

ALTO Ingénierie

La simulation numérique au cœur de la conception :
notre pratique de l'ingénierie du bâtiment

Murs de Pierres Confinées - Maroc **Optimisation du bâti par STD**

Plan de la présentation

1 – Objet de l'étude et méthodologie

2 - Géométrie

3 - Hypothèses de calcul

4 – Résultats et analyse

5 – Annexe résultats détaillés

6 - Annexe données météorologiques

7 – Annexe calcul de la transmission thermique des parois MPC

1 – Objet de l'étude et méthodologie

L'objet de cette étude est l'optimisation de l'enveloppe des modules MPC pour

- minimiser les consommations de chauffage et de rafraîchissement,
- ou en l'absence de système de chauffage/rafraîchissement, améliorer le confort thermique des occupants.

Les solutions optimisées sont calibrées pour respecter la réglementation thermique de la construction au Maroc (RTCM).

2 typologies de module sont étudiées : Module logement et module salle de classe

Les simulations thermiques dynamiques sont réalisées avec le logiciel Virtual Environment.

Le module « Macroflo » a été utilisé pour le couplage thermique-aéraulique de manière à prendre en compte les effets de la ventilation naturelle.

L'enveloppe de chaque module a été optimisé en fonction des zones climatiques de la RTCM :

Zone climatique RTCM	Ville représentative	Région
1	Agadir	Région côtière atlantique
2	Tanger	Région côtière méditerranéenne
3	Fès	Région continentale Nord
4	Ifrane	Région montagneuse
5	Marrakech	Région continentale Sud
6	Errachidia	Région désertique saharienne

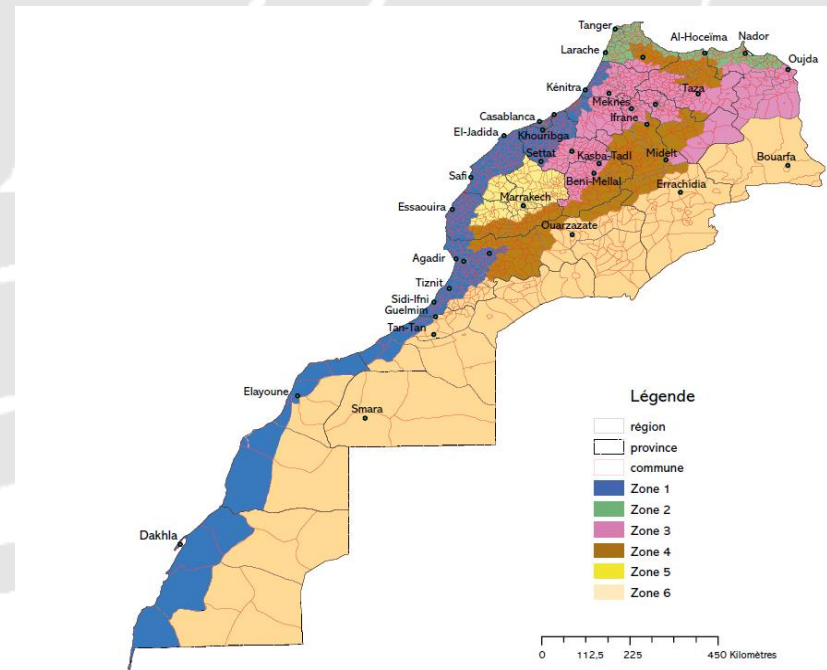


Figure 7. Zonage climatique du Maroc

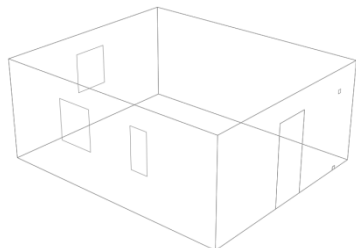
2 – Géométrie

Le tableau suivant présente les caractéristiques géométriques des modules logement et salle de classe ainsi que la prise en compte des infiltrations d'air par l'enveloppe.

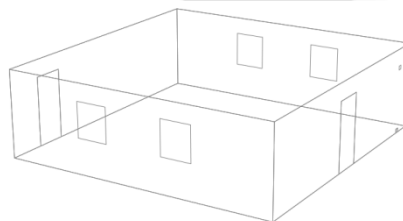
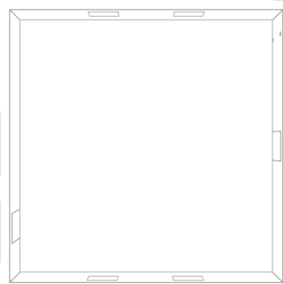
Les modules ont des toitures terrasses, excepté pour la zone montagneuse (zone 4) où les toitures en pente forment un comble perdu entre les pans de tôle et le plancher haut.

	géométrie du module												
	module				toiture à pans <u>région montagneuse uniquement</u>			baies vitrées <u>au nu intérieur</u>			portes		
	dimensions ext	dimensions int	surface utile	hauteur sous plafond	dimensions en plan	pente toiture	hauteur faitage	dimensions	nombre de baies	% de façade vitrée	dimensions	nombre de portes	
logement	6m x 5m	4.8m x 3.8m	18.2 m ²	2.5 m	6.6m x 5.6m	30°	4.1 m	0.90m x 1m	2	5.2%	0.90m x 2m	1	
								0.45m x 1m	1				
classe	8m x 8m	6.8m x 6.8m	46.2 m ²	2.5 m	8.6m x 8.6m	30°	5.0 m	0.90m x 1m	4	5.3%	0.90m x 2m	2	
								0.45m x 1m	0				

Module logement



Module salle de classe

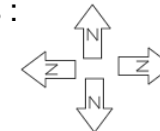


Orientation des modules

Les surfaces vitrées étant faibles et les apports solaires réduits par l'épaisseur des murs MPC, l'orientation du module impacte très peu les résultats :

⇒ **Les solutions d'optimisation proposées sont valables quelque soit l'orientation géographique du module.**

Les résultats présentés correspondent à la moyenne des 4 principales orientations géographiques :



3 – Hypothèses de calcul

Enveloppe des modules

Plusieurs éléments d’enveloppe ont été considérés pour améliorer le comportement thermique du module en fonction de la zone climatique avec pour objectifs :

- la réduction des besoins de chauffage
ou le maintien d’une température intérieure si le module n’est pas chauffé
- la réduction des besoins de rafraîchissement
ou le maintien d’une température intérieure si le module n’est pas rafraîchi
- la déclinaison de solutions techniquement simples, peu onéreuses et respectueuses de l’environnement
- la conformité à la Réglementation Thermique de la Construction au Maroc même si l’habitat individuel rural n’est pas concerné

Plusieurs dispositifs associés aux baies vitrées permettent d’améliorer leur performance thermique en hiver et de limiter les surchauffes en été :

Caractéristiques des parois vitrées

		vitrage seul		baie vitrée		baie vitrée + ventelles/volet/rideau fermés (nuit en hiver) <i>source ThU-3 RT2012</i>		baie vitrée + protection solaire (journée en été)		ventilation naturelle pour limiter les surchauffes
		Ug en W/(m².K)	facteur solaire g_g	Uw en W/(m².K)	facteur solaire g_w	résistance additionnelle ΔR en m².K/W	Uwf en W/(m².K)	position de la protection solaire	facteur solaire g_w+ps	manœuvre des ouvrants
baie type 1	baie ouvrante à la française en simple vitrage									
baie type 2	avec cadre bois fixe portant des ventelles orientables	5.8	0.85	5.0	0.68	0.08	3.6	ventelles à 45°	0.19	ouverture en occupation si Tint > 25°C et Tint < Text - 2°C
baie type 3	avec volet bois plein projetable + rideau laine intérieur					0.30	2.0	ouvert à 45°	0.19	
baie type 4	double baie ouvrante en simple vitrage		0.76	2.4	0.61					
	avec volet bois plein projetable + rideau laine intérieur					0.30	1.4	ouvert à 45°	0.17	

3 – Hypothèses de calcul

Plusieurs niveaux d'isolation sont proposés pour les parois opaques utilisant des matériaux naturels et disponibles au Maroc :

Caractéristiques des parois opaques					
		composition (ext vers int)	épaisseur en mm	U en W/(m².K)	ventilation naturelle pour limiter les surchauffes
mur type 1	MPC non isolé	enduit de chaux	10	1.0	NC
		enduit terre paille	40		
		MPC (grès quartzeux - porosité 25%)	500		
		enduit terre paille	40		
		enduit de chaux	10		
mur type 2	MPC avec isolation extérieure	enduit de chaux	10	0.70	NC
		enduit isolant	70		
		MPC (grès quartzeux - porosité 25%)	500		
		enduit terre paille	40		
		enduit de chaux	10		
mur type 3	MPC avec isolation extérieure et intérieure	enduit de chaux	10	0.53	NC
		enduit isolant	70		
		MPC (grès quartzeux - porosité 25%)	500		
		enduit isolant	70		
		enduit de chaux	10		
mur type 4	MPC avec isolation extérieure et intégrée dans MPC	enduit de chaux	10	0.36	NC
		enduit isolant	70		
		MPC avec copeaux de liège (grès quartzeux - porosité 10%)	500		
		enduit terre paille	40		
		enduit de chaux	10		
	porte pleine en bois			3.5	ouverture en occupation si Tint > 25°C et Tint < Text - 2°C
plancher bas type 1	plancher bas non isolé	chappe à la chaux	30	0.76	NC
		terre	50		
		appareillage de pierres sur lit de sable	200		
plancher bas type 2	plancher bas isolé	chappe à la chaux	30	0.43	NC
		dalle isolante	100		
		appareillage de pierres sur lit de sable	200		
toiture terrasse type 1	toiture terrasse non isolée	enduit de chaux	50	2.5	NC
		terre	150		
		solives et coffrage			
toiture terrasse type 2	toiture terrasse isolée	enduit de chaux	50	0.46	NC
		terre	150		
		isolant fibreux entre solives	100		
toiture à pans type 1	toiture à pans non isolée	toiture bac acier		2.7	ventilation naturelle permanente du comble perdu
		combles perdus ventilés naturellement			
toiture à pans type 2	toiture à pans isolée	plancher en panneau fibragglo	20	0.46	Surface des orifices : 1.2m² en partie basse et 0.9m² en partie haute pour le logement 1.7m² en partie basse et 1.3m² en partie haute pour la classe
		toiture bac acier			
		combles perdus ventilés naturellement			
		isolant fibreux sur plancher	100		
		plancher en panneau fibragglo	20		

Conductivité thermique des couches constituant les parois	
	λ en W/(m.K)
enduit/chappe chaux	0.80
enduit terre paille	0.17
enduit/dalle isolant (béton de liège/chanvre/paille)	0.10
terre	0.75
Pierre grès quartzeux	2.6
isolant fibreux végétal/animal	0.056
copeaux de liège	0.049

3 – Hypothèses de calcul

La perméabilité à l'air de l'enveloppe du module est estimée en considérant une interstice de largeur 1mm tout autour des percements :

	perméabilité à l'air*	
	surface du trou équivalent	rayon du trou équivalent
logement	163 cm ²	7.2 cm
classe	268 cm ²	9.2 cm

Les ponts thermiques liés à la cage métallique des gabions sont intégrés dans la paroi, les autres ponts thermiques sont négligés compte tenu des solutions constructives.

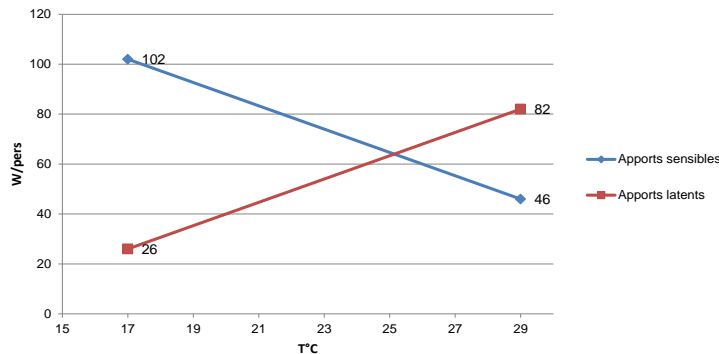
Le renouvellement d'air est naturel (ouverture fenêtres/portes et infiltrations d'air)

Apports internes

Les apports internes suivants ont été considérés dans les calculs :

Apports internes															
	surface	période d'occupation	apports par les occupants				apports par l'éclairage		apports cuisson		apports équipements électriques diffus				
			nbre d'occupants	densité d'occupation	apports par occupant	foisonnement	apports	foisonnement	apports	foisonnement	apports	foisonnement			
logement	18 m ²	permanent	4	4.6 m ² /occ	apports sensibles et latents en fonction de la température - voir graphe ci-dessous	70% jusqu'à 6h 100% de 6h à 8h 50% de 8h à 18h 100% de 18h à 22h 70% à partir de 22h	100 W	5.5 W/m ²	100% de 6h à 22h	150 W	8 W/m ²	100% de 7h à 8h 100% de 11h à 12h 100% de 18h à 20h	50 W	2.7 W/m ²	100% de 6h à 22h
salle de classe	46 m ²	8h-12h et 14h-16h30 LMaJV 8h-12h Me fermeture juil/août/15j sept	40	1.2 m ² /occ	apports sensibles et latents en fonction de la température - voir graphe ci-dessous	100% en occupation	10 W/m ²	100% en occupation							

Apports internes en fonction de la température intérieure



4 – Résultats et analyse

Les résultats par zone climatique sont regroupés dans un tableau.

Plusieurs solutions optimisées sont parfois proposées, les solutions respectant la RTCM sont indiquées.

La méthodologie de calcul de la RTCM concernant l'approche performantielle (calcul des besoins de chauffage et de rafraichissement) n'étant à ce jour pas publiée, une incertitude demeure sur le respect de cette exigence.

SOLUTIONS POUR UN BATI MPC OPTIMISE résultats des simulations thermiques dynamiques																										
<p>U : coefficient de transmission thermique surfacique en W/(m².K) g : facteur solaire de la baie avec protections solaires (sans unité) Bch : besoins de chauffage en kWh/m²/an (20°C en occupation / réduit 16°C en inoccupation (classe) / réduit 12°C en inoccupation week end (classe) - saison de chauffage : 15oct au 15avr) Bfr : besoins de rafraichissement en kWh/m²/an (26°C en occupation / non contrôlé en inoccupation - saison de rafraichissement : toute l'année)</p>																										
Exigences RTCM : approche prescriptive Umax / gmax OU approche performantielle (Bch+Bfr)max		prescription RTCM atteinte		zone 1 Agadir			zone 2 Tanger			zone 3 Fès			zone 4 Ifrane			zone 5 Marrakech					zone 6 Errachidia					
		performance RTCM atteinte		région côtière atlantique			région côtière méditerranéenne			région continentale Nord			région montagneuse			région continentale Sud					région désertique saharienne					
surface logement : 18.2 m²		module logement		module classe		module logement		module classe		module logement		module classe		module logement		module classe		module logement					module classe			
surface classe : 46.2 m²		conformité RTCM		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
		optimisé		optimisé+		optimisé		optimisé		optimisé		optimisé		optimisé		optimisé		optimisé		optimisé						
parois module MPC	type																									
	baie vitrée	b1 - baie simple vitrage	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
		b2 - baie simple vitrage + ventelles		X					X									X								
		b3 - baie simple vitrage + volet bois + rideau feutre						X					X						X			X				
		b4 - double baies simple vitrage + volet bois + rideau feutre											X	X												
	mur	m1 - MPC non isolé	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
		m2 - MPC avec isolation extérieure				X	X			X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X				
		m3 - MPC avec isolation extérieure et intérieure								X	X	X						X	X	X	X	X				
		m4 - MPC avec isolation extérieure et intégrée dans MPC								X	X	X						X	X	X	X	X				
plancher bas	pb1 - plancher bas non isolé (Risolant = 0)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
	pb2 - plancher bas isolé (Risolant = 1.0m².K/W)						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
toiture terrasse	tt1 - toiture terrasse non isolée																X	X	X	X	X					
	tt2 - toiture terrasse isolée	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
toiture à pans	tp1 - toiture à pans non isolée																									
	tp2 - toiture à pans isolée										X	X	X													
résultats des simulations thermiques dynamiques	avec chauffage avec rafraichissement	Bch	6	6	4	15	16	8	29	30	28	17	41	30	24	10	11	7	11	6	7	22	24	22	14	
		Bfr	25	20	11	27	23	8	51	44	44	10	27	28	6	79	89	81	71	73	19	128	118	118	26	
	Bch+Bfr		30	26	15	42	39	16	79	74	72	27	68	58	30	89	101	88	82	79	26	150	142	140	40	
	sans chauffage sans rafraichissement	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation	0 h	0 h	0 h	43 h	51 h	0 h	465 h	539 h	422 h	1 h	1 752 h	1 176 h	47 h	13 h	49 h	1 h	16 h	0 h	0 h	361 h	460 h	362 h	1 h	
		température min en occupation	16 °C	16 °C	19 °C	15 °C	15 °C	18 °C	12 °C	12 °C	13 °C	15 °C	11 °C	12 °C	13 °C	15 °C	15 °C	14 °C	15 °C	15 °C	16 °C	18 °C	13 °C	13 °C	13 °C	15 °C
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation	63 h	40 h	16 h	112 h	55 h	11 h	704 h	612 h	610 h	45 h	236 h	325 h	26 h	1 095 h	1 212 h	1 179 h	1 029 h	1 072 h	121 h	2 217 h	2 150 h	2 133 h	193 h	
		température max en occupation	32 °C	32 °C	31 °C	31 °C	31 °C	32 °C	35 °C	35 °C	35 °C	36 °C	33 °C	34 °C	34 °C	37 °C	38 °C	38 °C	37 °C	38 °C	38 °C	38 °C	41 °C	41 °C	40 °C	40 °C
	température extérieure	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation	2 497 h		409 h		3 315 h	560 h	4 095 h		672 h	4 946 h	858 h		2 729 h		2 729 h		447 h		3 116 h		528 h			
		température min en occupation	4 °C		4 °C		3 °C	3 °C	0 °C		0 °C		-4 °C		3 °C		3 °C		3 °C		0 °C		11 °C			
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation	192 h		12 h		171 h	3 h	689 h		34 h	447 h	16 h		1 079 h		86 h		1 690 h		111 h		111 h			
température max en occupation		44 °C		35 °C		37 °C	31 °C	45 °C		36 °C		41 °C		32 °C		45 °C		38 °C		42 °C		39 °C				

4 – Résultats et analyse

Diversité climatique au Maroc

		Indicateurs climat						Paris	Marseille
		zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5	zone 6		
température extérieure	Text < 16°C	2 497 h	3 315 h	4 095 h	4 946 h	2 729 h	3 116 h	6 190 h	4 578 h
	Text > 30°C	192 h	171 h	689 h	447 h	1 079 h	1 690 h	29 h	159 h
particularités		hiver froid + été chaud +	hiver froid ++ été chaud +	hiver froid ++ été chaud ++	hiver froid +++ été chaud ++	hiver froid + été chaud +++	hiver froid ++ été chaud +++		

Le climat diffère fortement en fonction des zones climatiques, on distingue :

- Les zones côtières atlantique et méditerranéenne avec un climat doux en été et en hiver – zones 1 & 2
- Les zones continentale Nord et montagneuse avec hiver froid et été moyennement chaud – zones 3 & 4
- Les zones continentale Sud et désertique saharienne avec hiver doux et été très chaud – zones 5 & 6

Globalement, on constate des amplitudes journalières importantes de la température extérieure et des journées ensoleillées.

Comportement du bâti

Le module est peu vitrée (5%) :

- Le renforcement de l'isolation des parois vitrées impacte peu les résultats
- Les dispositifs de protections solaires (ventelles et volet) impactent peu les résultats - L'épaisseur des murs crée en soit des masques importants

➤ **Les résultats d'optimisation sont valables pour des modules faiblement vitrés : façades vitrées inférieures à 15%**

➤ **Les solutions d'optimisation proposées sont valables quelque soit l'orientation géographique du module.**

➤ **Le module est peu sensible à la composition des parties vitrés et des protections solaires.**

Sauf préconisation particulière pour respecter la RTCM ou pour la zone montagne, les protections type ventelles ou volet pourront être adaptées à la demande des occupants notamment pour l'aspect anti-intrusion.

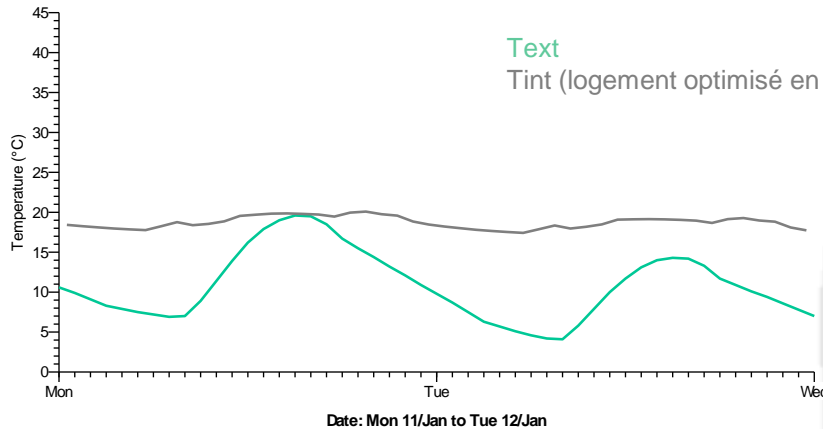
Le module offre une importante surface déperditive (compacité faible), l'ajout d'isolant impacte fortement les résultats.

Dans le contexte rural d'un bâti à faible coût, les isolants biosourcés, locaux et peu transformés ont été privilégiés.

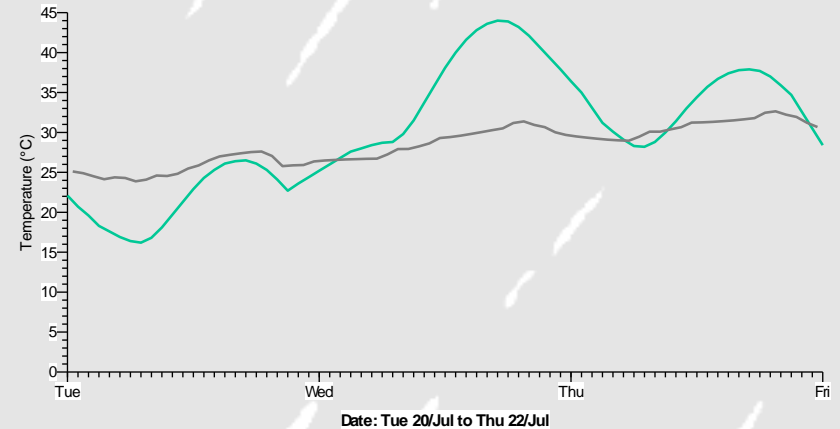
➤ **Les parois ainsi isolées sont performantes et répondent aux exigences de la RTCM**

4 – Résultats et analyse

Le module a une très forte inertie thermique, la température intérieure est fortement lissée lors des variations climatiques :



Jours les plus froids



Jours les plus chauds

- Grâce à l'inertie thermique des parois opaques, la température intérieure du module varie peu en fonction des variations climatiques quotidiennes : La température intérieure du module est maintenue lors des nuits fraîches ou des pics de chaleur estivaux.

4 – Résultats et analyse

Solutions préconisées – Module logement

Selon l'usage et la zone climatique, les parois opaques devront être isolés (composition détaillée dans le tableau de résultats) :

	Module logement					
	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5	zone 6
isolation toiture	+	+	+	+	+	+
isolation mur		+	+	+	+	+
isolation plancher bas			+	+		+

Le niveau d'isolation de l'enveloppe est très variable selon les zones climatiques, on cherche à limiter les déperditions thermiques en hiver et parfois à s'isoler de la chaleur en été.

➤ **L'isolation de l'enveloppe du module est adaptée aux différentes zones climatiques**

La température maximale calculée en occupation (voir tableau de résultats) est bien inférieure au pic de température extérieure, sauf pour la zone désertique (zone 6) où les nuits estivales restent trop chaudes pour décharger efficacement le bâti.

➤ **Le module optimisé apporte une relative fraîcheur en été**

Le confort thermique estival repose sur le bâti et la ventilation naturelle.

➤ **Les fenêtres et portes sont des ouvrants à la française pour maximiser la ventilation naturelle**

Le module est peu sensible à la composition des parties vitrés et des protections solaires du fait de la faible surface vitrée et de l'épaisseur des murs (voir les différentes solutions optimisées proposées dans le tableau de résultats).

➤ **Sauf préconisation particulière pour respecter la RTCM ou pour la zone montagne, les protections type ventelles ou volet pourront être adaptées à la demande des occupants notamment pour l'aspect anti-intrusion.**

4 – Résultats et analyse

Solutions préconisées – Module classe

Selon l'usage et la zone climatique, les parois opaques devront être isolés (composition détaillée dans le tableau de résultats) :

	Module classe					
	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5	zone 6
isolation toiture	+	+	+	+	+	+
isolation mur				+		
isolation plancher bas				+		

Le module classe est particulier car les apports internes par les occupants sont très importants.

Le niveau d'isolation de l'enveloppe est peu exigeant

➤ **Seule la toiture est à isoler, sauf en zone montagne, du fait des apports par les occupants**

La température minimale calculée en occupation (voir tableau de résultats) est souvent compatible avec une absence de système de chauffage

➤ **Le module optimisé peut offrir suffisamment de confort pour ne pas nécessiter de système de chauffage**

Le nombre d'heures d'occupation au dessus de 30° C (voir tableau de résultats) est réduit puisque le module n'est pas occupé l'été

➤ **Les risques de surchauffe sont limités puisque le module est inoccupé pendant les vacances d'été**

Compte tenu de l'amplitude importante de la température extérieure entre le jour et la nuit, le freecooling nocturne est à favoriser pour décharger le bâti.

➤ **Nous préconisons des barreaux anti-intrusion lors de la construction des MPC pour permettre la ventilation naturelle nocturne par l'ouverture des fenêtres.**

➤ **Nous déconseillons les vanelles bois pour favoriser l'éclairage naturel.**

Le confort thermique estival repose sur le bâti et la ventilation naturelle.

➤ **Les fenêtres et portes sont des ouvrants à la française pour maximiser la ventilation naturelle**

5 – Annexe résultats détaillés

Les résultats par zone climatique sont regroupés dans un tableau.

Plusieurs solutions optimisées sont parfois proposées, les solutions respectant la RTCM sont indiquées.

La méthodologie de calcul de la RTCM concernant l'approche performantielle (calcul des besoins de chauffage et de rafraichissement) n'étant à ce jour pas publiée, une incertitude demeure sur le respect de cette exigence.

La première colonne en gris correspond au module MPC non isolé permettant d'apprécier le gain apporté par l'optimisation de l'enveloppe.

Les autres colonnes grisées correspondent à des variantes ventelles / volet pour adapter le module aux demandes des occupants en connaissance de cause.

module non isolé
 modules optimisés avec 2 niveaux de performance Solutions non conformes à la RTCM
 module optimisé conforme à la RTCM
 variante avec ventelles bois

Exigences RTCM :			prescription RTCM atteinte				performance RTCM atteinte				
approche prescriptive U_{max} / g_{max} OU approche performantielle $(B_{ch}+B_{fr})_{max}$			zone 5 Marrakech région continentale Sud								
surface logement 18.2 m ²			module logement				module classe				
surface classe 46.2 m ²			conformité RTCM				conformité RTCM				
			optimisé	optimisé+	optimisé++	X		X			
type			garde-fous RTCM				garde-fous RTCM				
parois module MPC	baie vitrée	b1 - baie simple vitrage	5.0 / 0.68	x	x			x	x		
		b2 - baie simple vitrage + ventelles	3.6* / 0.19			x				x	
		b3 - baie simple vitrage + volet bois + rideau feutre	2.0* / 0.19				x	3.30 / NA			3.30 / NA
		b4 - double baies simple vitrage + volet bois + rideau feutre	1.4* / 0.17								
	mur	m1 - MPC non isolé	1.0	x					x	x	x
		m2 - MPC avec isolation extérieure	0.70		x	x	x	0.80			0.80
		m3 - MPC avec isolation extérieure et intérieure	0.53								
		m4 - MPC avec isolation extérieure et intégrée dans MPC	0.36								
	plancher bas	pb1 - plancher bas non isolé (Risolant = 0)	0.76	x	x	x		R≥1.00	x	x	x
		pb2 - plancher bas isolé (Risolant = 1.0m ² .K/W)	0.43				x				R≥1.00
	toiture terrasse	tt1 - toiture terrasse non isolée	2.5	x					x		
		tt2 - toiture terrasse isolée	0.46		x	x	x	0.65		x	x
	toiture à pans	tp1 - toiture à pans non isolée	2.7								
		tp2 - toiture à pans isolée	0.46								

5 – Annexe résultats détaillés

SOLUTIONS POUR UN BATI MPC OPTIMISE																																																																																																																																																										
résultats des simulations thermiques dynamiques																																																																																																																																																										
U : coefficient de transmission thermique surfacique en W/(m².K) g : facteur solaire de la baie avec protections solaires (sans unité) Bch : besoins de chauffage en kWh/m²/an (20°C en occupation / réduit 16°C en inoccupation (classe) / réduit 12°C en inoccupation week end (classe) - saison de chauffage : 15oct au 15avr) Bfr : besoins de rafraichissement en kWh/m²/an (26°C en occupation / non contrôlé en inoccupation - saison de rafraichissement : toute l'année)																																																																																																																																																										
Exigences RTCM :					prescription RTCM atteinte																																																																																																																																																					
approche prescriptive Umax / gmax OU approche performantielle (Bch+Bfr)max					performance RTCM atteinte																																																																																																																																																					
surface logement 18.2 m²					zone 1 Agadir région cotière atlantique																																																																																																																																																					
surface classe 46.2 m²																																																																																																																																																										
conformité RTCM					module logement			module classe																																																																																																																																																		
					X X	X X		X X																																																																																																																																																		
					optimisé			optimisé																																																																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">type</th> <th rowspan="2">U / g</th> <th colspan="3">garde-fous RTCM</th> <th colspan="3">garde-fous RTCM</th> </tr> <tr> <th>optimisé</th> <th>optimisé+</th> <th></th> <th>optimisé</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">baie vitrée</td> <td>b1 - baie simple vitrage</td> <td>5.0 / 0.68</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>b2 - baie simple vitrage + ventelles</td> <td>3.6* / 0.19</td> <td></td> <td>x</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td>5.80 / NA</td> </tr> <tr> <td>b3 - baie simple vitrage + volet bois + rideau feutre</td> <td>2.0* / 0.19</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>b4 - double baies simple vitrage + volet bois + rideau feutre</td> <td>1.4* / 0.17</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">mur</td> <td>m1 - MPC non isolé</td> <td>1.0</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>m2 - MPC avec isolation extérieure</td> <td>0.70</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>m3 - MPC avec isolation extérieure et intérieure</td> <td>0.53</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>m4 - MPC avec isolation extérieure et intégrée dans MPC</td> <td>0.36</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">plancher bas</td> <td>pb1 - plancher bas non isolé (Risolant = 0)</td> <td>0.76</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>pb2 - plancher bas isolé (Risolant = 1.0m².K/W)</td> <td>0.43</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">toiture terrasse</td> <td>tt1 - toiture terrasse non isolée</td> <td>2.5</td> <td>x</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>tt2 - toiture terrasse isolée</td> <td>0.46</td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">toiture à pans</td> <td>tp1 - toiture à pans non isolée</td> <td>2.7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>tp2 - toiture à pans isolée</td> <td>0.46</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										type	U / g	garde-fous RTCM			garde-fous RTCM			optimisé	optimisé+		optimisé			baie vitrée	b1 - baie simple vitrage	5.0 / 0.68	x	x		x	x			b2 - baie simple vitrage + ventelles	3.6* / 0.19		x				x	5.80 / NA	b3 - baie simple vitrage + volet bois + rideau feutre	2.0* / 0.19								b4 - double baies simple vitrage + volet bois + rideau feutre	1.4* / 0.17								mur	m1 - MPC non isolé	1.0	x	x	x		x	x	x	m2 - MPC avec isolation extérieure	0.70								m3 - MPC avec isolation extérieure et intérieure	0.53								m4 - MPC avec isolation extérieure et intégrée dans MPC	0.36								plancher bas	pb1 - plancher bas non isolé (Risolant = 0)	0.76	x	x	x		x	x	x	pb2 - plancher bas isolé (Risolant = 1.0m².K/W)	0.43								toiture terrasse	tt1 - toiture terrasse non isolée	2.5	x				x			tt2 - toiture terrasse isolée	0.46		x	x			x	x	toiture à pans	tp1 - toiture à pans non isolée	2.7								tp2 - toiture à pans isolée	0.46							
type	U / g	garde-fous RTCM			garde-fous RTCM																																																																																																																																																					
		optimisé	optimisé+		optimisé																																																																																																																																																					
baie vitrée	b1 - baie simple vitrage	5.0 / 0.68	x	x		x	x																																																																																																																																																			
	b2 - baie simple vitrage + ventelles	3.6* / 0.19		x				x	5.80 / NA																																																																																																																																																	
	b3 - baie simple vitrage + volet bois + rideau feutre	2.0* / 0.19																																																																																																																																																								
	b4 - double baies simple vitrage + volet bois + rideau feutre	1.4* / 0.17																																																																																																																																																								
mur	m1 - MPC non isolé	1.0	x	x	x		x	x	x																																																																																																																																																	
	m2 - MPC avec isolation extérieure	0.70																																																																																																																																																								
	m3 - MPC avec isolation extérieure et intérieure	0.53																																																																																																																																																								
	m4 - MPC avec isolation extérieure et intégrée dans MPC	0.36																																																																																																																																																								
plancher bas	pb1 - plancher bas non isolé (Risolant = 0)	0.76	x	x	x		x	x	x																																																																																																																																																	
	pb2 - plancher bas isolé (Risolant = 1.0m².K/W)	0.43																																																																																																																																																								
toiture terrasse	tt1 - toiture terrasse non isolée	2.5	x				x																																																																																																																																																			
	tt2 - toiture terrasse isolée	0.46		x	x			x	x																																																																																																																																																	
toiture à pans	tp1 - toiture à pans non isolée	2.7																																																																																																																																																								
	tp2 - toiture à pans isolée	0.46																																																																																																																																																								
résultats des simulations thermiques dynamiques	avec chauffage avec rafraichissement	Bch en kWh/an	479	103	110	321	200	156																																																																																																																																																		
		Bfr en kWh/an	554	447	371	366	513	470																																																																																																																																																		
		Bch	26	6	6	7	4	3																																																																																																																																																		
		Bfr	30	25	20	8	11	10																																																																																																																																																		
		Bch+Bfr	57	30	26	40	15	15	14	44																																																																																																																																																
	sans chauffage sans rafraichissement	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation	111 h	0 h	0 h	0 h	0 h	0 h																																																																																																																																																		
		température min en occupation	14 °C	16 °C	16 °C	16 °C	19 °C	19 °C																																																																																																																																																		
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation	106 h	63 h	40 h	9 h	16 h	10 h																																																																																																																																																		
		température max en occupation	34 °C	32 °C	32 °C	30 °C	31 °C	31 °C																																																																																																																																																		
	température extérieure	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation		2 497 h			409 h																																																																																																																																																			
		température min en occupation		4 °C			4 °C																																																																																																																																																			
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation		192 h			12 h																																																																																																																																																			
		température max en occupation		44 °C			35 °C																																																																																																																																																			

* avec résistance additionnelle des protections ventelles/volet/rideau

5 – Annexe résultats détaillés

SOLUTIONS POUR UN BATI MPC OPTIMISE										
résultats des simulations thermiques dynamiques										
U : coefficient de transmission thermique surfacique en W/(m².K) g : facteur solaire de la baie avec protections solaires (sans unité) Bch : besoins de chauffage en kWh/m²/an (20°C en occupation / réduit 16°C en inoccupation (classe) / réduit 12°C en inoccupation week end (classe) - saison de chauffage : 15oct au 15avr) Bfr : besoins de rafraichissement en kWh/m²/an (26°C en occupation / non contrôlé en inoccupation - saison de rafraichissement : toute l'année)										
Exigences RTCM :					prescription RTCM atteinte					
approche prescriptive Umax / gmax OU approche performantielle (Bch+Bfr)max					performance RTCM atteinte					
surface logement 18.2 m²					zone 2 Tanger région cotière méditerranéenne					
surface classe 46.2 m²										
conformité RTCM					X X		X X		X	
					optimisé		optimisé+		optimisé	
parois module MPC	type		U / g		garde-fous RTCM			garde-fous RTCM		
	baie vitrée	b1 - baie simple vitrage	5.0 / 0.68	x	x		x	x		
		b2 - baie simple vitrage + ventelles	3.6* / 0.19			x			x	
		b3 - baie simple vitrage + volet bois + rideau feutre	2.0* / 0.19							
		b4 - double baies simple vitrage + volet bois + rideau feutre	1.4* / 0.17							
	mur	m1 - MPC non isolé	1.0	x				x	x	x
		m2 - MPC avec isolation extérieure	0.70		x	x	0.80			0.80
		m3 - MPC avec isolation extérieure et intérieure	0.53							
		m4 - MPC avec isolation extérieure et intégrée dans MPC	0.36							
	plancher bas	pb1 - plancher bas non isolé (Risolant = 0)	0.76	x	x	x	NA	x	x	x
pb2 - plancher bas isolé (Risolant = 1.0m².K/W)		0.43							NA	
toiture terrasse	tt1 - toiture terrasse non isolée	2.5	x				x			
	tt2 - toiture terrasse isolée	0.46		x	x	0.75		x	x	
	tp1 - toiture à pans non isolée	2.7								
toiture à pans	tp2 - toiture à pans isolée	0.46							0.65	
résultats des simulations thermiques dynamiques	avec chauffage avec rafraichissement	Bch en kWh/an	1208	268	290		806	385	359	
		Bfr en kWh/an	647	497	420		273	347	319	
		Bch	66	15	16		17	8	8	
		Bfr	36	27	23		6	8	7	
		Bch+Bfr	102	42	39	46	23	16	15	50
	sans chauffage sans rafraichissement	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation	895 h	43 h	51 h		8 h	0 h	0 h	
		température min en occupation	11 °C	15 °C	15 °C		13 °C	18 °C	18 °C	
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation	192 h	112 h	55 h		11 h	11 h	10 h	
		température max en occupation	33 °C	31 °C	31 °C		32 °C	32 °C	32 °C	
	température extérieure	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation		3 315 h				560 h		
		température min en occupation		3 °C				3 °C		
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation		171 h				3 h		
température max en occupation			37 °C				31 °C			

* avec résistance additionnelle des protections ventelles/volet/rideau

5 – Annexe résultats détaillés

SOLUTIONS POUR UN BATI MPC OPTIMISE										
résultats des simulations thermiques dynamiques										
U : coefficient de transmission thermique surfacique en W/(m².K) g : facteur solaire de la baie avec protections solaires (sans unité) Bch : besoins de chauffage en kWh/m²/an (20°C en occupation / réduit 16°C en inoccupation (classe) / réduit 12°C en inoccupation week end (classe) - saison de chauffage : 15oct au 15avr) Bfr : besoins de rafraichissement en kWh/m²/an (26°C en occupation / non contrôlé en inoccupation - saison de rafraichissement : toute l'année)										
Exigences RTCM :					prescription RTCM atteinte					
approche prescriptive Umax / gmax OU approche performantielle (Bch+Bfr)max					performance RTCM atteinte					
surface logement 18.2 m²					zone 3 Fès région continentale Nord					
surface classe 46.2 m²										
conformité RTCM					X			X		
					optimisé			optimisé		
					optimisé+			optimisé++		
					optimisé++			optimisé++		
parois module MPC	type		U / g	garde-fous RTCM			garde-fous RTCM			
	baie vitrée	b1 - baie simple vitrage	5.0 / 0.68	x	x			x	x	
		b2 - baie simple vitrage + ventelles	3.6* / 0.19			x	3.30 / NA			x
		b3 - baie simple vitrage + volet bois + rideau feutre	2.0* / 0.19				x			
		b4 - double baies simple vitrage + volet bois + rideau feutre	1.4* / 0.17							
	mur	m1 - MPC non isolé	1.0	x				x	x	x
		m2 - MPC avec isolation extérieure	0.70		x	x	x	0.80		
		m3 - MPC avec isolation extérieure et intérieure	0.53							
		m4 - MPC avec isolation extérieure et intégrée dans MPC	0.36							
	plancher bas	pb1 - plancher bas non isolé (Risolant = 0)	0.76	x				x	x	x
pb2 - plancher bas isolé (Risolant = 1.0m².K/W)		0.43		x	x	x	R≥0.75		R≥0.75	
toiture terrasse	tt1 - toiture terrasse non isolée	2.5	x				x			
	tt2 - toiture terrasse isolée	0.46		x	x	x	0.65			
	tp1 - toiture à pans non isolée	2.7						x	x	
toiture à pans	tp2 - toiture à pans isolée	0.46							0.65	
résultats des simulations thermiques dynamiques	avec chauffage avec rafraichissement	Bch en kWh/an	2028	521	549	502		1627	779	772
		Bfr en kWh/an	1170	920	805	805		378	448	417
		Bch	111	29	30	28		35	17	17
		Bfr	64	51	44	44		8	10	9
		Bch+Bfr	176	79	74	72	48	43	27	26
	sans chauffage sans rafraichissement	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation	2 170 h	465 h	539 h	422 h		86 h	1 h	1 h
		température min en occupation	9 °C	12 °C	12 °C	13 °C		11 °C	15 °C	15 °C
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation	653 h	704 h	612 h	610 h		36 h	45 h	39 h
		température max en occupation	36 °C	35 °C	35 °C	35 °C		35 °C	36 °C	36 °C
	température extérieure	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation			4 095 h				672 h	
		température min en occupation			0 °C				0 °C	
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation			689 h				34 h	
		température max en occupation			45 °C				36 °C	

* avec résistance additionnelle des protections ventelles/volet/rideau

5 – Annexe résultats détaillés

SOLUTIONS POUR UN BATI MPC OPTIMISE													
résultats des simulations thermiques dynamiques													
U : coefficient de transmission thermique surfacique en W/(m².K) g : facteur solaire de la baie avec protections solaires (sans unité) Bch : besoins de chauffage en kWh/m²/an (20°C en occupation / réduit 16°C en inoccupation (classe) / réduit 12°C en inoccupation week end (classe) - saison de chauffage : 15oct au 15avr) Bfr : besoins de rafraichissement en kWh/m²/an (26°C en occupation / non contrôlé en inoccupation - saison de rafraichissement : toute l'année)													
Exigences RTCM :							prescription RTCM atteinte						
approche prescriptive Umax / gmax OU approche performantielle (Bch+Bfr)max							performance RTCM atteinte						
surface logement 18.2 m²							zone 4 lfrane région montagneuse						
surface classe 46.2 m²													
conformité RTCM							X X			X			
							optimisé optimisé+			optimisé			
parois module MPC	type		U / g	garde-fous RTCM			garde-fous RTCM						
	baie vitrée	b1 - baie simple vitrage	5.0 / 0.68	x	x			x	x				
		b2 - baie simple vitrage + ventelles	3.6* / 0.19				3.30 / NA			x			3.30 / NA
		b3 - baie simple vitrage + volet bois + rideau feutre	2.0* / 0.19								x		
		b4 - double baies simple vitrage + volet bois + rideau feutre	1.4* / 0.17			x	x					x	
	mur	m1 - MPC non isolé	1.0	x				x					
		m2 - MPC avec isolation extérieure	0.70		x	x			x	x	x	x	0.60
		m3 - MPC avec isolation extérieure et intérieure	0.53				x						
		m4 - MPC avec isolation extérieure et intégrée dans MPC	0.36										
	plancher bas	pb1 - plancher bas non isolé (Risolant = 0)	0.76	x				x					
pb2 - plancher bas isolé (Risolant = 1.0m².K/W)		0.43		x	x	x			x	x	x	R≥1.25	
toiture terrasse	tt1 - toiture terrasse non isolée	2.5											
	tt2 - toiture terrasse isolée	0.46											
toiture à pans	tp1 - toiture à pans non isolée	2.7	x									0.55	
	tp2 - toiture à pans isolée	0.46		x	x	x			x	x	x		
résultats des simulations thermiques dynamiques	avec chauffage avec rafraichissement	Bch en kWh/an	3154	868	742	545		3728	1108	1101	1056	1002	
		Bfr en kWh/an	745	622	500	508		255	264	239	239	236	
		Bch	173	48	41	30		81	24	24	23	22	
		Bfr	41	34	27	28		6	6	5	5	5	
		Bch+Bfr	214	82	68	58	64	86	30	29	28	27	80
	sans chauffage sans rafraichissement	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation	3 413 h	1 887 h	1 752 h	1 176 h		209 h	47 h	54 h	47 h	34 h	
		température min en occupation	5 °C	11 °C	11 °C	12 °C		8 °C	13 °C	12 °C	12 °C	13 °C	
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation	481 h	391 h	236 h	325 h		26 h	26 h	22 h	23 h	23 h	
		température max en occupation	35 °C	35 °C	33 °C	34 °C		34 °C	34 °C	34 °C	33 °C	33 °C	
	température extérieure	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation		4 946 h						858 h			
		température min en occupation		-4 °C						-4 °C			
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation		447 h						16 h			
		température max en occupation		41 °C						32 °C			

* avec résistance additionnelle des protections ventelles/volet/rideau

5 – Annexe résultats détaillés

SOLUTIONS POUR UN BATI MPC OPTIMISE											
résultats des simulations thermiques dynamiques											
U : coefficient de transmission thermique surfacique en W/(m².K) g : facteur solaire de la baie avec protections solaires (sans unité) Bch : besoins de chauffage en kWh/m²/an (20°C en occupation / réduit 16°C en inoccupation (classe) / réduit 12°C en inoccupation week end (classe) - saison de chauffage : 15oct au 15avr) Bfr : besoins de rafraichissement en kWh/m²/an (26°C en occupation / non contrôlé en inoccupation - saison de rafraichissement : toute l'année)											
Exigences RTCM :					prescription RTCM atteinte						
approche prescriptive Umax / gmax OU approche performantielle (Bch+Bfr)max					performance RTCM atteinte						
surface logement 18.2 m²					zone 5 Marrakech région continentale Sud						
surface classe 46.2 m²											
conformité RTCM					X			X			
					optimisé			optimisé			
type					U / g			garde-fous RTCM			
parois module MPC	baie vitrée	b1 - baie simple vitrage			5.0 / 0.68	x	x			x	x
		b2 - baie simple vitrage + ventelles			3.6* / 0.19			x			
		b3 - baie simple vitrage + volet bois + rideau feutre			2.0* / 0.19				x		x
		b4 - double baies simple vitrage + volet bois + rideau feutre			1.4* / 0.17						
	mur	m1 - MPC non isolé			1.0	x				x	x
		m2 - MPC avec isolation extérieure			0.70		x	x	x		
		m3 - MPC avec isolation extérieure et intérieure			0.53						
		m4 - MPC avec isolation extérieure et intégrée dans MPC			0.36						
	plancher bas	pb1 - plancher bas non isolé (Risolant = 0)			0.76	x	x	x		x	x
		pb2 - plancher bas isolé (Risolant = 1.0m².K/W)			0.43				x		
toiture terrasse	tt1 - toiture terrasse non isolée			2.5	x				x		
	tt2 - toiture terrasse isolée			0.46		x	x	x		x	
	tp1 - toiture à pans non isolée			2.7							
toiture à pans	tp2 - toiture à pans isolée			0.46							
résultats des simulations thermiques dynamiques	avec chauffage avec rafraichissement	Bch en kWh/an			884	185	203	115		622	329
		Bfr en kWh/an			1939	1431	1298	1323		776	882
		Bch			49	10	11	6		13	7
		Bfr			107	79	71	73		17	19
		Bch+Bfr			155	89	82	79	61	30	26
	sans chauffage sans rafraichissement	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation			674 h	13 h	16 h	0 h		8 h	0 h
		température min en occupation			12 °C	15 °C	15 °C	16 °C		14 °C	18 °C
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation			1 173 h	1 095 h	1 029 h	1 072 h		105 h	121 h
		température max en occupation			39 °C	37 °C	37 °C	38 °C		38 °C	38 °C
	température extérieure	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation					2 729 h				447 h
		température min en occupation					3 °C				3 °C
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation					1 079 h				86 h
		température max en occupation					45 °C				38 °C

* avec résistance additionnelle des protections ventelles/volet/rideau

5 – Annexe résultats détaillés

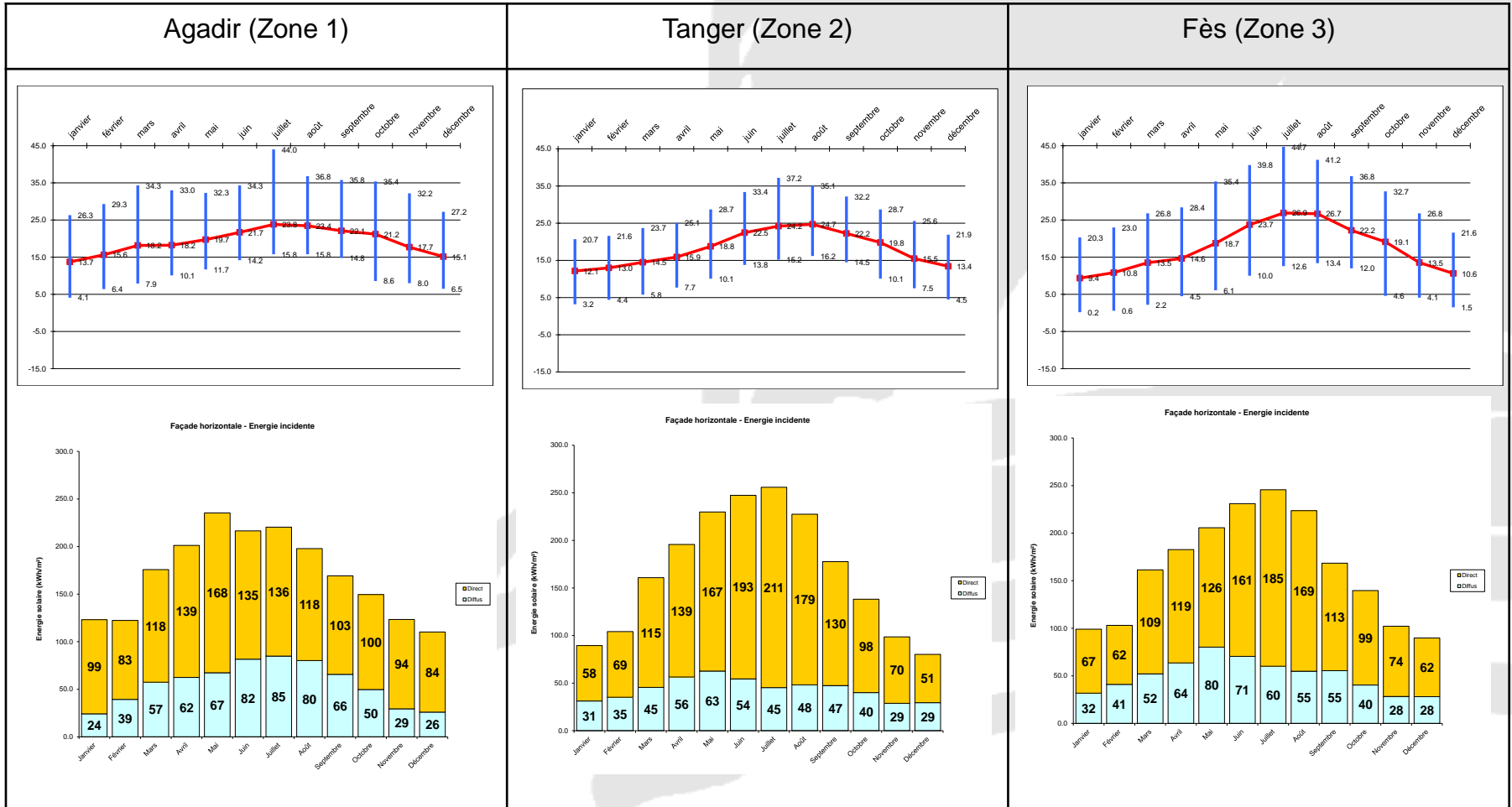
SOLUTIONS POUR UN BATI MPC OPTIMISE															
résultats des simulations thermiques dynamiques															
U : coefficient de transmission thermique surfacique en W/(m².K) g : facteur solaire de la baie avec protections solaires (sans unité) Bch : besoins de chauffage en kWh/m²/an (20°C en occupation / réduit 16°C en inoccupation (classe) / réduit 12°C en inoccupation week end (classe) - saison de chauffage : 15oct au 15avr) Bfr : besoins de rafraichissement en kWh/m²/an (26°C en occupation / non contrôlé en inoccupation - saison de rafraichissement : toute l'année)															
Exigences RTCM :					prescription RTCM atteinte										
approche prescriptive Umax / gmax OU approche performantielle (Bch+Bfr)max					performance RTCM atteinte										
surface logement 18.2 m²					zone 6 Errachidia région désertique saharienne										
surface classe 46.2 m²															
conformité RTCM					X			X							
					optimisé			optimisé							
type					U / g				garde-fous RTCM		garde-fous RTCM				
parois module MPC	baie vitrée	b1 - baie simple vitrage		5.0 / 0.68		x	x				x	x			
		b2 - baie simple vitrage + ventelles		3.6* / 0.19				x					x		
		b3 - baie simple vitrage + volet bois + rideau feutre		2.0* / 0.19					x		3.30 / NA			x	3.30 / NA
		b4 - double baies simple vitrage + volet bois + rideau feutre		1.4* / 0.17											
	mur	m1 - MPC non isolé		1.0		x						x	x	x	
		m2 - MPC avec isolation extérieure		0.70			x	x	x		0.80				0.80
		m3 - MPC avec isolation extérieure et intérieure		0.53											
		m4 - MPC avec isolation extérieure et intégrée dans MPC		0.36											
	plancher bas	pb1 - plancher bas non isolé (Risolant = 0)		0.76		x						x	x	x	
		pb2 - plancher bas isolé (Risolant = 1.0m².K/W)		0.43			x	x	x		R≥1.00				R≥1.00
	toiture terrasse	tt1 - toiture terrasse non isolée		2.5		x						x			
		tt2 - toiture terrasse isolée		0.46			x	x	x		0.65		x	x	0.65
	toiture à pans	tp1 - toiture à pans non isolée		2.7											
		tp2 - toiture à pans isolée		0.46											
résultats des simulations thermiques dynamiques	avec chauffage avec rafraichissement	Bch en kWh/an				1631	398	433	397		1374	652	640		
		Bfr en kWh/an				3222	2338	2156	2154		1128	1204	1141		
		Bch				90	22	24	22		30	14	14		
		Bfr				177	128	118	118		24	26	25		
		Bch+Bfr				267	150	142	140	65	54	40	39	67	
	sans chauffage sans rafraichissement	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation				1 715 h	361 h	460 h	362 h		80 h	1 h	1 h		
		température min en occupation				9 °C	13 °C	13 °C	13 °C		11 °C	15 °C	15 °C		
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation				2 198 h	2 217 h	2 150 h	2 133 h		179 h	193 h	188 h		
		température max en occupation				41 °C	41 °C	41 °C	40 °C		40 °C	40 °C	40 °C		
	température extérieure	nbre d'heures en dessous de 16°C en occupation						3 116 h				528 h			
		température min en occupation						0 °C				11 °C			
		nbre d'heures au dessus de 30°C en occupation						1 690 h				111 h			
		température max en occupation						42 °C				39 °C			

* avec résistance additionnelle des protections ventelles/volet/rideau

6 – Annexe données météorologiques

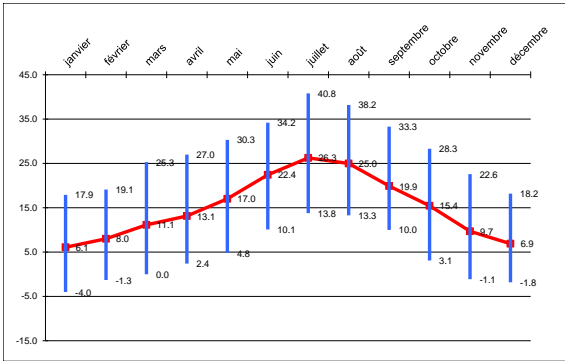
Les données météorologiques horaires utilisées dans les calculs sont issues du logiciel Meeonorm 7.

Les valeurs mensuelles de températures (min/max/moy) et de rayonnement solaire sont les suivantes :

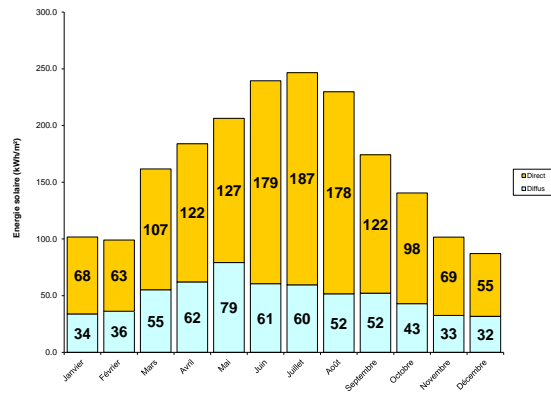


6 – Annexe données météorologiques

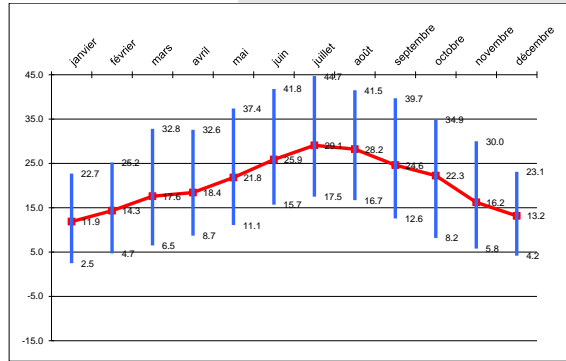
Ifrane (Zone 4)



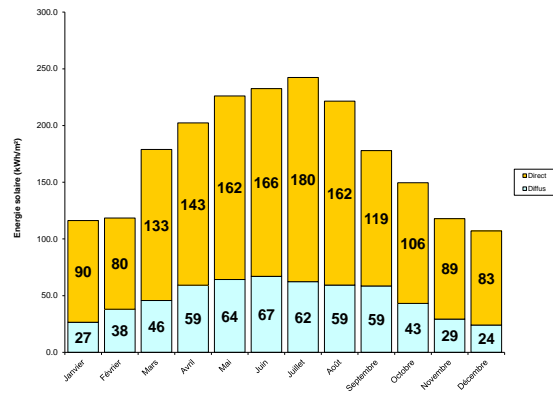
Façade horizontale - Energie incidente



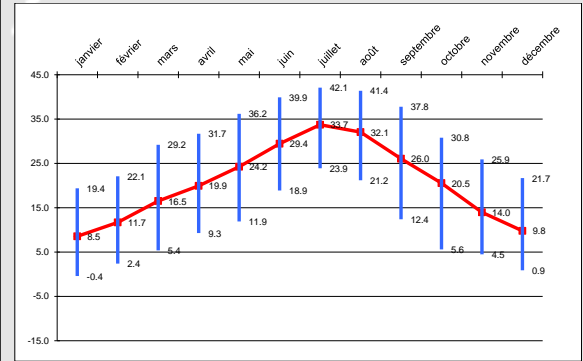
Marrakech (Zone 5)



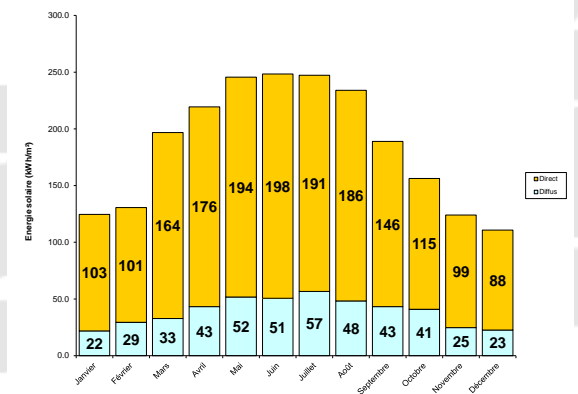
Façade horizontale - Energie incidente



Errachidia (Zone 6)



Façade horizontale - Energie incidente



7 – Annexe détail calcul de la transmission thermique des parois MPC

MPC avec pierre calcaire dure														
Hypothèses de calcul		remplissage pierre MPC à 75% (porosité 25%)												
MPC type 1 : MPC non isolé										paroi équivalente				
couche (ext vers int)	extérieur	enduit finition	enduit accroche	MPC_1	MPC_2	MPC_3	enduit accroche	enduit finition	intérieur	extérieur	laine de roche Th40	béton	intérieur	
composition		enduit de chaux	béton terre paille	pierre calcaire dure	air	pierre calcaire dure	béton terre paille	enduit de chaux						
épaisseur en mm		10	40	187	125	187	40	10		30	200			
conductivité en W/(m.K)		0.80	0.17	1.70		1.70	0.17	0.80		0.04	2			
résistance thermique en m².K/W	0.04	0.01	0.24	0.11	0.18	0.11	0.24	0.01	0.13	0.04	0.76	0.10	0.13	
résistance thermique diminuée de 10% (tresse acier)														
Upaori en W/(m².K) 0.98										voile béton 20cm avec laine de roche 3.0 cm				
MPC type 2 : MPC avec enduit isolant extérieur										paroi équivalente				
couche (ext vers int)	extérieur	enduit finition	enduit accroche	MPC_1	MPC_2	MPC_3	enduit accroche	enduit finition	intérieur	extérieur	laine de roche Th40	béton	intérieur	
composition		enduit de chaux	béton chaux chanvre/liège /paille	pierre calcaire dure	air	pierre calcaire dure	béton terre paille	enduit de chaux						
épaisseur en mm		10	70	187	125	187	40	10		49	200			
conductivité en W/(m.K)		0.80	0.10	1.70		1.70	0.17	0.80		0.04	2			
résistance thermique en m².K/W	0.04	0.01	0.70	0.11	0.18	0.11	0.24	0.01	0.13	0.04	1.22	0.10	0.13	
résistance thermique diminuée de 10% (tresse acier)														
Upaori en W/(m².K) 0.67										voile béton 20cm avec laine de roche 4.9 cm				
MPC type 3 : MPC avec enduit isolant extérieur et intérieur										paroi équivalente				
couche (ext vers int)	extérieur	enduit finition	enduit accroche	MPC_1	MPC_2	MPC_3	enduit accroche	enduit finition	intérieur	extérieur	laine de roche Th40	béton	intérieur	
composition		enduit de chaux	béton chaux chanvre/liège /paille	pierre calcaire dure	air	pierre calcaire dure	béton chaux chanvre/liège /paille	enduit de chaux						
épaisseur en mm		10	70	187	125	187	70	10		67	200			
conductivité en W/(m.K)		0.80	0.10	1.70		1.70	0.10	0.80		0.04	2			
résistance thermique en m².K/W	0.04	0.01	0.70	0.11	0.18	0.11	0.70	0.01	0.13	0.04	1.69	0.10	0.13	
résistance thermique diminuée de 10% (tresse acier)														
Upaori en W/(m².K) 0.51										voile béton 20cm avec laine de roche 6.7 cm				
MPC type 4 : MPC avec liège incorporé (15% en volume) + enduit isolant extérieur										paroi équivalente				
couche (ext vers int)	extérieur	enduit finition	enduit accroche	MPC_0	MPC_1	MPC_2	MPC_3	enduit accroche	enduit finition	intérieur	extérieur	laine de roche Th40	béton	intérieur
composition		enduit de chaux	béton chaux chanvre/liège /paille	liège	pierre calcaire dure	air	pierre calcaire dure	béton terre paille	enduit de chaux					
épaisseur en mm		10	70	75	187	50	187	40	10		103	200		
conductivité en W/(m.K)		0.80	0.10	0.049	1.70		1.70	0.17	0.80		0.04	2		
résistance thermique en m².K/W	0.04	0.01	0.70	1.53	0.11	0.15	0.11	0.24	0.01	0.04	2.57	0.10	0.13	
résistance thermique diminuée de 10% (tresse acier)														
Upaori en W/(m².K) 0.35										voile béton 20cm avec laine de roche 10.3 cm				

7 – Annexe calcul de la transmission thermique des parois MPC

MPC avec grès quartzeux														
Hypothèses de calcul		remplissage pierre MPC à 75% (porosité 25%)												
MPC type 1 : MPC non isolé										paroi équivalente				
couche (ext vers int)	extérieur	enduit finition	enduit accroche	MPC_1	MPC_2	MPC_3	enduit accroche	enduit finition	intérieur	extérieur	laine de roche Th40	béton	intérieur	
composition		enduit de chaux	béton terre paille	grès quartzeux	air	grès quartzeux	béton terre paille	enduit de chaux						
épaisseur en mm		10	40	187	125	187	40	10		27	200			
conductivité en W/(m.K)		0.80	0.17	2.60		2.60	0.17	0.80		0.04	2			
résistance thermique en m².K/W	0.04	0.01	0.24	0.07	0.18	0.07	0.24	0.01	0.13	0.04	0.69	0.10	0.13	
résistance thermique diminuée de 10% (tresse acier)										voile béton 20cm avec laine de roche 2.7 cm				
Upaeroi en W/(m².K)										1.04				
MPC type 2a : MPC avec enduit isolant extérieur										paroi équivalente				
couche (ext vers int)	extérieur	enduit finition	enduit accroche	MPC_1	MPC_2	MPC_3	enduit accroche	enduit finition	intérieur	extérieur	laine de roche Th40	béton	intérieur	
composition		enduit de chaux	béton chaux chanvre/liège /paille	grès quartzeux	air	grès quartzeux	béton terre paille	enduit de chaux						
épaisseur en mm		10	70	187	125	187	40	10		46	200			
conductivité en W/(m.K)		0.80	0.10	2.60		2.60	0.17	0.80		0.04	2			
résistance thermique en m².K/W	0.04	0.01	0.70	0.07	0.18	0.07	0.24	0.01	0.13	0.04	1.15	0.10	0.13	
résistance thermique diminuée de 10% (tresse acier)										voile béton 20cm avec laine de roche 4.6 cm				
Upaeroi en W/(m².K)										0.70				
MPC type 3 : MPC avec enduit isolant extérieur et intérieur										paroi équivalente				
couche (ext vers int)	extérieur	enduit finition	enduit accroche	MPC_1	MPC_2	MPC_3	enduit accroche	enduit finition	intérieur	extérieur	laine de roche Th40	béton	intérieur	
composition		enduit de chaux	béton chaux chanvre/liège /paille	grès quartzeux	air	grès quartzeux	béton chaux chanvre/liège /paille	enduit de chaux						
épaisseur en mm		10	70	187	125	187	70	10		65	200			
conductivité en W/(m.K)		0.80	0.10	2.60		2.60	0.10	0.80		0.04	2			
résistance thermique en m².K/W	0.04	0.01	0.70	0.07	0.18	0.07	0.70	0.01	0.13	0.04	1.62	0.10	0.13	
résistance thermique diminuée de 10% (tresse acier)										voile béton 20cm avec laine de roche 6.5 cm				
Upaeroi en W/(m².K)										0.53				
MPC type 4 : MPC avec liège incorporé (15% en volume) + enduit isolant extérieur										paroi équivalente				
couche (ext vers int)	extérieur	enduit finition	enduit accroche	MPC_0	MPC_1	MPC_2	MPC_3	enduit accroche	enduit finition	intérieur	extérieur	laine de roche Th40	béton	intérieur
composition		enduit de chaux	béton chaux chanvre/liège /paille	liège	grès quartzeux	air	grès quartzeux	béton terre paille	enduit de chaux					
épaisseur en mm		10	70	75	187	50	187	40	10		100	200		
conductivité en W/(m.K)		0.80	0.10	0.049	2.60		2.60	0.17	0.80		0.04	2		
résistance thermique en m².K/W	0.04	0.01	0.70	1.53	0.07	0.15	0.07	0.24	0.01	0.13	0.04	2.50	0.10	0.13
résistance thermique diminuée de 10% (tresse acier)										voile béton 20cm avec laine de roche 10.0 cm				
Upaeroi en W/(m².K)										0.36				