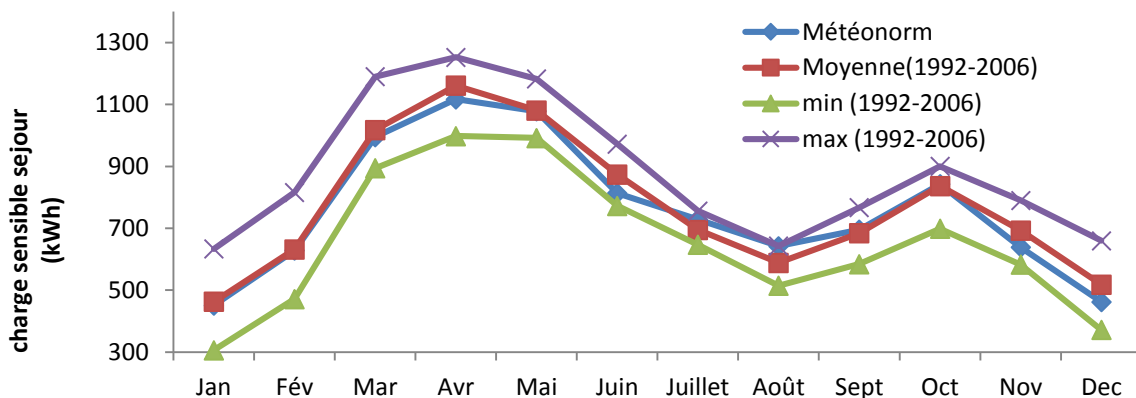


Figure 4 : Comparaison des charges sensibles obtenues par Météonorm et la moyenne sur la période 1992-2006

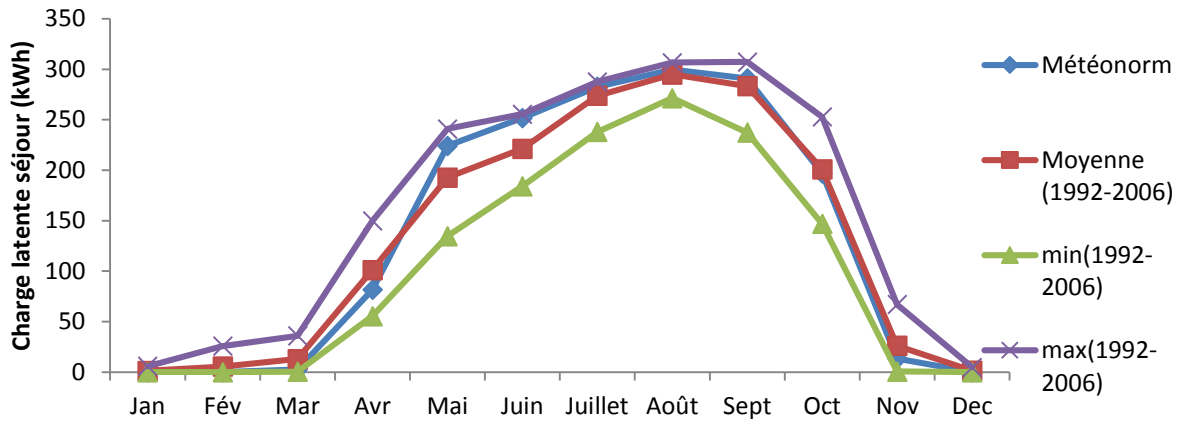


Figure 5 : Comparaison des charges latentes obtenues par Météonorm et la moyenne sur la période 1992-2006

La **Figure 6** donne les valeurs des RMSD et MBD en pourcentage. La plupart des valeurs du RMSD est inférieure à 10 %, sauf pour les années 1997, 2000 et 2005. Ceci est dû aux fortes fluctuations de températures qu'il y'a eu au cours de ces années. Les valeurs de ces paramètres sont de mêmes ordres que celles obtenues par [16].

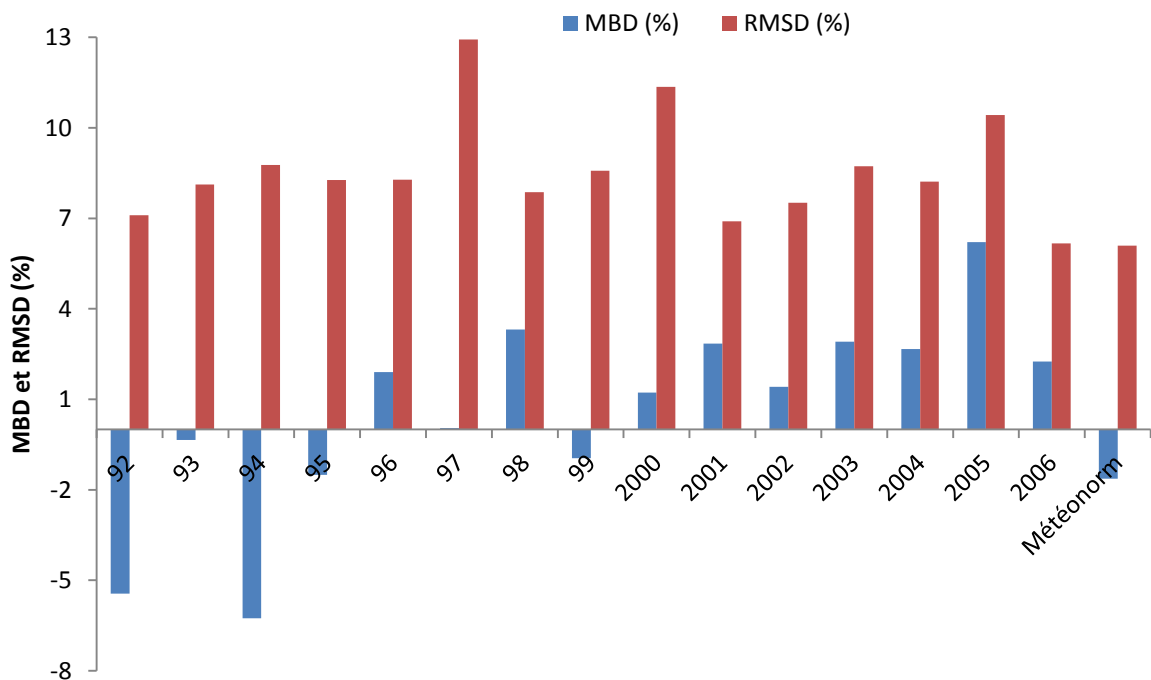


Figure 6 : MBD et RMSD entre la période 1992 et 2006 en pourcentage

3.2. Années types et simulation des charges pour les dix stations synoptiques du Burkina

Le TMYgénéré est très utile pour la conception et l'évaluation optimale de la performance des systèmes de conversion de l'énergie solaire, de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) [17]. L

es années types simulées avec le Type 54 et celle obtenue par la méthode de Sandia, puis utilisées comme entrées pour le Type 109 sont comparées à ceux de Météonorm. Les consommations mensuelles de charges sensibles et latentes obtenues dans les trois cas sont du même ordre de grandeur (**Figure 7**). Quant aux consommations annuelles (**Figure 8**), les écarts obtenus entre les différentes charges sont inférieures à 10 %. L'erreur relative obtenue entre le générateur Type 54 et celui de Météonorm est de 4,11 %. Elle est de 6,77% entre les données obtenues par la méthode de Sandia et les données de Météonorm fournis également par TRNSYS pour quelques villes. Cependant, les charges les plus faibles sont obtenues par la méthode de Sandia. Cette année type qui a été sélectionnée en se basant sur les données de température et d'humidité à pas horaire et du rayonnement solaire journalier uniquement pour la ville de Ouagadougou.

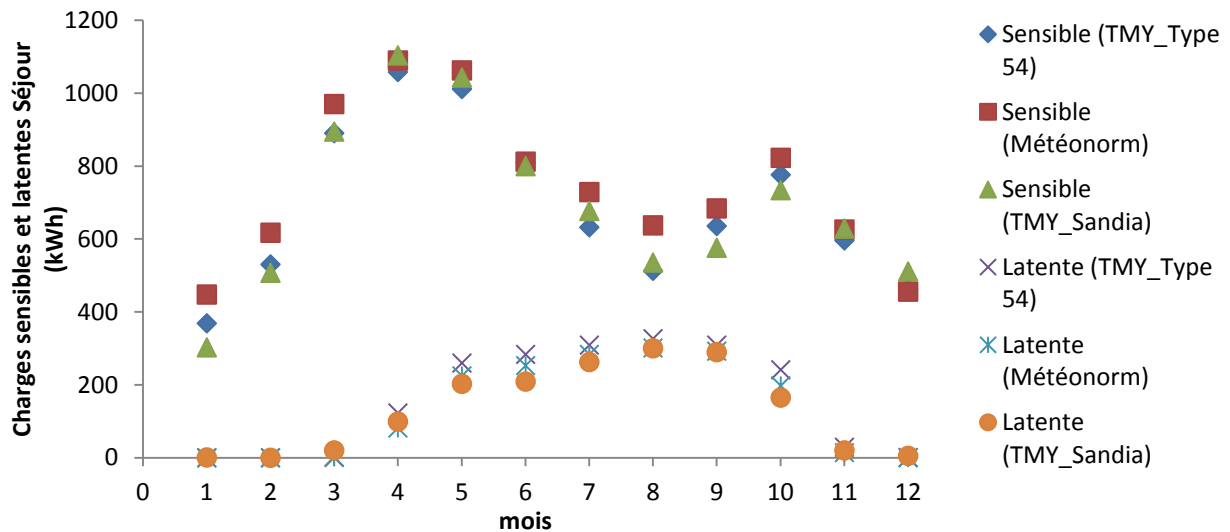


Figure 7 : Comparaison des charges sensibles et latentes en utilisant les données TMY et Météonorm à Ouagadougou

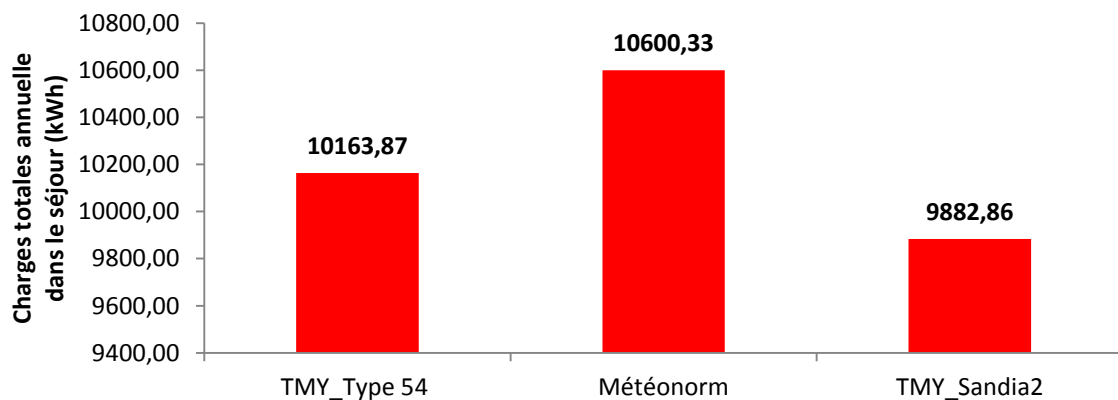


Figure 8 : Consommations annuelles dans le séjour en fonction des années types

La **Figure 9** représente les charges sensibles obtenues pour les dix stations synoptiques du Burkina Faso en utilisant les années types simulées avec le Type 54. On remarque que ces courbes ont toutes la même allure.

Les charges s'élèvent de mars à juin dues aux fortes valeurs de la température, puis s'abaissent de juillet à septembre du fait de la pluviométrie. Ensuite, on observe une augmentation en Octobre et enfin une baisse de ces charges à partir de novembre. La **Figure 10** donne les charges sensibles obtenues dans le séjour au cours de la plus grande période chaude (mars à juin). Elles sont élevées à Dori et Ouahigouya (zone sahélienne). Les valeurs les plus basses sont obtenues à Bobo et Gaoua (Zone Soudano-Guinéenne).

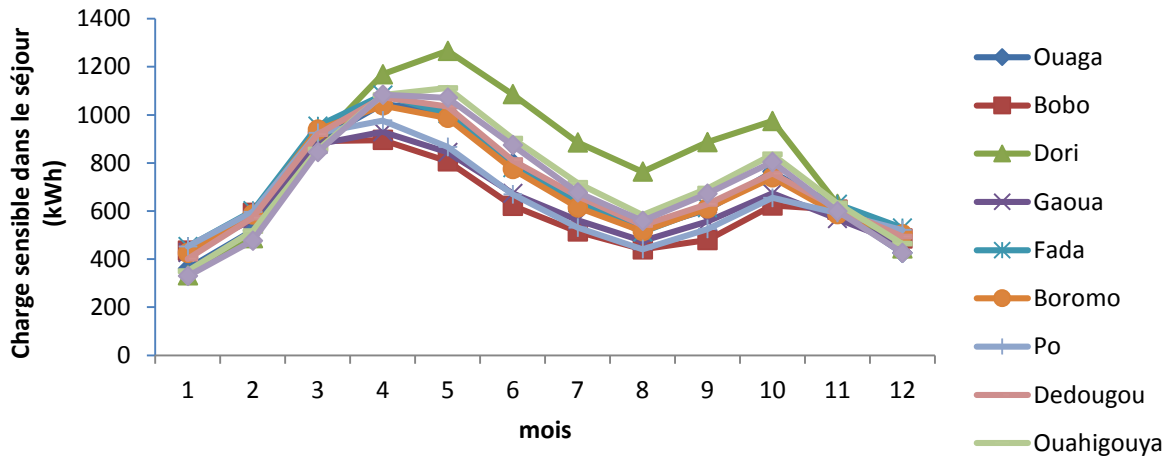


Figure 9 : Charges sensibles pour les dix stations synoptiques du Burkina

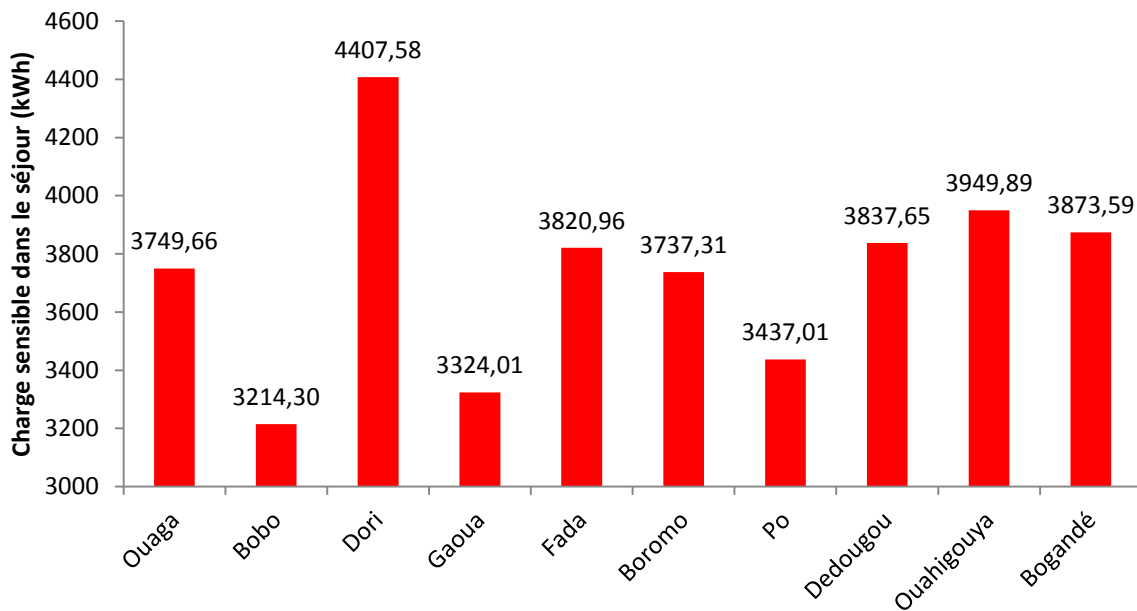


Figure 10 : Charges sensibles pour les dix stations synoptiques de mars -juin

3-3. Influence de l'isolation du mur sur les charges sensibles dans le séjour

La **Figure 11** indique l'effet de l'augmentation de l'épaisseur d'isolant du mur (polystyrène) sur les charges sensibles. La première simulation est réalisée en supposant la toiture isolée avec de la laine de bois d'une épaisseur de 16 cm et le plancher sur terre-plein de 10 cm d'épaisseur de mousse de polyuréthane, le mur n'étant pas isolé. On remarque qu'en plaçant 2 cm de polystyrène sur le mur, les charges de consommation baissent énormément. Mais à partir de 6 cm de polystyrène, les charges diminuent modérément et évoluent vers une valeur limite. Une épaisseur d'isolation idéale peut donc se situer entre 4 et 6 cm. Les valeurs des charges sensibles des parois isolées sont plus faibles que celles obtenues par Coulibaly et al pour un bâtiment en blocs latérites taillées avec une isolation de la toiture [18].

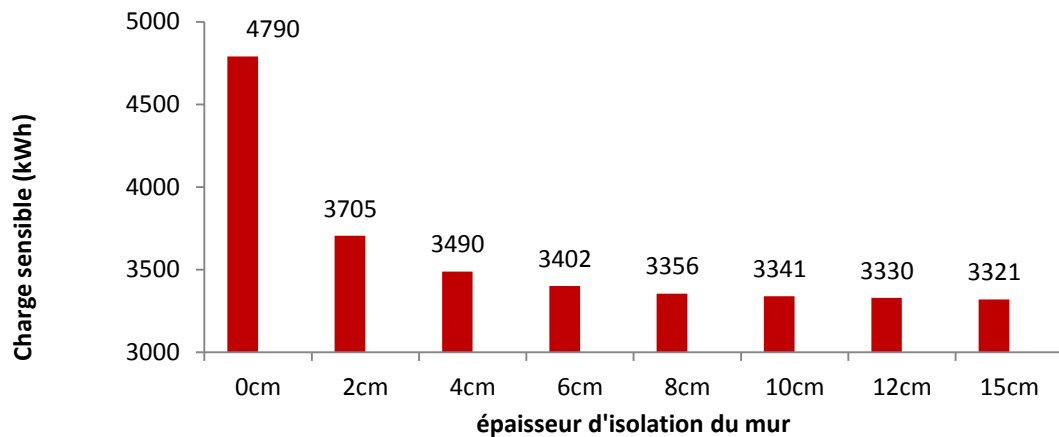


Figure 11 : *Influence de l'isolation sur les charges sensibles*

4. Conclusion

Cette étude a permis de déterminer les années météorologiques types de dix villes du Burkina Faso et les performances thermique et énergétique d'un bâtiment. L'évolution de l'énergie nécessaire (charges sensibles et latentes) pour la climatisation de chaque local a été déterminée. Les consommations d'énergie obtenues en utilisant les données des années types simulées et celles de Météonorm sont du même ordre de grandeur. De ces différentes villes nous avons relevé une grande consommation énergétique à Dori (région du sahel) et la plus basse consommation énergétique à Bobo-Dioulasso (Zone soudano-guinéenne). Des valeurs des consommations d'énergie, nous pouvons considérer que notre bâtiment a de mauvaises performances thermique et énergétique. Ainsi, nous avons montré que l'isolation thermique du bâtiment permet de baisser énormément les charges de climatisation. Pour le mur, une épaisseur d'isolation idéale en polystyrène peut se situer entre 4 et 6 cm. Toutefois ces performances peuvent être améliorées en envisageant quelques actions pour minimiser d'avantage les apports des charges (double vitrage, protections solaires, etc.).

Remerciements

Les auteurs remercient la direction générale de la météorologie du Burkina Faso pour avoir offert gracieusement les données météorologiques.

Références

- [1] - Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie (IEPF), « Les systèmes de ventilation et climatisation », *Fiche technique PRISME 2 (2001) 8p.* <http://www.iepf.org/ressources/ressources-pub.php?id = 2 & année = 2001>
- [2] - K. SKEIKER, "Comparison of methodologies for TMY generation using 10 years data for Damascus, Syria", *Energy Conversion and Management 48 (2007) 2090-2092*
- [3] - L. W. Crow, Weather year for energy calculations. ASHRAE J ; 6 (1984).
- [4] - M. MUSELLI, P. POGGI, G. NOTTON, "Classification of typical meteorological days from global irradiation records and comparison between two Mediterranean coastal sites in Corsica Island". *Energy Conversion & Management 41 (2000) 1043-1063.*
- [5] - J. M. SANTOS, J. M. PINAZO, and J. CANADA, "Methodology for generating daily clearness index values K-t starting from the monthly average daily value (K) over-bar(t). Determining the daily sequence using stochastic models", *Renewable Energy 28 (10) (2003) 1523-1544.*
- [6] - E. OUEDRAOGO, O. COULIBALY, A. OUEDRAOGO : « Elaboration d'une année météorologique type de la ville de Ouagadougou pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments ». *Revue des Energies Renouvelables 15 (1) (2012) 77-90.*
- [7] - S. A. KLEIN, W. A. BECKMAN, Mitchell J. W. MITCHELL, T. L. FREEMAN, J. C. MITCHELL, JE. BRAUN, et al, *TRNSYS version 16, User manual, solar energy laboratory, university of Wisconsin.(2006)*
- [8] - Hall I. J. Hall, R. R. PRAIRIE, H. E. ANDERSON, E. C. BOES, "Generation of typical meteorological years for 26 SOLMET stations", *Sandia Laboratories. Report, SAND 78-1601, Albuquerque, NM (1978).*
- [9] - K. M. KNIGHT, S. A. KLEIN and J. A. DUFFIE, "A Methodology for the Synthesis of Hourly Weather Data", *Solar Energy 46 (2) (1991) 109-120.*
- [10] - V. A. GRAHAM, K. G. T. HOLLANDS, and T. E. UNNY, "Stochastic Variation of Hourly Solar Radiation Over the Day", *Advances in Solar Energy Technology, Vol. 4, ISES Proceedings, Hamburg, Germany, 4 (1987) 13-18.*
- [11] - L. O. DEGELMAN, "A Weather Simulation Model for Building Energy Analysis", *ASHRAE Transactions, Symposium on Weather Data, Seattle, WA, Annual Meeting (1976) 435-447.*
- [12] - R. A. GANSLER, S. A. KLEIN, W. A. BECKMAN, "Investigation of Minute Solar Radiation Data", *Proceedings of the 1994 Annual Conference of the American Solar Energy Society, San Jose CA (1994) 344-348.*
- [13] - T. LHENDUP, S. LHUNDUP, "Comparison of methodologies for generating a typical meteorological year (TMY)", *Energy for Sustainable Development 11 (3) (2007) 5-10.*
- [14] - O. COULIBALY, « Contribution à l'élaboration d'une réglementation thermique et énergétique des bâtiments au Burkina Faso, Données de base multiparamétriques et modélisation thermo-aérodynamique sous CoDyBa et TRNSYS ». *Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou (2011) 213p.*
- [15] - J. CLAESSENS, Y. COULIBALY, T. DJAKO, M. GNAMKE et al., « Efficacité énergétique de la climatisation en pays tropicale, Tome 1 : Conception des nouveaux bâtiments » *IEPF (2003).*
- [16] - S. JANJAI, A. SRIPRADIT, R. WATTAN, S. BUNTOUNG, S. PATTARAPANICHAJ, and I. MASIRI, "A Simple Semi-Empirical Model for the Estimation of Photosynthetically Active Radiation from Satellite Data in the Tropics", *International Journal of Photoenergy (2013) 6 p.*
- [17] - O. S. OHUNAKINO, M. S. ADARAMOLA, O. M. OYEWOLA, R. O. FAGBENLE, "Generation of a typical meteorological year for north-east, Nigeria", *Applied Energy 112 (2013) 152-159.*
- [18] - O. COULIBALY and D. Y. K. TOGUYENI, "Eco Insulation Materials: Reduction of Cooling Loads of a House Made of Breeze Block or Laterite in a Dry Tropical Climate". *Journal of Energy and Power Engineering 8 (2014) 1246-1250.*