

Besoins énergétiques et impact environnemental du chauffage des bâtiments résidentiels au Maroc

Rachida IDCHABANI^{1*}, Mohamed ELGANAOU², Mohamed GAROUM¹

¹Laboratoire d'Energie, Matériaux et Environnement, Ecole Supérieure de Technologie de Salé, faculté des Sciences de Rabat.

²Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le matériau Bois, Université de Lorraine.

*(auteur correspondant : idchabani@gmail.com)

***Résumé** - L'objectif de ce travail est d'évaluer les besoins en chauffage et les émissions de gaz à effet de serre d'un bâtiment résidentiel typique au Maroc. Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) et l'électricité ont été choisis comme sources d'énergie. Les résultats montrent que les besoins thermiques et énergétiques en chauffage du bâtiment considéré augmentent linéairement avec le taux de vitrage et de ventilation respectivement, et diminuent avec l'augmentation des gains internes. L'utilisation du GPL comme source d'énergie au lieu de l'électricité peut réduire jusqu'à environ 3 fois la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre.*

1. Introduction

Le secteur du bâtiment est un des grands consommateurs d'énergie au Maroc avec une part de 36% de la consommation énergétique totale du pays [1]. Cette consommation est appelée à augmenter dans l'avenir suite à la croissance démographique et l'augmentation sensible du taux d'équipement des ménages en appareils électroménagers (chauffage, climatisation, chauffage de l'eau...); ce qui est expliqué par à l'amélioration du niveau de vie des citoyens et la baisse des prix de ces équipements.

Dans ce contexte, l'introduction des mesures d'efficacité énergétique dans le bâtiment présente incontestablement un moyen d'économie d'énergie dans ce secteur. L'analyse énergétique est la base de toute action d'amélioration des performances énergétiques du bâtiment. C'est l'objet de ce travail qui vise l'estimation des besoins thermiques et énergétiques d'un prototype de logement répandu au Maroc: la maison marocaine moderne. Ce type de maison présente environ 70% du parc bâti national [2].

Nous avons utilisé une méthode simple, celle des degrés jours. La fiabilité de cette méthode repose sur la connaissance de la température d'équilibre du bâtiment. Chaque bâtiment a sa propre température d'équilibre. Elle dépend, notamment, du coefficient de transmission thermique global du bâtiment et des gains internes naturels et domestiques liés à la présence des personnes, à l'éclairage, l'utilisation d'équipements qui dégagent la chaleur et l'ensoleillement. Nous avons étudié différentes configurations architecturales du prototype de logement choisis et pris en considération la variabilité de la température d'équilibre du bâtiment en considérant des gains internes et un taux de changement d'air variables.

2. Méthode de calcul

La demande thermique annuelle en chauffage d'un bâtiment, Q [kWh] peut être estimée par [3]:

$$Q = 0.024.U.DJCH \quad (1)$$

Où 0.024 est un coefficient de conversion (kW.h/W.jour), U est le coefficient de transfert thermique global du bâtiment en $W/°K$. Il est donné par la formule suivante:

$$U = \sum_i U_i \cdot A_i + I \cdot V / 3 \quad (2)$$

U_i et A_i sont, respectivement, le coefficient de transfert thermique et la superficie des différentes parties de l'enveloppe extérieure du bâtiment (toiture, murs extérieurs, fenêtres, et plancher). I est le taux de renouvellement de l'air par heure en 1/h. V est le volume global du bâtiment en m^3 .

Le DJCH est le nombre de degrés jours annuel. Il y'a plusieurs méthode pour le calculer. Nous avons choisi la méthode dite « Météo ». Elle consiste faire la somme, sur l'année, des différences entre la température de base, et la moyenne de la température minimale et la température maximale de chaque jour. C'est, donc, une estimation de la différence entre la température intérieure de référence (hors apports naturels et domestiques) et la température extérieure médiane de chaque journée. Le DJCH s'écrit:

$$DJCH = \sum_i (T_b - T_{m,j})^+ \quad (3)$$

$T_{m,j}$ est la température moyenne du jour j . le signe + au-dessus de la parenthèse indique que seules les valeurs positives sont prises en compte, la différence de température sera prise égale à zéro si $T_{m,j} > T_b$.

T_b est la température de base. Cette température est définie comme la température extérieure à laquelle les déperditions de chaleur d'un bâtiment donné sont compensées entièrement par les gains de chaleur dans ce bâtiment. Mathématiquement, elle s'écrit:

$$T_b = T_c - \frac{Q_g}{U} \quad (4)$$

T_c est la température de consigne ($°C$) et Q_g les gains internes en watt (W).

3. Données de l'étude

3.1. Zonages climatiques d'hiver:

Le Maroc est réparti en 5 zones climatiques d'hiver [4]. Le tableau n°1 donne les villes représentatives de chaque zone, leurs coordonnées géographiques, altitudes et le nombre de degrés jours de chauffage y afférents.

Zone climatique	Ville représentative	Latitude (°,min)	Longitude (°,min)	Elévation (m)	DJCH °C.jour
Zone 1	AGADIR	30,38	-9,57	23,00	315
Zone 2	MARRAKECH	31,62	-8,03	463,50	553
Zone 3	TANGER	35,73	-5,92	15,40	702
Zone 4	FES	33,97	-4,98	571,30	1067
Zone 5	IFRANE	33,50	-5,17	1663,80	2224

Tableau 1 : Villes représentatives des cinq zones climatiques d'hiver du Maroc, leurs coordonnées géographiques et degrés jours de chauffage.

3.2. DJCH et températures de base :

La méthode des degrés jours de chauffage est une méthode qui nécessite un nombre de données relativement réduit pour l'estimation des besoins énergétiques d'un bâtiment, et permet aussi d'identifier l'impact de l'intégration des mesures d'efficacité énergétique dans un bâtiment notamment au niveau de l'enveloppe (isolation des murs, des toitures, taux de vitrage...). La clé d'une bonne utilisation de cette méthode est le choix de la température de base. Elle dépend de la température de consigne choisie, du coefficient de transmission thermique global du bâtiment et des gains internes. En effet, le nombre des degrés jours de chauffage peut changer significativement avec le changement de la température de base. La figure 1 donne la variation des DJCH des 5 villes représentatives des zones climatiques d'hiver du Maroc, en fonction de la température de base.

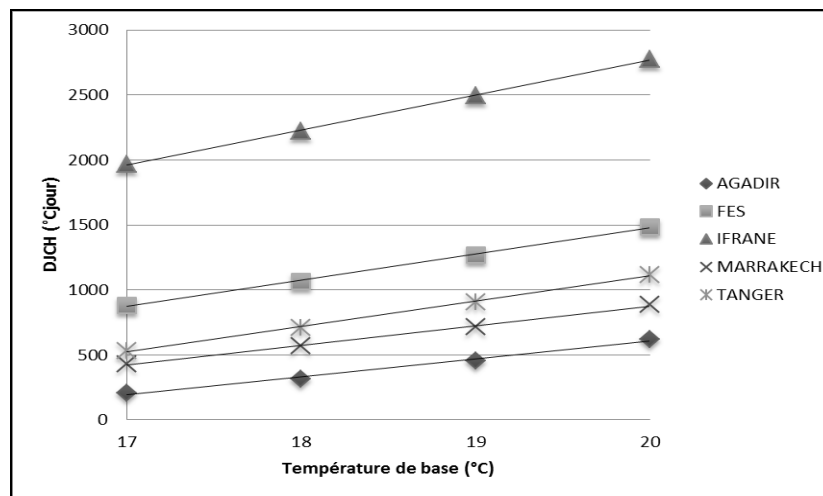


Figure 1 : Degrés jours de chauffage pour les cinq zones climatiques d'hiver du Maroc en fonction de la température de base.

Un changement de la température de base de 2°C (de 17°C à 19°C) se traduit par une augmentation du DJCH entre 41% et 198 % pour Ifrane et Agadir respectivement. Cette augmentation se répercute directement sur l'estimation des besoins de chauffage du bâtiment (équation n°1).

La variation du DJCH peut être assimilée à une droite ($DJCH = A T_b + B$). Les coefficients de la régression linéaire pour chacune des 5 zones climatiques sont représentés sur le tableau n°2.

	A	B	R²
AGADIR (Z1)	137	-2136	0,9905
MARRAKECH (Z2)	151	-2143	0,9978
TANGER (Z3)	194,8	-2789,3	0,9985
FES (Z4)	201	-2544	0,9990
IFRANE (Z5)	269,8	-2625,3	0,9995

Tableau 2 : Coefficient de la régression linéaire $DJCH = A T_b + B$, et coefficient de corrélation y afférent.

3.3. Prototype de logement:

Le prototype de logement choisi est une maison marocaine modern, de deux niveaux et deux façades. Le rez-de-chaussée est un garage non chauffé. La maison est construite selon les pratiques et avec les matériaux couramment utilisés dans la construction au Maroc, comme documenté sur le tableau n°3 [1]. Les superficies respectives du toit, des murs extérieurs, et du plancher sont 100, 120 (moins la superficie des vitres) et 100 m². Le volume total du logement est V=600 m³.

Composantes du bâtiment	Superficie (m ²)	Matériaux	Coefficient de transmission thermique(W/m ² °K)
Toiture	100	Hourdis (Entrevous)	2,283
Murs extérieurs	120 moins la superficie des vitres	Briques en double cloison brique10 cm -7cm air- brique10cm	1,172
Plancher	100	Hourdis (Entrevous)	2.283
Fenêtres	15, 25, 35, 45 % de la superficie des façades	Simple vitrage	5,91
		Double vitrage	3,46

Table 3: Caractéristiques physiques et thermiques du prototype de logement choisi.

Le taux de vitrage (TV) varie entre 15% de la superficie des façades (18m²), 25% (30m²), 35% (42m²) et 45% (54m²). De même, la moyenne saisonnière du taux de changement d'air par heure dû à la ventilation et aux infiltrations varie de I=0.5 à 2.0 h⁻¹, en prenant des valeurs intermédiaires de 1.0 et 1.5 h⁻¹. Nous faisons varier, également, les gains internes dues aux apports domestiques et naturels de 2 à 10 W/m². La température de consigne est de T_c=20°C.

4. Résultats:

4.1. Coefficient de transmission global du bâtiment

Le coefficient de transfert thermique global du bâtiment considéré a été calculé à partir de l'équation (2) pour le simple et le double vitrage comme présenté sur le tableau 4. Il varie entre 678 W/°K et 1153 W/°K calculé respectivement pour (un vitrage double, TV=15% et I=0.2 h⁻¹) et (vitrage simple, TV=45% et I=1,5 h⁻¹).

I(1/h)	Vitrage simple				Double vitrage			
	15%	25%	35%	45%	15%	25%	35%	45%
0,2	723	779	836	893	678	706	733	761
0,5	783	839	896	953	738	766	793	821
1	883	939	996	1053	838	866	893	921
1,5	983	1039	1096	1153	938	966	993	1021

Table 4: Coefficient de transfert thermique global du bâtiment U (W/°K) pour les différents types et taux de vitrage et taux de changement d'air I.

La valeur du coefficient de transfert thermique global du bâtiment augmente avec le taux de changement d'air et le taux de vitrage. Les figure 2 et 3 illustrent cette observation et

donnent la variation de ce coefficient avec le taux de vitrage et le taux de changement d'air, pour respectivement, le simple et le double vitrage ainsi que l'équation de régression multiple donnant U en fonction du TV et de I ($U = A TV + B I + C$).

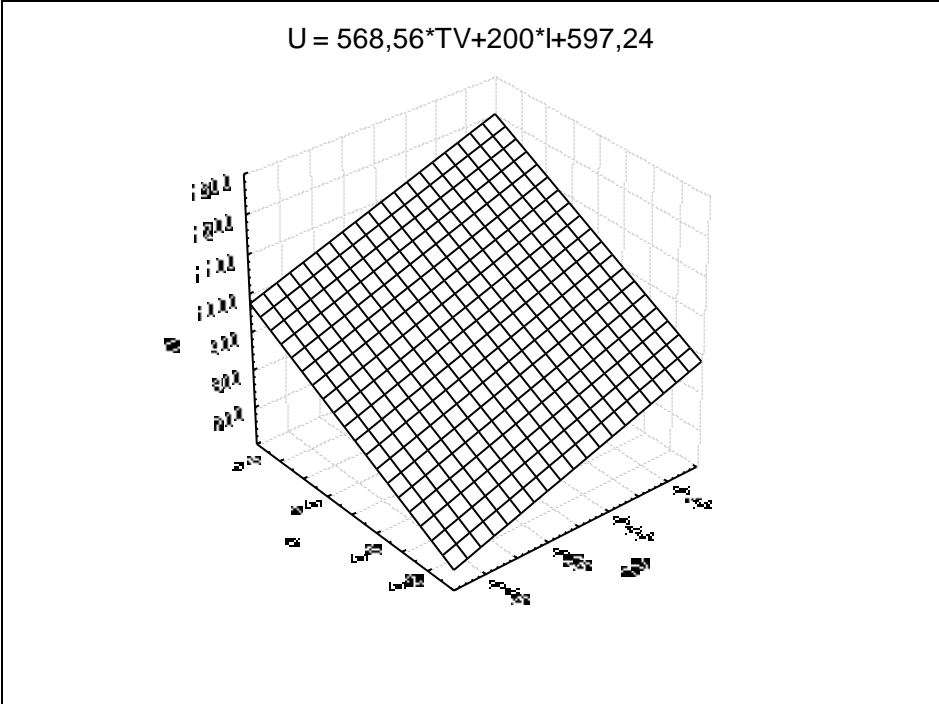


Figure 2 : Variation du coefficient de transmission thermique global du bâtiment U(W/°K) en fonction du taux de vitrage et du taux de changement d'air, Cas du simple vitrage.

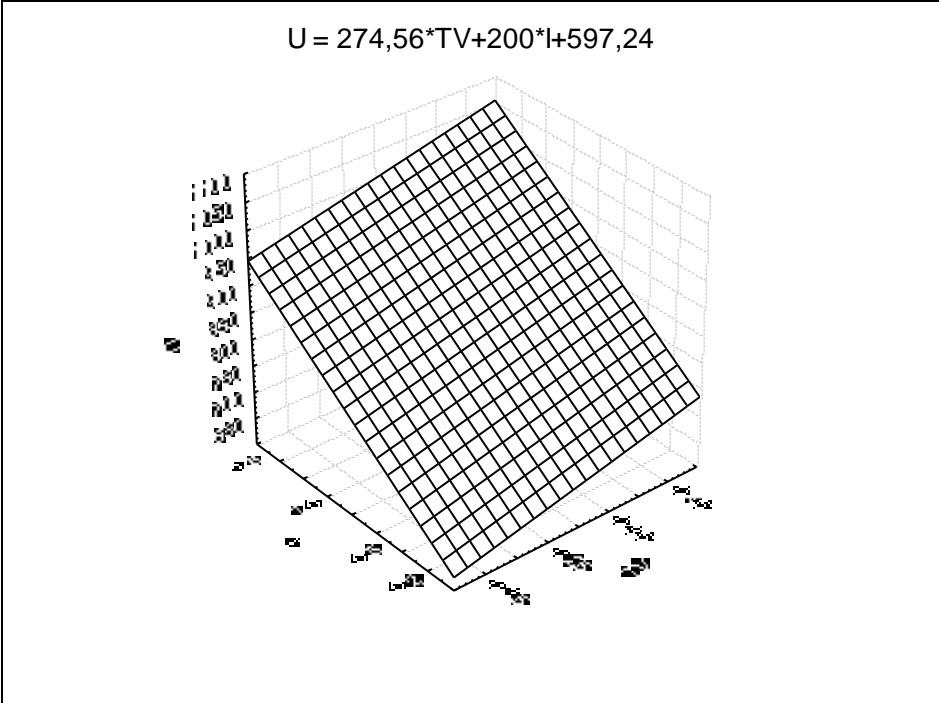


Figure 3: Variation du coefficient de transmission thermique global du bâtiment U(W/°K) en fonction du taux de vitrage et du taux de changement d'air, Cas du Double vitrage.

4.2. Besoins thermiques par zone climatique

La demande thermique du bâtiment 'Q' a été estimée pour les 5 zones climatiques d'hiver du Maroc en tenant compte de la température de base du bâtiment et son impact sur le DJCH. Les résultats sont donnés, à titre d'illustration pour le cas de la ville de Tanger, en (KWh/m².an) sur le tableau 5, et ce pour les différents types de vitrage (simple et double), taux de vitrage variable (15%, 25, 35 et 45%), taux de changement d'air variable (0.2 ; 0.5 ; 1 ; 1.5 h⁻¹) et des valeurs de gains internes allant de 2 à 10W/m².

Q_g (W/m ²)	$I(1/h)$	Simple vitrage				Double vitrage			
		15%	25%	35%	45%	15%	25%	35%	45%
2	0,2	87	94	102	109	81	84	88	92
	0,5	95	102	110	117	89	92	96	100
	1	108	115	123	131	102	106	109	113
	1,5	121	129	136	144	115	119	123	126
5	0,2	73	80	88	95	67	70	74	78
	0,5	81	88	96	103	75	78	82	86
	1	94	101	109	116	88	92	95	99
	1,5	107	115	122	130	101	105	109	112
7	0,2	63	71	78	86	57	61	65	68
	0,5	71	79	86	94	65	69	73	76
	1	84	92	100	107	79	82	86	90
	1,5	98	105	113	120	92	96	99	103
10	0,2	49	57	64	72	43	47	51	54
	0,5	57	65	72	80	51	55	59	62
	1	70	78	86	93	65	68	72	76
	1,5	84	91	99	106	78	82	85	89

Tableau 5 : Estimation de la demande énergétique Q (Kwh/m².an) pour la maison marocaine moderne pour différentes configurations, zone climatique 3 (ville de Tanger).

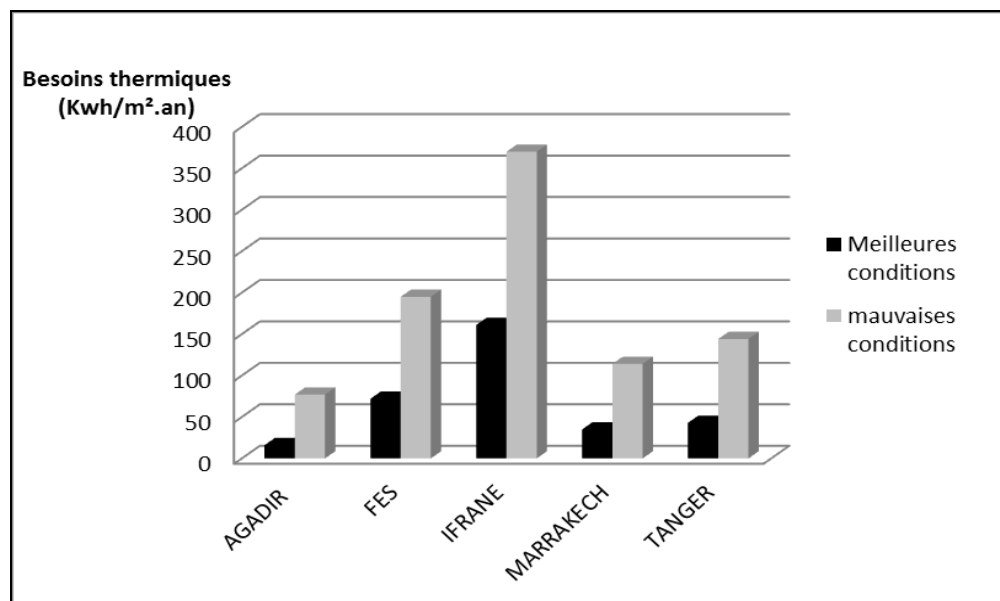


Figure 4: Comparaison des besoins thermiques en chauffage du bâtiment considéré au niveau des cinq zones climatiques d'hiver du Maroc.

Pour la zone climatique (Z3), les besoins thermiques du bâtiment varient entre un minimum de 43 KWh/m².an enregistré pour (Q_g=10W/m²; I=0.2 h⁻¹ et double vitrage TV=15%) et un maximum de 144KWh/m².an enregistré pour (Q_g=2W/m²; I=1,5 h⁻¹ et un simple vitrage TV=45%). Ces deux extrêmes configurations sont illustrées sur la figure 4, pour les cinq zones climatiques du Maroc, désignées respectivement par meilleures conditions et mauvaises conditions

4.3. Besoins énergétiques

Deux sources d'énergie sont considérées dans ce travail: le gaz de pétrole liquéfié (GPL) et l'électricité. La consommation en GPL en (kgep/m².an) pour le chauffage est obtenu par :

$$E_h = \frac{FC}{\eta.H} . Q = 0,096.Q \quad (5)$$

FC est le facteur de conversion (kgep/kg) pris égale à 1.095kgoe/kg. η est l'efficacité du système de chauffage, prise égale à 0.9 et H le pouvoir calorifique inférieur du GPL, soit 12.66 kwh/kg [5].

La consommation énergétique en électricité en (kgep/m²) s'écrit :

$$E_h = \frac{Cs}{\eta} . Q = 0,253.Q \quad (6)$$

Cs est la consommation spécifique, elle correspond à la quantité d'énergie primaire nécessaire en combustible pour produire 1 kWh d'électricité. Au Maroc, la consommation spécifique est estimée à 0.25kgep/kWh [12]. L'efficacité du système de chauffage fonctionnant avec l'électricité est prise $\eta=0.99$.

A partir des équations 5 et 6, nous pouvons déduire la consommation énergétique du bâtiment considéré, pour les deux sources d'énergie le GPL et l'électricité. De même, on peut déduire clairement que en termes de Kgep, la consommation en électricité est 2,6 fois plus importante que la consommation en GPL.

4.4. Impact environmental

Les émissions de gaz à effet de serre pour les deux sources d'énergie en (kgeqCO₂ /m².an), sont estimées en utilisant les facteurs d'émissions suivants: pour le GPL 2.52 kgeq.CO₂/kg et 0.743 kgeq.CO₂/kWh pour l'électricité [6].

Pour le GPL, on trouve :

$$E_{CO_2} = 0,22.Q \quad (7)$$

Pour l'électricité, on trouve :

$$E_{CO_2} = 0,75.Q \quad (8)$$

On en déduit que les émissions de gaz à effet de serre sont 3,4 fois plus importantes pour les bâtiments utilisant l'électricité que pour ceux utilisant le GPL pour des besoins de chauffage. La figure 5 illustre une comparaison entre les cinq zones climatiques du Maroc pour les deux extrêmes conditions choisies dans l'étude (Q_g=2w/m²; I=1,5 h⁻¹ et simple vitrage avec TV=45%) et (Q_g=10w/m²; I=0.2 h⁻¹, double vitrage avec TV=15%).

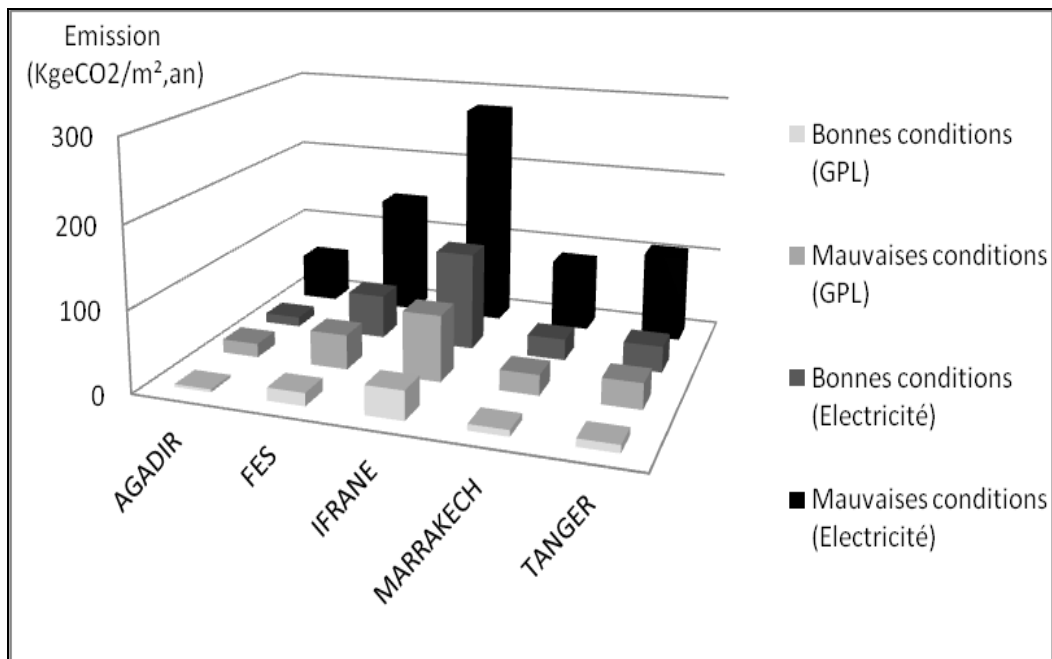


Figure 5: Comparaison des émissions de gaz à effet de serre des zones climatiques d'hiver du Maroc (KgeCO₂/m².an)

5. Conclusion

En conclusion, les besoins thermiques en chauffage du bâtiment varient d'une zone climatique à une autre, le maximum est enregistré pour la zone climatique Z5 représentée par la ville d'Ifrane, et le minimum est enregistré pour la zone climatique Z1 représentée par la ville d'Agadir. Les besoins thermiques du bâtiment sont proportionnelles au taux de vitrage et au taux de changement d'air et inversement proportionnelles aux gains internes du bâtiment. La consommation énergétique en électricité est 2,6 fois plus importante que la consommation en GPL et les émissions de gaz à effet de serre sont 3,4 fois plus importantes pour le chauffage des bâtiments utilisant l'électricité que pour ceux utilisant le GPL.

Références

- [1] A. Mourtada, R.Missaoui, Eléments techniques du projet de réglementation thermique du bâtiment au Maroc (www.ceeb.ma).
- [2] Atelier de Recherche, d'Etude et d'Architecture (AREA), Etat des lieux, typologie et évolution du parc bâti au Maroc dans l'optique de la mise en application du code d'efficacité énergétique, 2011.
- [3] ASHRAE Handbook — Fundamentals (SI). Energy Estimating Methods (chapter 28) 1993.
- [4] Direction de la météorologie Nationale, Zonage climatique d'hiver du Maroc page 3-4.
- [5] Comité français de butane et de propane, Données de combustion, (www.cfbp.fr).
- [6] Guide de projets MDP de petite échelle, Ministère de l'aménagement du territoire, Maroc, 2010.