

Influence des Scénarios Energétiques et Economiques sur les Performances Comparatives de Variantes de Bâtiments

A. Ouertani et N. Ghrab - Morcos

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Belvédère, 1002 Tunis, Tunisie

Résumé - *La fonction essentielle d'un bâtiment est de procurer un confort thermique appréciable aux habitants. Dans les pays développés, une grande part de la consommation nationale d'énergie est consacrée à cet effet, au chauffage et à la climatisation des logements.*

L'architecture traditionnelle est orientée vers la réalisation du confort en saison chaude. Durant ces dernières décennies, les modes de vie ont changé, et les usagers semblent être devenus plus sensibles au froid. Cette mutation, associée à l'élévation du niveau de vie, a conduit à un accroissement des exigences de confort. Cependant, la qualité thermique des bâtiments modernes tend à se détériorer, à cause de considérations économiques à court terme. Les occupants subissent alors un inconfort durant les mois les plus froids et les plus chauds de l'année. Un besoin accru vers un confort meilleur pousse les usagers à utiliser des équipements fortement consommateurs d'énergie pour satisfaire leur besoin. La généralisation de cette tendance peut provoquer de mauvaises répercussions sur le bilan énergétique du pays. En effet, l'utilisation d'équipements de chauffage et/ou de climatiseurs dans des bâtiments mal conçus thermiquement, représente un gaspillage énergétique important, et entraînerait une pollution importante de l'environnement. Dans notre contexte climatique, l'architecture bioclimatique et l'énergie solaire passive permettent d'aboutir à un seuil minimal de confort d'une manière naturelle. L'objectif essentiel de ce travail est d'optimiser la conception architecturale et technique des bâtiments de standing moyen (logement économique), pour proposer des variantes de meilleure qualité de confort au moindre coût (énergétique et économique).

Mots clés: Simulation thermique - confort thermique - Variation paramétrique - Combinaison des variations paramétriques - Optimisation technico-économique.

1 INTRODUCTION

Un projet de réglementation thermique et énergétique des bâtiments est en cours de préparation pour trois pays du Maghreb (Tunisie, Algérie et Maroc).

L'originalité de ce travail réside dans deux aspects [1] :

- La majorité des logements tunisiens ne sont pas équipés de chauffage et (ou) de climatisation pour assurer une température fixe. Dans ce cas, l'évaluation des performances sera basée sur des critères thermiques [2]. Si le logement est conditionné, les recherches seront basées sur une évaluation énergétique [3, 4].
- Les caractéristiques climatiques de la Tunisie induisent des besoins de chauffage l'hiver et de rafraîchissement l'été. Une conception architecturale adéquate doit veiller à se concilier le climat durant les deux saisons; l'évaluation des performances doit également être faite dans ces deux situations.

2 METHODOLOGIE ET DESCRIPTION DU LOGEMENT DE REFERENCE

2.1 Outil de travail et critère de performance

L'étude des performances thermiques et énergétiques d'un logement nécessite le recours à une simulation du comportement thermique en régime dynamique. Nous avons utilisé pour cela le logiciel TRNSYS [5]. En entrée du logiciel, nous avons introduit la description géométrique et thermo-physique du logement économique, d'après des plans réels. Nous avons également utilisé les données d'une année météorologique réelle, qui a été extraite d'une base de données comme étant la plus typique.

Le critère d'évaluation de la qualité thermique du bâtiment est basée sur la consommation d'énergie ainsi que sur le coût total qui inclut le prix de la construction, le prix de l'équipement de chauffage, et le prix de l'énergie consommée calculé sur 30 ans.

2.2 Logement de référence

Le logement de référence est un appartement dans un immeuble (RDC + 3 étages), comprenant deux appartements par palier, symétrique par rapport à un axe. Chaque appartement présente une surface couverte de 80 m². La surface des vitrages sud représente 18 % de la surface de la façade. Les murs extérieurs sont en double cloison avec lame d'air (30 cm d'épaisseur). La toiture et le plancher intermédiaire sont en dalle en hourdis. Les comportements thermique et énergétique de l'appartement en niveau intermédiaire (en contact avec un logement similaire) et l'appartement en niveau supérieur (en contact avec l'extérieur) ont été étudiés.

2.3 Stratégie d'occupation

Nous avons choisi les conditions d'occupation les plus réalistes. Nous avons considéré personnes habitant le logement économique. *L'énergie métabolique* est prise égale à 1.2 met la journée et 0.7 met la nuit. *La résistance thermique des vêtements* durant la saison d'hiver est de 1 clo le jour et de 3 clo la nuit; et durant la saison d'été, de 0.5 clo le jour et de 1 clo la nuit. Durant l'hiver, les vitres sont fermées et les volets sont ouverts le jour; la nuit, les vitres et les volets sont fermés. Durant l'été, les vitres et les volets sont fermés le jour, et la nuit les vitres et les volets sont ouverts lorsque les occupants ont une sensation de chaud ($PMV \geq 0.3$) [6]. *La ventilation* est considérée constante durant l'hiver et égale à 2.25 volumes/heure; par contre l'été, nous considérons un renouvellement d'air variable: 2.25 volumes/heure la journée et 12.25 la nuit lorsque le $PMV \geq 0.3$. *Les apports gratuits* dus aux équipements ménagers (réfrigérateur, cuisinière et TV) ont été considérés, ainsi que les apports dus à l'éclairage artificiel (200 W/appartement).

2.4 Equipements

Les équipements de chauffage considérés pour le logement économique sont : Equipement léger (c'est le cas d'un chauffage intermittent) ou équipement lourd (c'est le cas d'un chauffage continu).

- Equipement léger : on utilise deux radiateurs électriques à bain d'huile d'une puissance de 1 kW chacun qui fonctionnent de 18 h à 22 h. La régulation se fait sur le PMV de telle manière à avoir une note de confort qui soit toujours supérieure à 80 %.

- Equipement lourd : on considère un chauffage continu au gaz, au fuel ou des convecteurs électriques. Pour cela la régulation est supposée parfaite, et la température de consigne est prise égale à 20 °C.

3. PERFORMANCES DU LOGEMENT DE REFERENCE

Le tableau 1 donne, pour les deux niveaux du logement de référence, la consommation énergétique pour les deux types de chauffage (continu et intermittent), suivie de la note moyenne de confort durant les heures froides (Nfr) en cas de chauffage intermittent.

Tableau 1: Performances du logement de référence

Niveau	Chauffage continu	Chauffage intermittent	
	C (kWh/m ²)	C (kWh/m ²)	Nfr
Niveau supérieur	77.2	17.4	75.0
Niveau intermédiaire	59.0	17.6	76.6

Cas du chauffage continu : la consommation énergétique du niveau supérieur est plus élevée que celle du niveau intermédiaire. En effet, la température intérieure est constante et les pertes de chaleur à travers la toiture de l'étage supérieur sont supérieures au gain de chaleur lié à l'irradiation solaire absorbée par la toiture.

Cas du chauffage intermittent : les besoins énergétiques des deux niveaux sont proches, et les notes moyennes durant les heures froides sont acceptables, avec un niveau de confort légèrement supérieur pour le niveau intermédiaire. En effet, la puissance du chauffage intermittent et son horaire de mise en marche sont limités; de plus, nous avons supposé une régulation selon le PMV. Pour l'ensemble de ces raisons, le confort n'est pas forcément assuré de manière permanente, et les déperditions de chaleur à travers la toiture sont importantes.

4. INFLUENCE DES SCENARIOS ENERGETIQUES ET ECONOMIQUES DES VARIANTES

4.1 Variantes améliorées

Nous avons essayé d'introduire des éléments d'amélioration pour les deux niveaux du logement de standing en considérant une orientation sud pour la façade principale [7]. Les quatre éléments d'amélioration considérés sont :

- augmentation de la surface vitrée sud (V) : 60 % de la surface de cette façade.
- augmentation de l'inertie du plancher (PI) : 15 cm de béton à la place de la dalle en hourdis.
- isolation de la toiture (T) : polystyrène expansé de 5 cm.
- isolation des murs extérieurs (M) : polystyrène expansé de 4 cm au lieu de la lame d'air.

Toutes les combinaisons possibles des différents éléments d'amélioration sont étudiées, tout en respectant la contrainte d'un surcoût ne dépassant pas 3.5 % du coût du logement de référence pour les cinq régions considérées.

Le logement économique ne sera pas conditionné en saison chaude; il convient donc de préciser que les variantes retenues pour notre étude du confort d'hiver en cas d'équipements, sont celles qui présentent un confort d'été globalement acceptable. Cela revient à écarter toutes les combinaisons des variantes où la toiture n'est pas isolée [7].

Chacune des variantes retenue pour notre présent travail fera l'objet de deux simulations : la première avec chauffage intermittent et la deuxième avec chauffage continu.

Dans ce papier, nous présentons uniquement les résultats obtenus du niveau supérieur. Dans les tableaux qui suivent, chaque variante est identifiée par un nombre correspondant à la nomenclature suivante :

V20 : Variante de référence

V30 : Variante avec [T]

V31 : Variante avec [T + V]

V32 : Variante avec [T + Pl]

V33 : Variante avec [T + V + Pl]

V50 : Variante avec [M + T]

V51 : Variante avec [M + T + V]

V52 : Variante avec [M + T + Pl]

V53 : Variante avec [M + T + V + Pl]

4.2 Rentabilité économique

Nous allons comparer les différentes variantes en se référant à tous les coûts induits par les variations suivantes :

- le surcoût de construction.
- le coût des équipements utilisés.
- les coûts de la consommation énergétique, calculés sur 30 ans, en tenant compte de l'enchérissement de l'énergie et de l'actualisation des sommes.

Nous avons considéré un taux d'enchérissement de l'énergie (désigné par taux d'inflation) de 5.5 %, et un taux d'actualisation de 10 %. A titre comparatif et afin de voir l'influence des prix, nous avons également considéré un autre scénario, à savoir un taux d'inflation de 10 % égal au taux d'actualisation.

Nous allons présenter l'étude économique à Tunis du logement économique pour les deux types de chauffage (intermittent et continu) et pour l'orientation sud de la façade principale.

4.2.1 Cas du chauffage intermittent

L'étude des performances thermiques et énergétiques du niveau supérieur du logement économique montre que seules les variantes avec vitrages agrandis présentent un confort de qualité durant les 24 heures [1, 7]. La note moyenne durant les heures froides est supérieure à 82 %. La comparaison économique ne portera donc que sur ces variantes.

Le tableau 2 indique pour chacune des variantes considérées de l'étude économique, le surcoût de la construction, le coût actualisé de la consommation énergétique sur 30 ans ($i = 5.5\%$), ainsi que le coût total, le coût des équipements étant de 0.500 kDT. En plus de ces résultats économiques, nous avons ajouté la note moyenne de confort durant les heures froides.

Tableau 2: Comparaison économique en cas de chauffage intermittent

Description Variante	Nfr	Surcoût		Coût énergie sur 30 ans	Coût total	Rang
		(kDT)	(%)			
T + V	83.8	0.880	2.9	1.602	2982	1
M + T + V	85.6	1.047	3.5	1.509	3056	2
M + T + V+Pl	86.5	1.811	6.0	1.484	3795	3
T + V + Pl	84.6	1.644	5.5	1.653	3797	4

L'analyse du tableau 2 montre que la variante la plus intéressante est celle avec toiture isolée et vitrages agrandis (T + V). La double cloison avec lame d'air est légèrement meilleure que la paroi avec isolant. En effet, le surcoût de construction de l'isolant ne compense pas les économies de la consommation énergétiques.

4.2.2 Cas du chauffage continu

Nous avons considéré que l'énergie de chauffage était alternativement produite par :

- une installation de chauffage au gaz
- une installation de chauffage au fuel
- une installation de chauffage électrique avec des équipements incorporés dans toutes les pièces.

Pour cela nous présentons, pour chaque variante retenue de l'étage supérieur du logement économique, le coût global lié à chacune des trois énergies de chauffage considérées, qui est la somme des trois composantes mentionnées plus haut.

4.2.2.1 Rentabilité économique pour un taux d'enchérissement égal à 5.5 %

Les résultats du calcul économique pour un taux d'enchérissement de l'énergie égal à 5.5 % sont donnés par le tableau 3. Les variantes sont classées dans l'ordre croissant du coût global en cas de chauffage au gaz (énergie la plus couramment utilisée).

L'analyse du tableau 3 révèle certaines remarques pertinentes :

- La variante la plus rentable est celle qui présente des murs et toiture isolés en présence d'un chauffage au gaz. Par contre, dans le cas d'un chauffage au fuel ou d'un chauffage électrique la variante avec grands vitrages et murs isolés est la plus rentable.
- L'augmentation de l'inertie du plancher n'est pas rentable.
- L'agrandissement des vitrages sud [T + V] n'est rentable qu'en présence d'un chauffage au fuel et d'un chauffage électrique.
- La décision d'isoler la toiture est pertinente, quelque soit le type de chauffage pour ce scénario économique.
- L'isolation des murs extérieurs est rentable indépendamment du mode de chauffage utilisé, lorsque $i = 5.5$ %.
- L'effet des murs isolés en présence de grands vitrages (comparaison des variantes M+ T+ V et T + V) est toujours favorable. Par contre, l'agrandissement des vitrages en présence des murs isolés (comparaison des variantes M + T et M + T+ V) n'est rentable que dans le cas d'un chauffage au fuel et ou à l'électricité.

Tableau 3: Calcul économique en cas de chauffage continu et pour $i = 5.5$ %

Description des variantes	Coût global (kDT)			
	Gaz	Rang (gaz)	Fuel	Electricité
M + T	5 215	1	6 869	7 548
M + T + V	5 352	2	6 487	6 145
T	5 414	3	7 289	8 691
T + V	5 423	4	6 735	6 808
Référence	5 673	5	7 670	9 566
M + T + Pl	5 972	6	7 618	8 287
M + T + V + Pl	6 098	7	7 221	6 849
T + Pl	6 171	8	8 038	9 431
T + V + Pl	6 171	8	7 474	7 516

4.3.2.2 Rentabilité économique pour un taux d'enchérissement égal à 10 %

Le tableau 4 donne les mêmes résultats que le tableau 3, et ceci pour un taux d'enchérissement de l'énergie égal au taux d'actualisation ($i = 10\%$).

Tableau 4: Calcul économique en cas de chauffage continu et pour $i = 10\%$

Description des variantes	Coût global (kDT)			
	Gaz	Rang (gaz)	Fuel	Electricité
M + T + V	6 146	1	7 861	8 908
T + V	6 405	2	8 437	10 226
M + T	6 562	3	9 207	12 238
M + T + V + Pl	6 877	4	8 571	9 564
T	6 997	5	10 037	14 205
T + V + Pl	7 140	6	9 156	10 890
M + T + Pl	7 314	7	9 944	12 958
Référence	7 389	8	10 647	15 541
T + Pl	7 749	8	10 775	14 926

Pour ce scénario économique, la variante qui présente des vitrages agrandis avec isolation des murs et de la toiture est la plus rentable économiquement pour les trois modes de chauffage considérés.

Les mêmes remarques et les mêmes constatations sont observées que dans le cas où le taux d'enchérissement de l'énergie est égal à 5.5 %, sauf que pour ce scénario ($i = 10\%$) l'agrandissement des surfaces vitrées sud seul ou en présence des murs isolés devient un élément rentable en présence d'un chauffage au gaz.

5. CONCLUSION

Le présent travail concernant l'analyse des performances économiques des logements chauffés et non climatisés tel que le logement économique mène aux conclusions suivantes :

- L'isolation de la toiture est nécessaire pour le logement économique, étant donné que ce type de logement ne sera pas climatisé l'été.
- L'agrandissement des vitrages sud et l'isolation des murs participent à une grande part des besoins de chauffage et sont rentables économiquement. En cas de chauffage intermittent, cette combinaison offre un niveau de confort largement satisfaisant durant toute la journée. Un chauffage continu n'est donc pas nécessaire dans ce cas.

REMERCIEMENTS

Une partie de ce travail a été effectué dans le cadre de la préparation d'une réglementation thermique maghrébine des bâtiments, projet coordonné par l'Agence Nationale des Energies Renouvelables (ANER). Les auteurs expriment leur gratitude au Secrétariat d'Etat à la Recherche Scientifique et Technologique et à la DGXVII de l'Union Européenne qui ont apporté leur soutien moral et financier au projet, ainsi qu'aux responsables de l'ANER, et aux experts tunisiens et européens pour les discussions enrichissantes autour de ce travail.

REFERENCES

- [1] N. Ghrab-Morcos, A. Ouertani et L. Gharbi, '*Etude du Comportement Thermique de l'Habitat pour la Mise en Place d'une Réglementation dans les Pays du Maghreb*', Rapport Final du Contrat ANER-ENIT, Tunis, Juillet 2000.
- [2] A. Ouertani, N. Ghrab-Morcos, '*The Effect of the Regional Thermal Comfort in Tunisia*'. *Renewable Energy*, Vol.1, pp. 714–717, Juillet 2000.
- [3] A. Ouertani, N. Ghrab-Morcos, '*Conception Améliorée des Logements Tunisiens pour Minimiser la Consommation de Chauffage*', Thermique des Systèmes à Température Modérée, IV Colloque Inter-Universitaire Franco-Québécois, pp. 267-272, Montréal, Canada, 1999.
- [4] A. Ouertani, N. Ghrab-Morcos, '*Confort Thermique Annuel et Maîtrise de l'Energie*', Journées Internationales de Thermique (JITH99), Vol. 4, pp. 107–113, Bruxelles, Belgique, 1994.
- [5] TRNSYS Group, '*A Transient System Simulation Program TRNSYS (Version 14.2)*', Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, 1996.
- [6] P.O. Faanger, '*Thermal Comfort*', R. E. Kreieger, Florida, 1992.
- [7] A. Ouertani, '*Optimisation Thermique et Energétique des Bâtiments , Considérations Technico-Economiques et Socio-Environnementales: Application aux Logements Tunisiens*', Thèse de Doctorat, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Avril 2001.