



Étude du confort thermique dans les constructions en béton préfabriqué

M'hand DEHMOUS¹

Nacer LAMROUS²

¹ Département d'architecture, université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie

² Laboratoire LMSE, université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie

mhandehmous@hotmail.fr -- nacer.lamrous@gmail.com

Résumé : Particulièrement consacrée à l'évaluation du confort thermique dans les constructions industrialisées à parois en béton préfabriqué, cette étude vise globalement à élargir la réflexion autour de la question du confort thermique dans le bâtiment. Avec comme exemple d'étude l'ex centre biomédical de Tizi Ouzou en Algérie, nous nous sommes penchés sur le cas de leur inconfort en localisant dans l'enveloppe les points de rupture de l'équilibre thermique suite à un travail in-situ et à partir de bilans thermiques exhaustifs. Une analyse complémentaire est menée à l'aide de l'outil numérique, Ecotect Analysis 2011, qui simule le climat à l'intérieur et qui a finalement montré que ces techniques de construction présentent des potentialités avantageuses pour la région. Par contre, les dimensions et le poids importants des panneaux de façade en béton préfabriqué posent problème. D'où l'idée d'optimiser dans les conditions du climat local leurs performances thermiques en s'attendant à réussir le pari de réduire leur épaisseur par intégration de matériaux à changement de phase.

Mots clés : Industrialisation du bâtiment, béton préfabriqué, confort thermique, bilan thermique, simulation thermique.

1. La préfabrication du bâti et la problématique du confort thermique

Pour des raisons différentes, un grand besoin en logements et établissements publics divers s'est manifesté durant la seconde moitié du siècle dernier dans certaines régions du Monde et notamment dans les pays en développement comme l'Algérie. La gravité de situation a conduit à la mise en œuvre de solutions industrielles et a frayé le passage à des procédés de construction industriels rapides et efficaces au détriment des procédés traditionnels déjà en place.

Dès la fin des années cinquante, l'Algérie, encore sous colonisation française, a bénéficié de l'implantation de deux usines de préfabrication à Constantine et à Philippeville (actuelle Skikda) par l'entremise des constructeurs Camus et Rossi [1]. Dans les années soixante-dix à quatre-vingts, le parc algérien a atteint une vingtaine d'unités de préfabrication dont la dernière a été mise en place en 1979 à M'sila. La plupart d'entre elles utilisait des procédés de préfabrication importés des pays de l'Europe occidentale comme Camus, Pascal, Baret, Coopal, Vareco, CSB, Polygon, Gibat... [2]. Cependant, depuis la fin des années quatre-vingt, la préfabrication a laissé place à des techniques moins industrialisées utilisant une structure ponctuelle en béton armé, des planchers en hourdis et des parois en briques creuses. La tenue d'assises nationales sur la réhabilitation du bâtiment préfabriqué en 2014, a consacré la relance de ce procédé avec la décision de créer cinq grandes unités de préfabrication sur le territoire national. Ainsi, le 5 décembre 2015, la première usine est officiellement entrée en production à Alger et marque la (re)naissance de la préfabrication du bâtiment en Algérie.

« La préfabrication, remède ou revers ? », cette question est au cœur d'un profond débat scientifique et intellectuel mettant en poigne des professionnels de diverses spécialités et tendances [3]. Si les politiciens en font la solution idoine des problèmes de l'urgence constructive, les architectes et les urbanistes décrivent son esthétique lamentable et l'image inappropriée qu'elle offre aux villes, les économistes y associent avant tout les avantages financiers, tandis que les sociologues débattent de son implication dans l'émergence de fléaux sociaux notamment dans les banlieues...etc. Pour notre part, nous avons centré cette étude autour de l'efficacité énergétique et la qualité thermique de ces constructions. À quel degré les considérations du climat local et du confort thermique résultant sont-elles prises en compte à la conception de ces bâtiments en béton préfabriqué appelés à être érigés dans notre région ? Aujourd'hui, on ne peut éluder la question de la performance thermique ni celle de l'intégration climatique de ces bâtisses d'autant plus que les exigences en terme de confort sont en perpétuelle croissances et de plus en plus sévères.

2. Les contextes global et immédiat de l'étude

Tizi-Ouzou est une ville du nord algérien, située à une centaine de kilomètres à l'Est de la capitale Alger et une quarantaine de kilomètres des côtes méditerranéennes. Le climat de la région de Tizi-Ouzou est de type méditerranéen et se caractérise par un hiver frais et pluvieux et un été très chaud. Selon les relevés des dix dernières années, les températures mensuelles moyennes les plus basses sont enregistrées durant les mois de janvier et février tandis que les mois de juillet et août sont les plus chauds [4].

A l'image d'une grande partie des villes nord-africaines, Tizi-Ouzou est le résultat de la juxtaposition de bâtiments hérités de l'époque coloniale essentiellement française (1830-1962), et de bâtiments érigés après l'indépendance (1962) au cours des plans de développement successifs qu'a connu le pays. Durant les années soixante-dix et quatre-vingt, un nombre important de cités d'habitation et d'établissements publics sont réalisés avec des procédés de préfabrication importés d'Europe. L'ex centre Biomédical est à Tizi-Ouzou sans doute l'un des meilleurs exemples des constructions en béton préfabriqué. Les façades de ce bâtiment, réalisé entre 1982 et 1986 par l'entreprise française PASCAL, sont constituées de panneaux en béton préfabriqué, protégés par une couche isolante particulièrement bien élaborée.

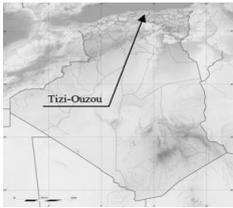


Figure 1 :

Tizi-Ouzou à l'échelle nationale.



Figure 2 :

L'établissement préfabriqué de l'ex Centre Biomédical.



Figure 3 :

Panneaux de façade préfabriqués.

3. Méthodologie et résultats

3.1 Mesures de température et d'humidité in-situ

Dans une première étape de l'évaluation du confort thermique, nous avons mené une campagne de mesures de température et d'humidité in-situ durant les deux journées du 25 Janvier 2014 et du 16 Août 2014. Les deux salles retenues pour cette campagne se situent à l'étage d'un bloc en R+1 bénéficiant d'une orientation Nord/Sud et d'une exposition sans masques directs. L'objectif est d'établir un contact prospectif et de mettre en évidence les performances et carences de l'enveloppe de ces locaux.

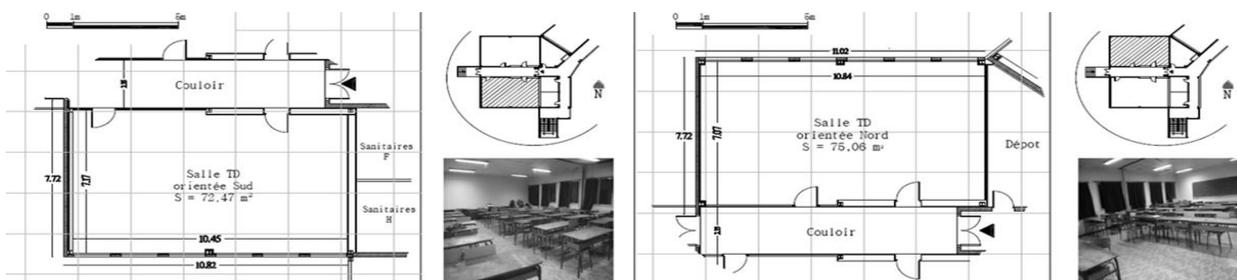


Figure 4 : Vues en plan des salles étudiées.

3.1.1 Résultats pour la période d'hiver

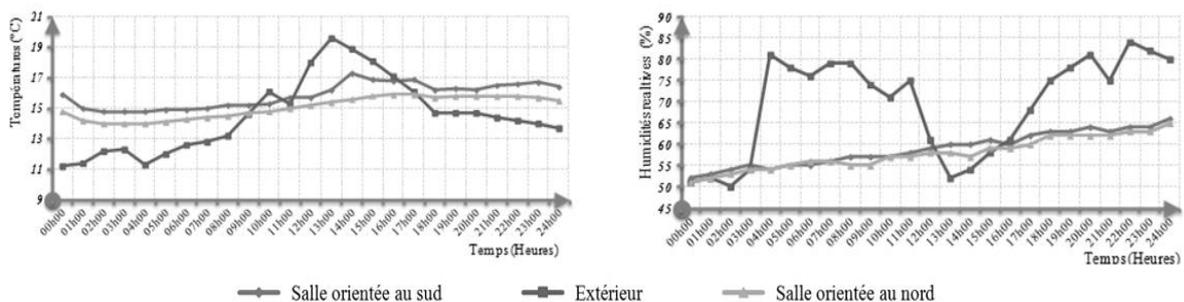


Figure 5 : Températures et humidités en hiver (25/01/2014).

L'allure des relevés de la figure 5 laisse apparaître une évolution lente et régulière de la température à l'intérieur des salles malgré de grandes variations en parallèle des températures à l'extérieur ; ce résultat peut s'interpréter comme un comportement thermique satisfaisant de l'enveloppe des locaux. L'isolation efficace de ces parois latérales et celle de la toiture constituée d'une double couche de laine de verre et d'une lame d'air de grande épaisseur, confère à ce bâtiment une bonne tenue thermique en réduisant les déperditions calorifiques vers l'extérieur ; les courbes de température à l'intérieur des salles durant la saison hivernale sont bien écrêtées et dépourvues des pics de froid externes.

Par ailleurs les températures intérieures évoluent sans déphasage notable avec les conditions extérieures. Ceci démontre la faible inertie thermique globale du bâtiment : elle s'explique par la légèreté de sa toiture malgré la masse importante des parois alourdies par le béton.

Les courbes d'humidité représentées sur cette figure 5 montrent que leurs valeurs ne subissent pas de grandes variations à l'intérieur des salles. Elles demeurent dans la zone de confort tout au long de la journée ; ce résultat est une conséquence directe des faibles variations de la température à l'intérieur des salles et découle ainsi en l'absence de source interne d'humidité de la bonne isolation du bâtiment.

3.1.2 Résultats pour la période d'été

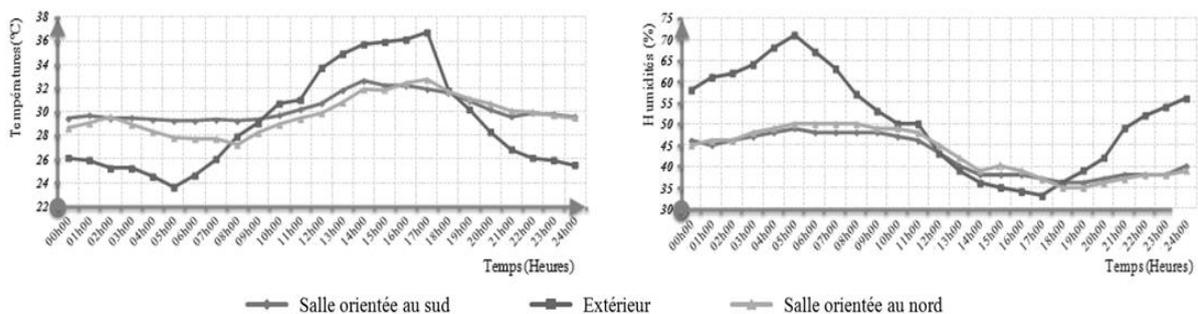


Figure 6 : Températures et humidités en été (16/08/2014).

Contrairement à la période hivernale où les températures observées à l'intérieur des salles sont assez proches de la température de confort, celles que nous avons relevées en saison estivale sont hautes et demeurent éloignées des températures de confort exigées dans ce type d'établissement. En effet, nous avons relevé à l'intérieur des salles une température maximale de 33 C° environ à 36.7 C° en extérieur. Ce qui oblige dans ce cas de figure au recours à la climatisation durant les périodes de grandes chaleurs.

Le faible déphasage thermique avec le milieu extérieur en régime estival confirme la faiblesse de l'inertie thermique de l'enveloppe. Bien que bonne, l'isolation de ce bâtiment ne suffit pas à assurer des températures confortables à l'intérieur des locaux en été, notamment aux moments les plus chauds de la journée. En période estivale, les apports calorifiques dans un bâtiment sont d'origine multiple comme les rayons solaires, les occupants ou encore l'éclairage. Les parois opaques ou les surfaces vitrées, sont entre autres, les lieux de transit de la chaleur. Il est, par conséquent, toujours difficile de distinguer l'origine des surchauffes d'un bâtiment avant d'avoir procédé à l'établissement d'un bilan thermique exhaustif.

3.2 Bilans énergétiques et vérification réglementaire

Dans cette seconde phase de l'étude, nous nous intéressons à la composition de l'enveloppe de ce bâtiment et nous allons évaluer son niveau de performances thermiques, notamment par la vérification et la comparaison par rapport aux normes préconisées par la réglementation thermique algérienne. D'un autre côté, nous tenterons de trouver des explications aux résultats de l'approche expérimentale, en situant les faiblesses de l'enveloppe et les parties à renforcer pour améliorer éventuellement le confort thermique des salles. Pour cela, la part de responsabilité des éléments de l'enveloppe dans les fuites thermiques du bâtiment est chiffrée pour chacun d'entre eux. Pour l'établissement de ces bilans, nous nous sommes appuyés sur trois documents principaux ; les documents techniques réglementaires C 3-2 et C 3-4 [5] et le Manuel Carrier [6], trois références qui offrent les données et les formules nécessaires.

3.2.1 Résultats pour la période d'hiver

Tableau 1 : Déperditions calorifiques en période d'hiver.

DEPERDITIONS	COMPARTIMENT	VALEURS (W)	
		Salle nord	Salle sud
TRANSMISSIONS SURFACIQUES	Murs ext. préfabriqués	520, 21	480, 07
	Murs int. et portes	348, 09	330, 67
	Fenêtres	1425, 55	1 166, 36
	Toiture	488, 12	480, 09
	SOUS-TOTAL 01	2 781, 97	2 457, 19
INFILTRATIONS	Fenêtres	634, 00	475, 50
	SOUS-TOTAL 02	634, 00	475, 50
	TOTAL PAR SALLE	3 415, 97	2 932, 69
	TOTAL	6 348, 66	
VERIFICATION REGLEMENTAIRE	DEPERDITIONS		
	Transmission vers l'extérieur	2 433, 88	2 126, 52
	DEPERDITIONS de référence	3 307, 90	3 276, 39

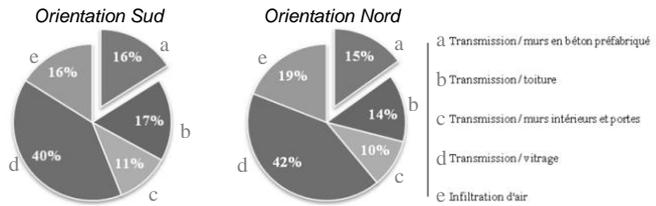


Figure 7 : Déperditions calorifiques selon les compartiments

La synthèse du bilan thermique consignée dans le tableau 1, montre que les pertes calorifiques par transmission surfacique à travers les murs de façades en panneaux de béton préfabriqué ne représentent finalement que 15 % des déperditions totales en ce qui concerne la salle orientée au nord et 16 % pour la salle orientée au sud. Les fenêtres sont le lieu où se produit la plus grande part des pertes, 42 % pour la salle orientée au nord et 40 % pour la salle orientée au sud.

Ainsi les murs en panneaux de béton préfabriqué utilisés dans cette construction sont de bonne tenue thermique et leur qualité ne ferait pas l'objet d'amélioration particulière dans l'éventualité de la réhabilitation thermique de ces locaux. La vérification réglementaire -qui ne concerne que les déperditions par transmission à travers les murs communicants avec l'extérieur- montre que les fuites thermiques estimées pour cette construction sont inférieures d'environ 30 % aux déperditions de références recommandées par le D.T.R. C 3-2, soit 2 433, 88 W pour la salle orientée au nord, et 2 126, 52 W pour la salle orientée au sud contre des déperditions de référence d'environ 3 300 W pour chacune des salles.

3.2.2 Résultats pour la période d'été

Tableau 2 : Apports calorifiques en période d'été.

APPORTS / ENVIRONNEMENT	COMPARTIMENT	VALEURS (Kcal/h)	
		Salle nord	Salle sud
EXTERIEUR	Murs ext préfabriqués	342, 56	431, 63
	Toiture	583, 68	583, 68
	Ensoleillement/Vitrage	775, 97	2 735, 85
	Transmission / Vitrage	586, 58	586, 58
	Infiltrations	372, 96	372, 96
	SOUS-TOTAL 01	2 661, 75	4 710, 70
INTERIEUR	Occupants	5 883, 34	5 883, 34
	SOUS-TOTAL 02	5 883, 34	5 883, 34
	TOTAL PAR SALLE	8 545, 09	10 594, 04
	TOTAL	19 139, 13	
VERIFICATION REGLEMENTAIRE	APPORTS		
	Parois vitrées et opaques	1 700, 38 W	1 921, 78 W
	APPORTS de référence	2 359, 30 W	2 939, 90 W

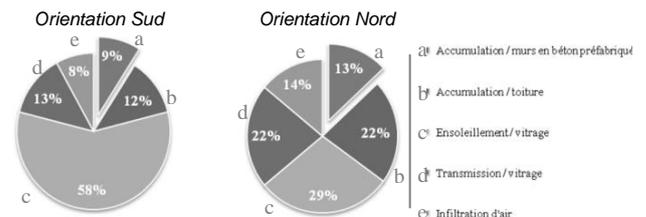


Figure 8 : Apports calorifiques selon les compartiments.

Le tableau ci-dessus consigne les valeurs des apports calorifiques qui affectent le climat interne des locaux en saison estivale. Notons que les apports internes, indépendants du type de construction, ne sont pas comptabilisés dans ce bilan sachant qu'ils n'ont pas d'incidence directe sur l'étude du comportement thermique des constructions en murs préfabriqués. Justement les apports par accumulation à travers les murs de façades ne représentent finalement que 13 % seulement des apports calorifiques totaux pour la salle orientée au nord et 9 % pour la salle orientée au sud. Les apports thermiques dus aux murs de façades constitués de panneaux en béton préfabriqué sont relativement réduits et ne requièrent pas particulièrement de traitement.

C'est par les fenêtres que la plus grande partie de la chaleur entre dans le bâtiment : 51 % pour la salle orientée au nord et 71 % pour la salle sud. En été, elles constituent le point faible de la résistance thermique de ces locaux d'abord par leur nombre important (six par local) et surtout par leur qualité : absence de dispositifs de protection appropriée comme le double vitrage, inexistence de brise-soleil ou encore d'écran intérieur. Elles appellent en priorité à une amélioration de leur qualité thermique.

Néanmoins, la vérification réglementaire indique un résultat positif avec des apports totaux de l'ordre de 3 622 W contre 5 299 W, soit d'environ 30 % de moins que les apports de références.

3.3 Comparaison par simulation numérique

Dans cette dernière étape de nos investigations, nous avons fait appel au logiciel Ecotect analysis 2011 pour simuler le comportement de notre établissement afin de valider d'abord les conclusions tirées des bilans thermiques globaux et compléter ce travail en menant une étude comparative de la qualité du confort thermique de cet établissement avec celles d'un bâtiment doté de murs en béton préfabriqué comportant une isolation intégrée ou encore avec celles d'un mur classique formé de doubles parois de briques. Les simulations sont effectuées sur une salle de forme rectangulaire de 10.00 m de long, 7.00 m de large et 3.00 m de hauteur. La surface habitable est de 70,00 m² pour un volume de 210,00 m³, et comprend six ouvertures de 1.2m x 1.5m chacune, positionnées sur la façade sud. Quatre cas distincts sont envisagés :

1. Murs en briques à double parois, toiture et planchers en corps creux et béton ;
2. Murs en béton préfabriqué à isolation en polystyrène intégrée au cœur du panneau et toiture en béton ;
3. Murs en béton préfabriqué isolés de l'intérieur avec une couche de laine de verre et toiture en béton ;
4. Murs en béton préfabriqué isolés de l'intérieur avec de la laine de verre et toiture légère composée de faux plafonds et deux couches de laines de verre (structure identique à celle du centre biomédical).

Les données complémentaires nécessaires sont consignées dans le tableau 3 ci-après.

Tableau 3 : Caractéristiques des modèles simulés. M : Murs T : Toiture

Modèles de construction	Épaisseur <i>e</i> (m)		Masse surfacique <i>M_s</i> (Kg/m ²)		Conductivité thermique <i>λ</i> (W/m. °C)		Diffusivité thermique <i>a</i> (m ² /s.10 ⁻⁸)		Effusivité thermique <i>E_f</i> (W. s ^{1/2} /m ² . °C)		Résistance thermique <i>R</i> (m ² . °C/W)		<i>m . C_p</i> (KJ/°C)	
	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
Modèle 1	0.29	0.27	239	415	0.44	1.16	55.48	70,21	590.69	1384.3	0.654	0.232	20974	31223
											<i>R_{eq}</i> = 0.367		<i>m . C_{p,eq}</i> = 51 925	
Modèle 2	0.20	0.17	402	375	0.14	1.06	6.45	44.73	550.97	1584.85	1.420	0.160	39552	28198
											<i>R_{eq}</i> = 0.324		<i>m . C_{p,eq}</i> = 67 724	
Modèle 3	0.18	0.17	311	375	0.13	1.06	7.09	44.73	487.88	1584.85	1.380	0.160	30065	28198
											<i>R_{eq}</i> = 0.322		<i>m . C_{p,eq}</i> = 58 254	
Modèle 4	0.18	0.52	311	49	0.13	0.183	7.09	1619.5	487.88	45.47	1.380	2.842	30065	411
											<i>R_{eq}</i> = 1.768		<i>m . C_{p,eq}</i> = 30 381	

Tableau 4 : Caractéristiques thermo-physiques des matériaux.

Matériaux	Conductivité thermique <i>λ</i> (W/m. °C)	Masse volumique <i>ρ</i> (Kg/m ³)	Capacité thermique <i>C</i> (J/kg. °C)
Panneau de béton armé	1,75	2500	1080
laine de verre	0,039	40	1030
Plaques de plâtre BA10	0,35	900	400
Faux plafonds (cartons amiantés)	0,07	375	470
polystyrène	0,03	30	1400
Carreaux de carrelage	2,10	2200	936
Mortier de pose (ciment)	1,40	2200	1080
Enduit en plâtre (Int)	0,35	750	936
Plancher en corps creux	1,45	1450	1080
Forme de pente en gros béton	1,40	2200	1080
Enduit au mortier de ciment (Ext)	1,40	2200	1080
Dalle pleine en béton armé	1,75	2500	1080
Brique creuse	0,48	900	936

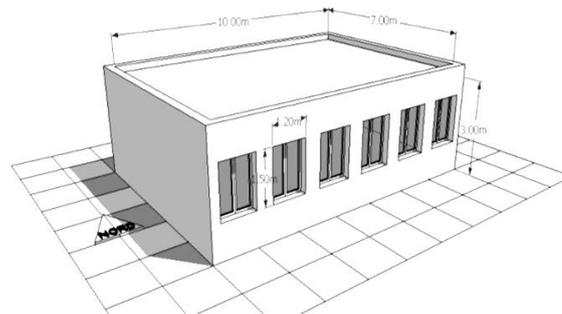


Figure 9 : Bâtiment type simulé.

3.3.1 Résultats pour la période d'hiver

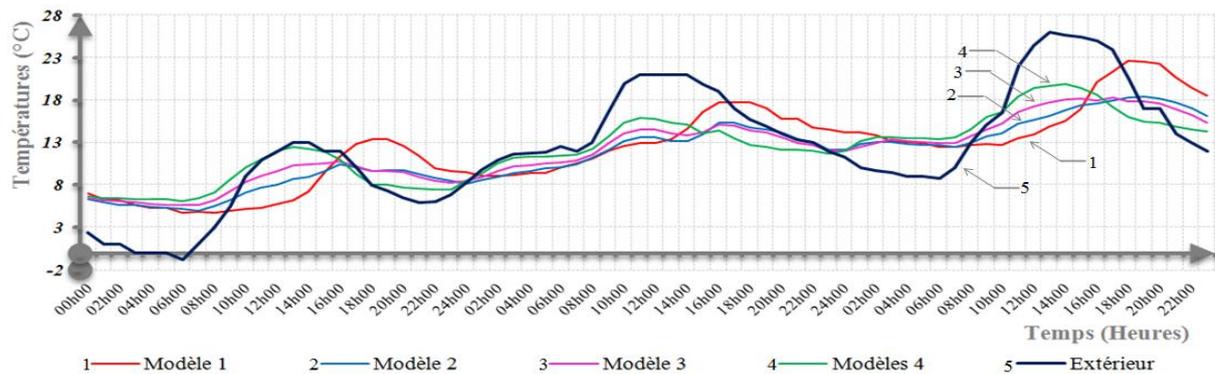


Figure 10 : Synthèse des résultats obtenus pour les quatre modèles simulés en période hivernale.

Les simulations sont menées sur trois journées consécutives choisies au cœur de la saison hivernale. A partir de la figure 10, nous déduisons que les bâtiments érigés en parois de briques creuses et plancher en corps creux (modèle 1) sont ceux qui présentent le plus important déphasage. En hiver, l'enveloppe de ce bâtiment emmagasine la chaleur provenant du rayonnement solaire et ne la diffuse vers l'intérieur que vers la fin d'après-midi ou en début de soirée, moments où des établissements comme les administrations, les écoles ou les universités sont inoccupés. Grâce à sa forte inertie thermique, ce type de construction conviendrait éventuellement à une utilisation de type logement. Les modèles 2 et 3, caractérisés également par un déphasage thermique important, sont mieux isolés que le modèle 1, la diffusivité et la conductivité thermiques de l'enveloppe étant meilleures. L'amortissement thermique est ainsi plus important dans ce cas.

Pour les établissements utilisés uniquement durant la journée comme les écoles et les bureaux et principalement en période hivernale, la structure préfabriquée de l'ex centre biomédical (modèle 4) semble bien indiquée. Son faible déphasage thermique -quasiment nul- permet de bénéficier sans délai de la chaleur emmagasinée par les parois vers l'intérieur du bâtiment, au moment même où les lieux sont occupés. Il faut également retenir la bonne qualité d'isolation de cette construction, propriété particulièrement intéressante en hiver car elle permet de cumuler les apports de chaleur diurnes aussi bien externes (apports solaires) qu'internes (occupants et machines). Ce caractère est souligné par l'importance relative de la différence entre la température moyenne extérieure et la température moyenne intérieure.

3.3.2 Résultats pour la période d'été

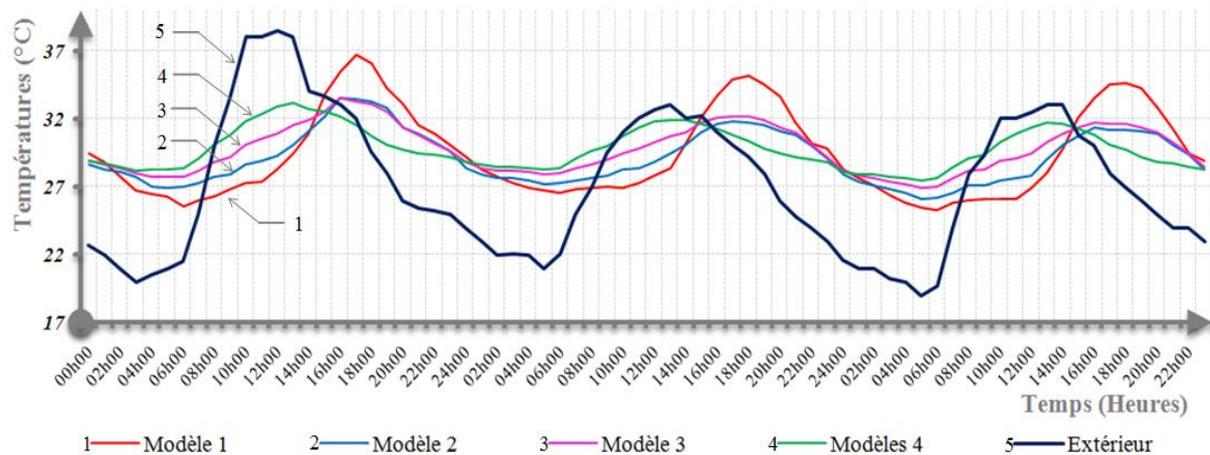


Figure 11 : Synthèse des résultats obtenus pour les quatre modèles simulés en période estivale.

Durant l'été, les constructions en brique creuse semblent avoir en occupation diurne un avantage sur les autres types de construction car ce modèle est celui qui offre les températures intérieures les plus basses entre 2h et 15h du fait de son inertie thermique élevée. Cependant, en fin d'après-midi, les températures intérieures atteignent des niveaux élevés avec un maximum de 36.7 °C. Cela s'explique par l'effet conjugué de l'inertie de l'enveloppe et d'une isolation de moindre qualité (diffusivité plus grande des parois). Ce type de constructions conviendrait à des établissements abritant des locaux administratifs à condition d'améliorer l'isolation de l'enveloppe, et en particulier celle des parois par une isolation du côté intérieur pour éviter de piéger les calories en permettant durant la nuit leur évacuation vers l'extérieur sans grande résistance. En revanche, la structure du centre biomédical (modèle 4) ne conviendrait pas en saison estivale, les températures intérieures calculées entre 7h et 18h sont très élevées pour ce bâtiment et sont largement au dessus du niveau de confort. Un tel problème ne se pose pas vraiment pour les établissements scolaires et universitaires du fait de la vacance estivale de ces locaux.

Les résultats de la simulation montrent que les modèles 2 et 3 à parois et toiture en béton réalisent le meilleur compromis du point de vue du comportement thermique estival. Leur inertie thermique est suffisante pour différer vers la fin de journée les apports calorifiques solaires et leur bonne isolation permet d'amortir les pics de chaleur extrême. Ce qui devrait convenir aux locaux occupés continuellement comme les constructions à usage d'habitation, avec un léger avantage pour le modèle 2 à isolation intégrée.

Conclusion

Les objectifs fixés dans cette étude étaient d'aboutir à un pacte raisonnable entre les aspects quantitatifs et qualitatifs des constructions en béton préfabriqué, en particulier l'optimisation des conditions de confort thermique et la réduction de l'empreinte énergétique dans le souci du développement durable et de promotion de l'architecture bioclimatique et des énergies renouvelables. Nous avons pu conclure que ces constructions possèdent un potentiel thermique conséquent. En effet, les constructions en béton préfabriqué caractérisées par une fraction volumique de béton élevée au niveau des parois, ont une bonne effusivité combinée à une inertie thermique importante. Avec l'emploi en parallèle d'un dispositif intégré d'isolation, ces constructions peuvent offrir des conditions de confort bien adaptées au climat du Maghreb. Pour parvenir à davantage de qualités en terme de poids, de dimension, d'esthétique architecturale et surtout d'efficacité énergétique, d'autres pistes telles que l'incorporation de super isolant comme les isolant « VIP » ou des matériaux à changement de phase « MCP » sont en cours d'exploration.

Nomenclature

C	Capacité thermique, J/kg. °C
e	Epaisseur, m
M _s	Masse surfacique, Kg/m ²
Ef	Effusivité thermique, W. s ^{1/2} /m ² . °C
R	Résistance thermique, m ² . °C /W
m	Masse, Kg
Hr	Humidité relative, %
T	Température, C°
a	Diffusivité thermique, M ² /s

Lettres grecques

λ	Conductivité thermique, W/m. C°
ρ	Masse volumique, Kg/m ³

Références

- [1] Techniciens et chercheurs du groupe de construction Raymond Camus, *L'habitat et les procédés Camus*, conférence, Athènes, 1960. Diffusé le 02/02/1961, par le C.R.I.C. <https://archive.org/details/LhabitatEtLesProcedesCamusDiversitDesRalisationsMethodes>
- [2] M. DEHMOUS, *Confort thermique dans les constructions en béton préfabriqué : cas de la faculté des sciences médicales de l'université de Tizi-Ouzou*, mémoire de magister, département d'architecture de l'université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2016.
- [3] A. RESENDIZ-VAZQUEZ, *L'industrialisation du bâtiment : Le cas de la préfabrication dans la construction scolaire en France (1951-1973)*, thèse de doctorat, Conservatoire National des Arts et Métiers - Centre d'Histoire des Techniques et de l'Environnement, Paris, 2010.
- [4] Office National de Météorologie (O.N.M), station de Boukhalfa, Tizi-Ouzou.
- [5] C.N.E.R.I.B. (Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées en Bâtiment), *D.T.R. C 3-2, Règles de calcul des déperditions calorifiques et D.T.R. C 3-4, Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments*, Alger, 1998.
- [6] M. CARRIER, *Première partie - bilan thermique*, Carrier international LDT, New York, 1981.