

**POUGET**  
*Consultants*



# ETUDE DES BESOINS DE FROID ET SOLUTIONS DE RAFRAICHISSEMENT

---

**Strasbourg.eu**  
eurométropole

**Deux — Rives**  
SPL  
STRASBOURG

10 / 10 / 2023

[www.pouget-consultants.fr](http://www.pouget-consultants.fr)  
[contact@pouget-consultants.fr](mailto:contact@pouget-consultants.fr)

[nantes@pouget-consultants.fr](mailto:nantes@pouget-consultants.fr)

SIEGE SOCIAL : 81, rue Marcadet | 75018 PARIS FRANCE  
Tél : +33 (0)1 42 59 53 64

AGENCE NANTES : 4, place François II | 44200 NANTES FRANCE  
Tél : +33 (0)2 40 12 21 22

# SOMMAIRE

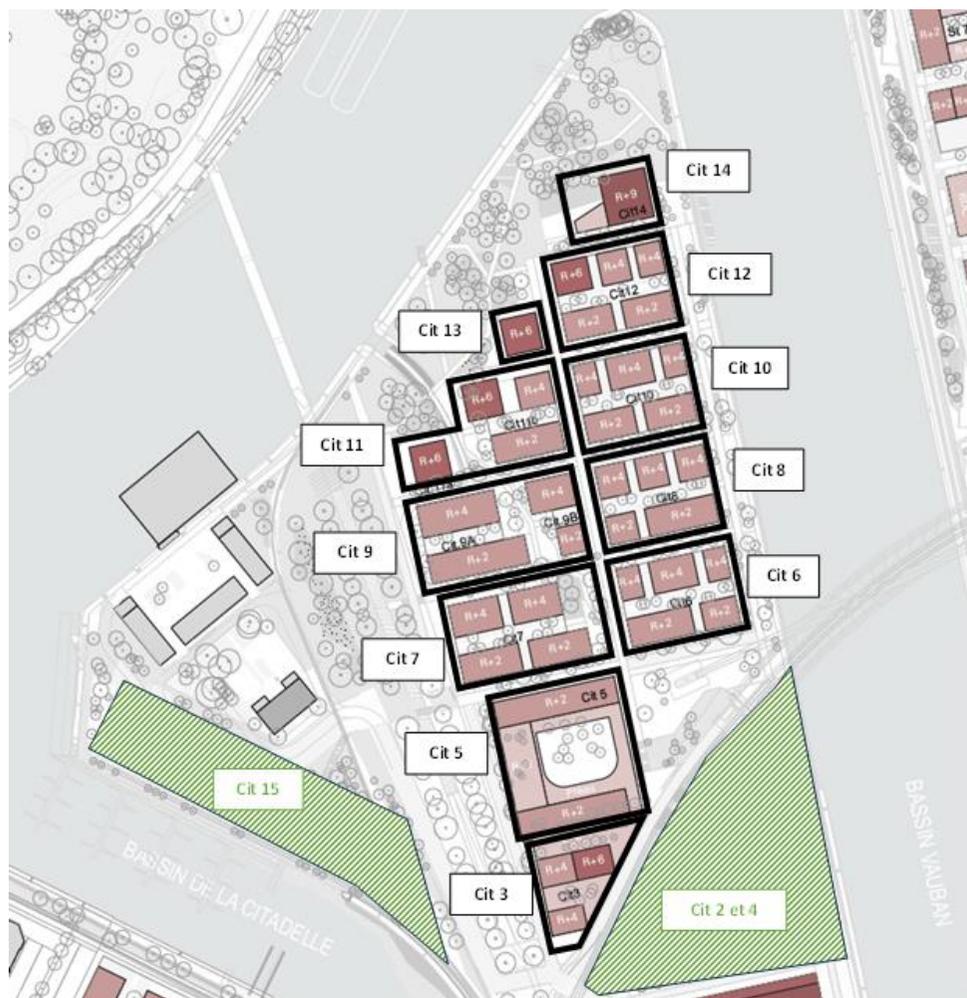
---

**1 – Périmètre d'étude**

2 – Besoins de froid à l'échelle du quartier

3 – Leviers d'actions pour limiter les besoins de refroidissement

# PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE



 Hors périmètre (Cit 2, 4 et 15)

Lot	Usage	Surfaces	N logements	N bâtiment
Cit 3	Logements	2931 m <sup>2</sup>	38 lgts	<b>2</b> (1 R+4- R+6 / 1 R+4)
Cit 5	Equipements publics	5028 m <sup>2</sup>	-	<b>2</b> (2 R+2)
Cit 6	Logements	3950 m <sup>2</sup>	58 lgts	<b>5</b> (2 R+2 / 3 R+4)
	RDC Actifs	72 m <sup>2</sup>	-	
	Equipements publics	250 m <sup>2</sup>	-	
Cit 7	Logements	3929 m <sup>2</sup>	57 lgts	<b>4</b> (2 R+2 / 2 R+4)
	Espaces com. partagés	248 m <sup>2</sup>	-	
Cit 8	Logements	4122 m <sup>2</sup>	60 lgts	<b>5</b> (2 R+2 / 3 R+4)
	Espaces com. partagés	160 m <sup>2</sup>	-	
Cit 9	Logements	5519 m <sup>2</sup>	80 lgts	<b>4</b> (2 R+2 / 2 R+4)
Cit 10	Logements	4122 m <sup>2</sup>	61 lgts	<b>5</b> (2 R+2 / 3 R+4)
	Espaces com. partagés	160 m <sup>2</sup>	-	
Cit 11	Logements	5758 m <sup>2</sup>	84 lgts	<b>5</b> (2 R+2 / 3 R+4)
Cit 12	Logements	4579 m <sup>2</sup>	66 lgts	<b>5</b> (2 R+2 / 2 R+4 / 1 R+6)
	Espaces com. partagés	120 m <sup>2</sup>	-	
Cit 13	Logements	1702 m <sup>2</sup>	25 lgts	<b>1</b> (R+6)
Cit 14	Logements	3995 m <sup>2</sup>	58 lgts	<b>1</b> (R+9)
	RDC Actifs	352 m <sup>2</sup>	-	
<b>Total</b>	Logements	40 607 m <sup>2</sup>	587 lgts	<b>39</b>
	RDC Actifs	424 m <sup>2</sup>	-	
	Espaces com. partagés	688 m <sup>2</sup>	-	
	Equipements publics	5 276 m <sup>2</sup>	-	

# SOMMAIRE

---

1 – Périmètre d'étude

**2 – Besoins de froid à l'échelle du quartier**

3 – Leviers d'actions pour limiter les besoins de refroidissement

# BESOINS DE FROID À L'ÉCHELLE DU QUARTIER

## Cahier de prescription – îlot Cit8b

### Exigences de moyens

#### ❖ Orientation :

- Maximum de logements traversants
- Double orientation obligatoire à partir du T3
- Pas de logement mono-orienté au Nord

#### ❖ Enveloppe thermique :

- Structure bois : CLT OU béton + remplissage MOB
- Murs : Umur  $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Toiture : Utoit  $\leq 0,11 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  (22 cm de PUR)
- Sol : Usol  $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Menuiseries : Uw  $\leq 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Étanchéité à l'air : n50  $< 0,6 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$

#### ❖ Protections solaires :

- Sw avec protection (baies autres que Nord)  $\leq 0,10$
  - Sw avec protection (baies Nord)  $\leq 0,40$
- Passage libre pour l'air d'au moins 6% de la surface de la pièce ventilée (occultation fermée)
- Volets roulants classiques **proscrits**
- Dispositifs à lames orientables (type BSO) préconisés

#### ❖ Prolongement extérieur (loggias et terrasses) :

- Profondeur minimale de 2m
- Surface minimale de 4m<sup>2</sup>

#### ❖ Surface des baies : entre 20 et 25% de la SDP

#### ❖ Systèmes énergétiques

- Rafrachissement : aucun système de rafraichissement énergivore (?)
- Chauffage : raccordement au RCU
- Ventilation : Pventil  $\leq 0,15 \text{ W/m}^3/\text{h}$  et Efficacité double flux  $>80\%$  (si DF)
- Autre : mise en œuvre d'une production solaire électrique (PLU)  
Récupération de chaleur sur eaux usées/grises, ... (à étudier)

#### ❖ Ventilation :

- Taux de renouvellement d'air minimum  $\geq 0,5 \text{ vol/h}$

#### ❖ Inertie: dans le cas d'un mode constructif bois, intégration de matériaux ayant un rôle hygrothermique (enduits terre, brique de terre crue, chapes acoustiques, ...)

# BESOINS DE FROID À L'ÉCHELLE DU QUARTIER

## Cahier de prescription – îlot Cit8b

### Exigences de résultats

- ❖ **Performance énergétique** : RE2020 – Niveau 2025
- ❖ **Ensoleillement** : 2h de soleil à minima pour 80% des logements le 21 décembre
- ❖ **Confort d'été** : réalisé uniquement par des moyens passifs (protections solaires, ventilation nocturne, inertie, ...) sans systèmes actifs
  - **Maximum 30 heures d'occupation par an > 28°C** (calcul STD sur une année climatique conventionnelle et conditions d'occupations conventionnelles)

# BESOINS DE FROID À L'ÉCHELLE DU QUARTIER

## Approches en simulation thermique dynamique

32 logements (2 T1 / 12 T2 / 12 T3 / 6 T4)

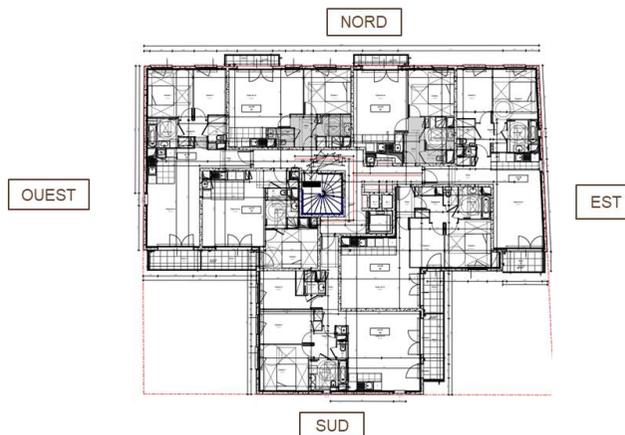
Compacité = 1,2 (bonne)

Surface déperditives totales / SHAB

SHAB moyenne = 60 m<sup>2</sup> /log

76% de log traversants

Ratio surf. Baie/SHAB = 18%



**Performance thermique** : cf prescriptions précédentes

**Données météorologiques** : 3 fichiers météos (cf slide suivante)

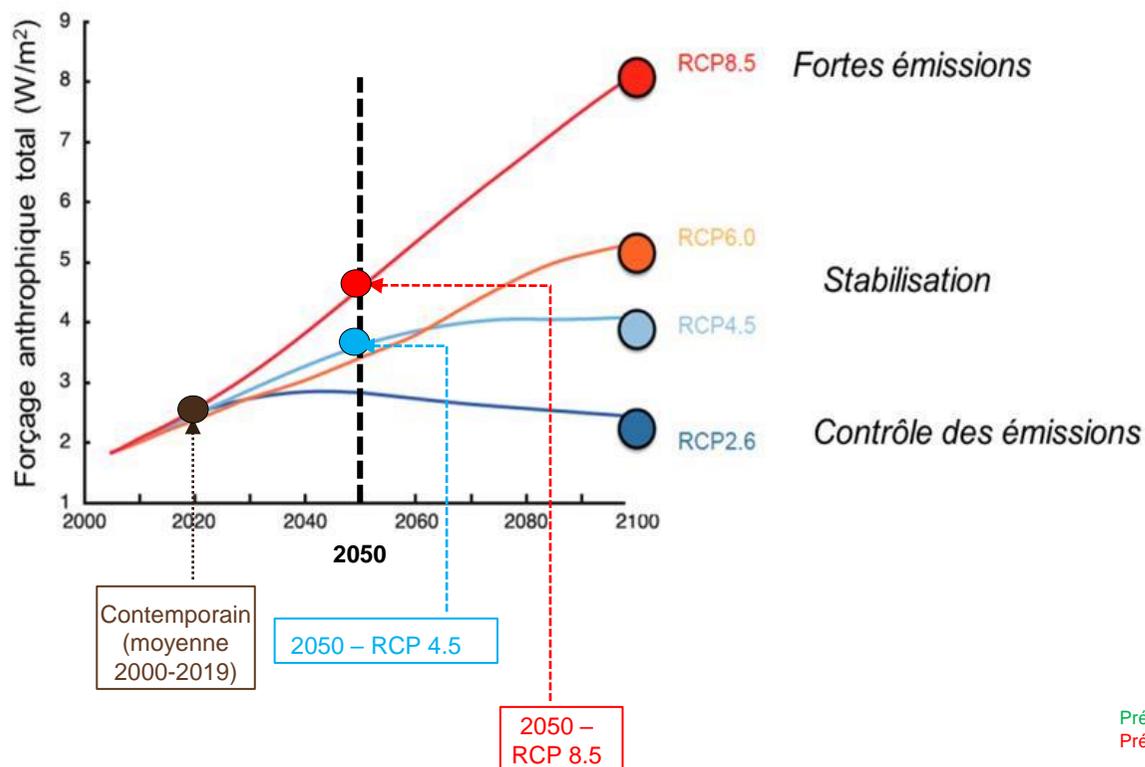
**Données de sortie** (à l'échelle du bâtiment):

- Besoins de froid à 26°C (kWh/m<sup>2</sup>.an)
- Puissance froid max appelée à 26°C (W/m<sup>2</sup>)

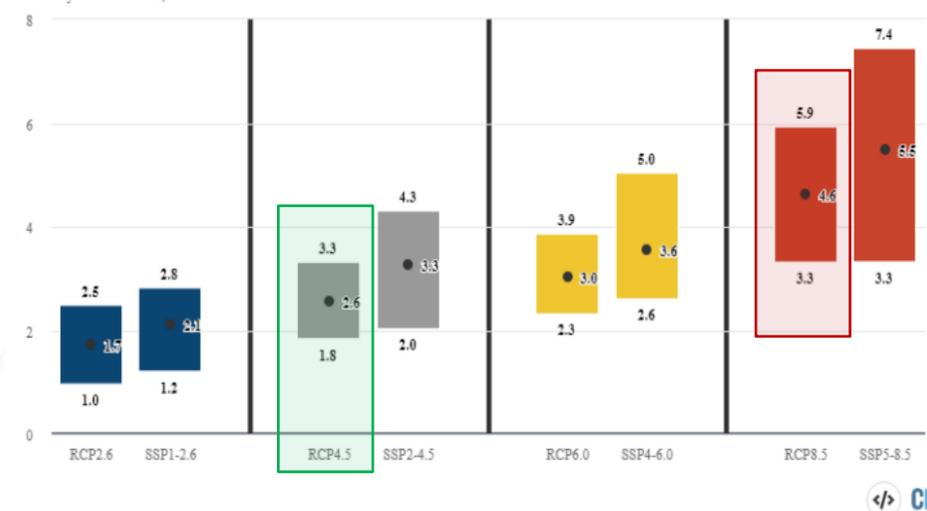
# BESOINS DE FROID À L'ÉCHELLE DU QUARTIER

## Données météorologiques

Evolution de la perturbation radiative pour différentes trajectoires d'évolution des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère



Comparing CMIP5 and CMIP6 scenarios currently available runs, from 1880-1900 to 2090-2100.



Source : <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>

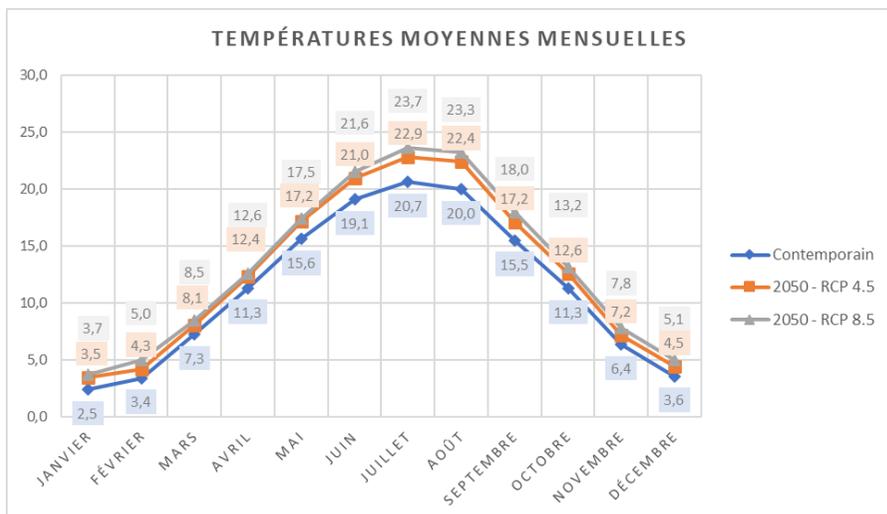
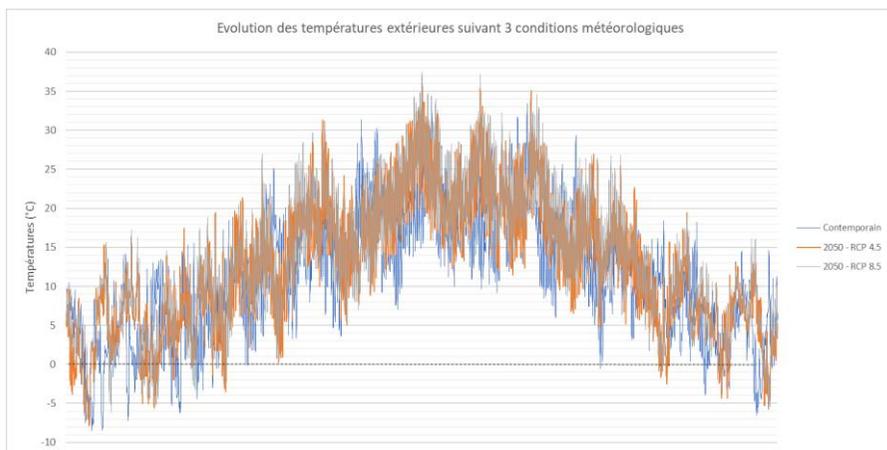
Prévisions RCP 4.5 → +2,6°C en moyenne (d'ici 2100)

Prévisions RCP 8.5 → +4,6 °C en moyenne (d'ici 2100)

Source : Meteonorm v8

# BESOINS DE FROID À L'ÉCHELLE DU QUARTIER

## Données météorologiques



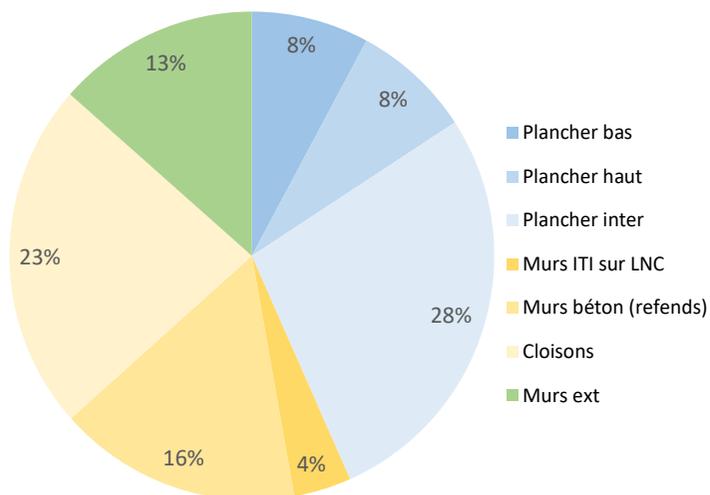
	Contemporain	2050 - RCP 4.5	2050 - RCP 8.5
T°C mini	-8,5	-7,8	-7,6
T°C moy	11,4	12,8	13,4
T°C max	34,5	36,8	37,5
Nh >26°C	287	583	702
Nh >28°C	132	325	398
Nh >30°C	46	171	223
Nh >25°C (soir)	41	102	132

DJR (24°C)	Contemporain	2050 - RCP 4.5	2050 - RCP 8.5
Avril	0	0	1
Mai	3	8	6
Juin	15	33	35
Juillet	20	44	55
Août	14	38	51
Septembre	2	5	8
Octobre	0	0	1
Total	54	128	158

# BESOINS DE FROID À L'ÉCHELLE DU QUARTIER

## Modes constructifs

Répartition des parois à l'échelle du bâtiment (R+4)



		Mur ossature bois Structure poteau-poutre béton	100% CLT
Planchers / Toitures	Bas / parking	Isolation sous dalle (15cm) + <b>Dalle béton (20cm)</b>	
	Intermédiaire	<b>Dalle béton (20cm)</b> + carrelage	Placoplatre (2 BA 18) + Laine de verre (4 cm) + <b>CLT (12cm)</b> + <b>Chape (6 cm)</b> + carrelage
	Haut (terrasse)	<b>Dalle béton (20cm)</b> + Isolant PUR (22cm) + Etanchéité	Placoplatre (2 BA 18) + Laine de verre (10 cm) + <b>CLT (12cm)</b> + Isolant PUR (22cm) + Etanchéité
Murs	Extérieurs	Revêtement ext. + Laine de verre λ32 (14,5 cm) + Laine de verre λ35 (8 cm) + plaque BA 13	Revêtement ext. + Laine de verre λ35 (12 cm) + <b>CLT (14cm)</b> + Laine de verre λ30 (4,5 cm) + plaque BA 13
	Mitoyen	Voile béton (20cm)	Placoplatre (2 BA 18) + Laine de verre (4 cm) + <b>CLT (12cm)</b> + Laine de verre (4 cm) + Placoplatre (2 BA 18)
	Sur LNC (locaux techniques et cage d'ascenseur)	Voile béton (20 cm) + Isolant PSE (10cm) + plaque BA 13	
	Cloisons	plaque BA 13 + Laine de roche (4,5 cm) + plaque BA 13	

# BESOINS DE FROID À L'ÉCHELLE DU QUARTIER

## Résultats

Résultats pour le bâtiment de référence  32 logements 1900 m <sup>2</sup> SHAB	Climat contemporain		Projection 2050 – RCP 4.5		Projection 2050 – RCP 8.5	
	100% CLT	MOB Structure béton	100% CLT	MOB Structure béton	100% CLT	MOB Structure béton
Besoins Froid (kWh)	4664	1240	11356	4840	14178	7511
<b>Besoins Froid (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>2,5</b>	<b>0,7</b>	<b>6,0</b>	<b>2,5</b>	<b>7,5</b>	<b>4,0</b>
Puissance Froid (kW)	77,1	51,3	112,7	70,0	124,7	92,9
<b>Puissance Froid (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>41</b>	<b>27</b>	<b>59</b>	<b>37</b>	<b>65</b>	<b>49</b>

### Hypothèses

Ouverture des fenêtres: avec  
Occultations extérieures: sans

Occupation et apports internes:  
Méthode RE2020 (sans vacances estivales)

Consignes de refroidissement 26°C en occupation Et 30°C hors occupation

Période de calcul: 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre

**Nota** : les puissances de refroidissement sont calculées pour couvrir les configurations « extrêmes »

### ❖ « Structure béton + MOB » vs « 100% CLT » :

- Besoins de froid **2 à 4 fois supérieur** en 100% CLT
- Puissance froid **1,5 fois supérieur** en 100% CLT

### ❖ Evolution climatique

- Besoins de froid :
  - 100% CLT : **2,4 (RCP 4.5) à 3,0 fois (RCP 8.5)** supérieur d'ici 2050
  - Structure béton + MOB : **3,6 (RCP 4.5) à 6,0 fois (RCP 8.5)** supérieur d'ici 2050
- Puissance froid **1,4 fois (RCP 4.5) à 1,8 fois (RCP 8.5)** supérieur d'ici 2050

# BESOINS DE FROID À L'ÉCHELLE DU QUARTIER

## Puissances et Besoins de froid à l'échelle du quartier – Fichier météo contemporain

CIT 13	
Besoins Fr (MWh)	4,3
Pui. Fr. (kW)	69,8

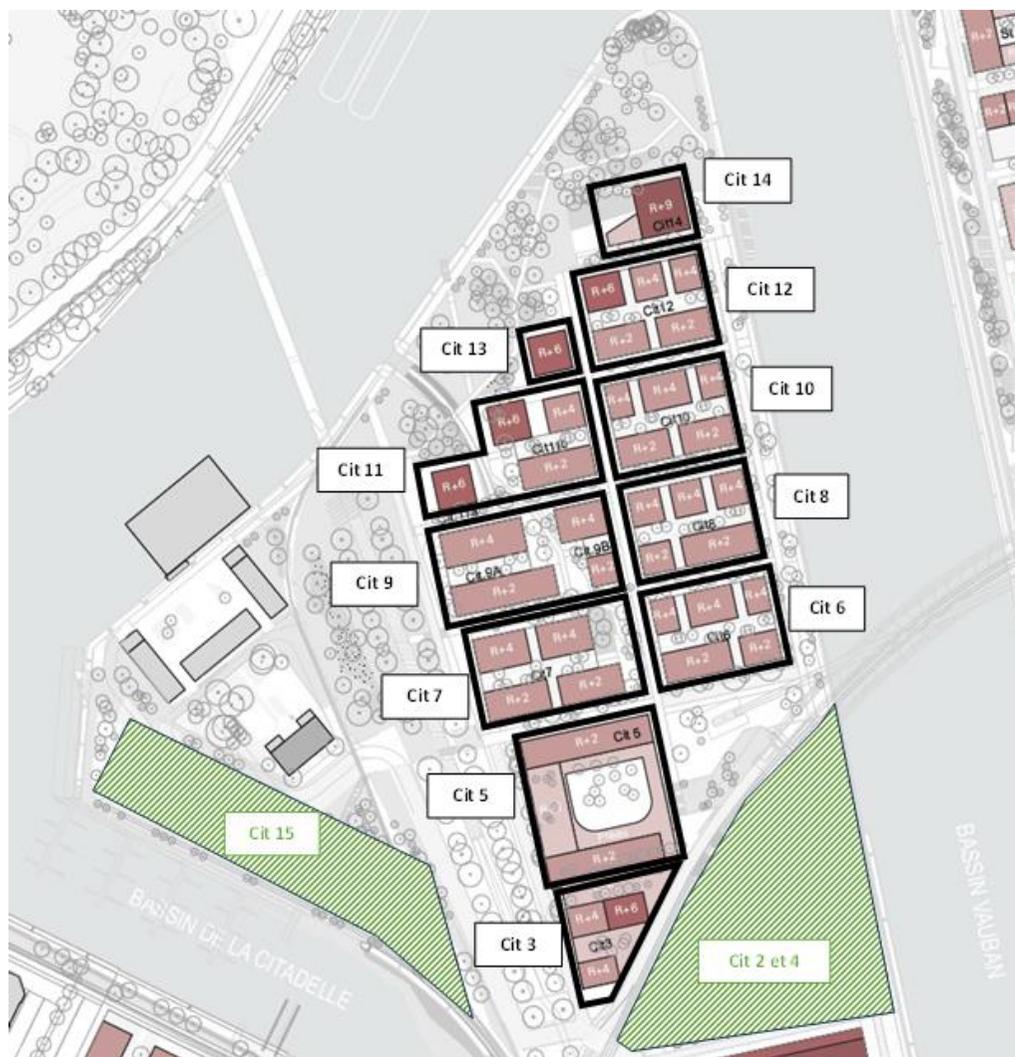
CIT 11	
Besoins Fr (MWh)	10,2
Pui. Fr. (kW)	104

CIT 9	
Besoins Fr (MWh)	9,8
Pui. Fr. (kW)	195

CIT 7	
Besoins Fr (MWh)	7,4
Pui. Fr. (kW)	148

CIT 5	
Besoins Fr (MWh)	20
Pui. Fr. (kW)	201

CIT 3	
Besoins Fr (MWh)	7,3
Pui. Fr. (kW)	120



CIT 14	
Besoins Fr (MWh)	10,0
Pui. Fr. (kW)	164

CIT 12	
Besoins Fr (MWh)	8,4
Pui. Fr. (kW)	166

CIT 10	
Besoins Fr (MWh)	7,6
Pui. Fr. (kW)	152

CIT 8	
Besoins Fr (MWh)	7,6
Pui. Fr. (kW)	152

CIT 6	
Besoins Fr (MWh)	8,0
Pui. Fr. (kW)	150

TOTAL	
Besoins Fr (MWh)	100,8
Pui. Fr. (kW)	1721

# SOMMAIRE

---

1 – Périmètre d'étude

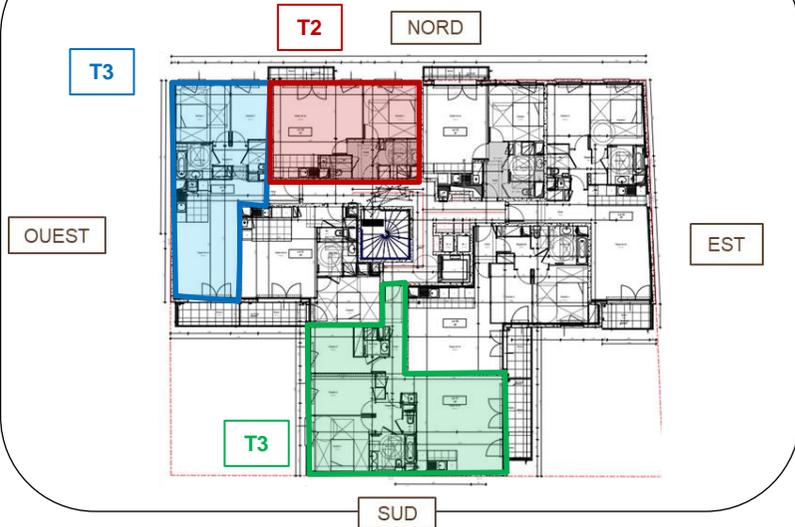
2 – Besoins de froid à l'échelle du quartier

**3 – Leviers d'actions pour limiter les besoins de refroidissement**

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Méthodologie

Echantillonnage ( 6 logements – 3 au R+2 / 3 au R+4 )



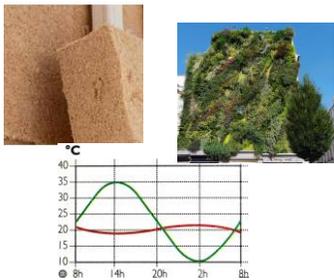
**Données météorologiques :** 1 fichier météo (RCP 8.5)

**Données de sortie** (à l'échelle du logement et du bâtiment):

- Besoins de froid à 26°C (kWh/m².an)
- Nombre d'heures d'inconfort > 28°C

## Quels leviers ?

**Choix du matériau – Inertie - Déphasage**



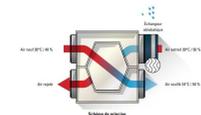
**Choix des occultations** (position, perméabilité, gestion, ... )



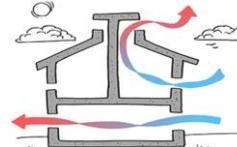
**Brasseurs d'air**



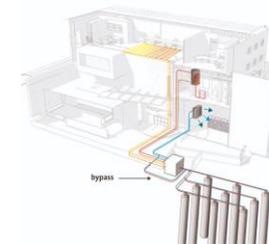
**Adiabatique**



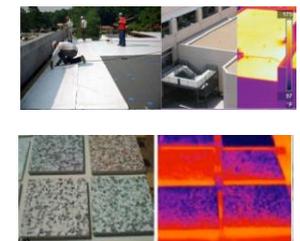
**Ventilation naturelle** (caractère traversant, ouverture des baies ...)



**Geocooling**



**Albedo** (revêtement extérieur)



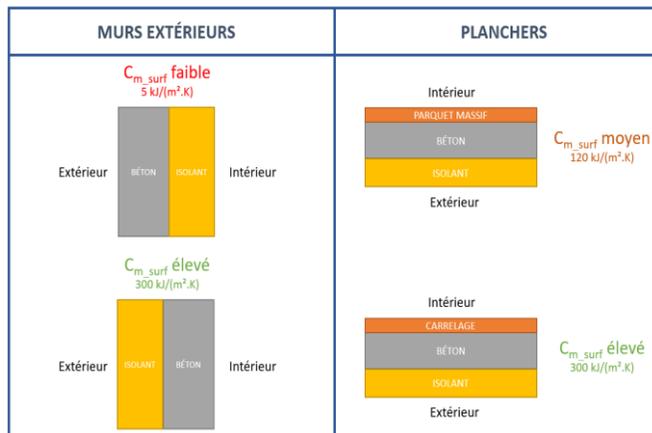
# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Choix des matériaux – Inertie et déphasage

**Inertie** (à différencier du déphasage) : capacité d'un matériau lourd en contact avec le volume intérieur à stocker et déstocker de la chaleur présente dans le bâtiment. Cette capacité de stockage et déstockage permet d'atténuer les hausses de température intérieure en stockant la chaleur et de la restituer lorsque la température intérieure diminue. *Plus l'inertie est élevée, plus il est difficile de changer la température intérieure du bâtiment.*

### Importance de l'ordre des matériaux dans une paroi

Positionnement de l'isolant ou revêtement avec effet thermique

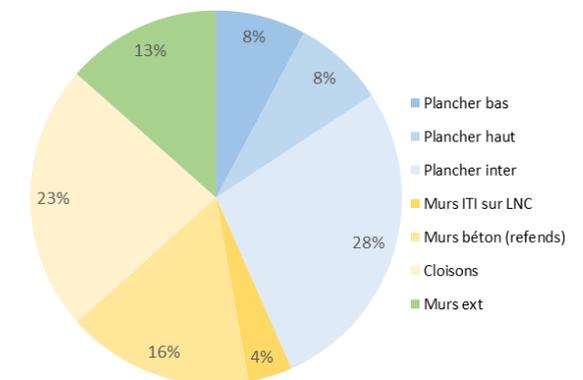


$C_{m\_surf}$ (kJ/m <sup>2</sup> .K)	Mur ossature bois Structure poteau- poutre béton	100% CLT
	Bas / parking	
	274	
	Intermédiaire	231
	Haut (terrasse)	275
	Extérieurs	20
	Mitoyen	185
	Sur LNC	12
	Cloisons	9

Revêtement de sol	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance thermique (m <sup>2</sup> .K/W)	Type de revêtement
Carrelage	2200	0,01	Revêt. sans effet thermique
Linoléum	1200	0,01	
Parquet massif	600	0,09	Revêt. avec effet thermique
Parquet stratifié	880	0,11	
Moquette	200	0,15	

### Importance de la surface d'échange équivalente

Répartition des parois à l'échelle du bâtiment (R+4)

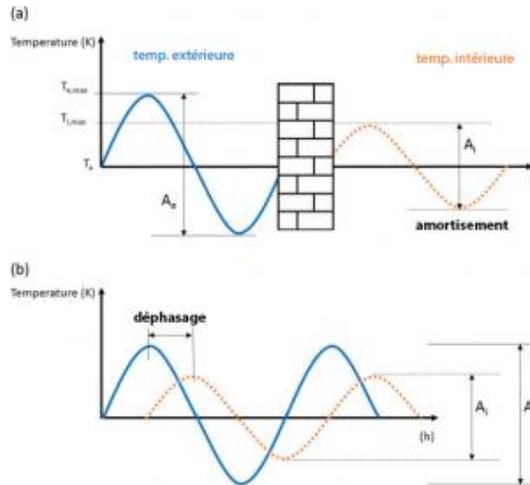


Intérêt de se focaliser sur les parois les plus représentatives et mieux réparties à l'échelle du bâtiment (ex : planchers intermédiaires, cloisons intérieures, ...)

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Choix des matériaux – Inertie et déphasage

**Déphasage** (à différencier de l'inertie) : capacité d'une paroi extérieure à ralentir la mise en place du flux de propagation de la chaleur extérieur vers l'intérieur du bâtiment.



→ Favoriser des **matériaux lourds** (béton, pierre, brique,..) pour les **parois en contact direct avec le volume intérieur**

→ Favoriser un **bon déphasage** pour les matériaux des parois donnant sur l'**extérieur**

## Intérêt sur le confort d'été et les besoins de refroidissement

- Limiter les hausses de températures et décaler le pic de température dans le bâtiment en journée

## Limites de ce levier d'optimisation

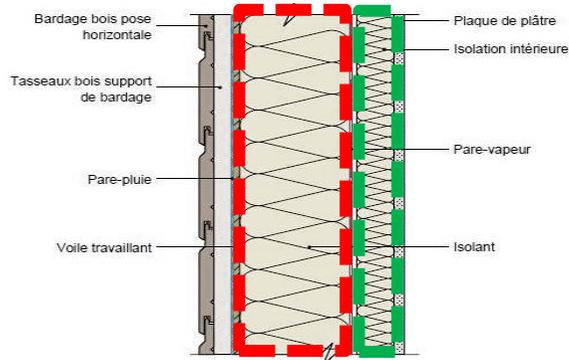
- Une forte inertie est bénéfique pour gérer les surchauffes en journée, **nécessité de maîtriser le déstockage** en fin de journée pour le confort nocturne
- Une faible inertie va moins bien gérer les montées en températures le jour mais bénéficiera d'une meilleure capacité de déstockage le soir.

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Choix des matériaux – Inertie et déphasage

### Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

#### Murs extérieurs



		$\lambda$ (W/m.K)	Ep. (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Chaleur spé. (J/kg.K)
Cas n°1	Laine de verre	0,032	0,145+0,08	25	1030
Cas n°2	Laine de bois	0,039	0,18+0,09	55	1910

#### Mode constructif : Structure béton + MOB

Murs extérieurs LdV → LdB	Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C		
	LdV	LdB	LdV	LdB	LdV	LdB	
R+2	T2	2,9	2,8	38	38	76h	74h
	T3	4,7	4,6	52	52	97h	87h
	T4	4,6	4,5	59	59	84h	82h
R+4	T2	6,3	6,2	74	74	112h	104h
	T3	6,2	6,1	56	56	119h	109h
	T4	6,1	5,5	61	61	110h	101h
<b>Bâtiment</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>49</b>	<b>49</b>	-		

→ Impact *faible* sur les besoins de refroidissement à l'échelle du bâtiment lorsque les niveaux d'isolation sont conséquents et des matériaux d'une masse volumique faible.

**Réduction de 3% des besoins de froid**

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

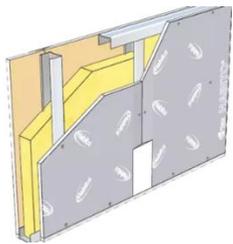
## Choix des matériaux – Inertie et déphasage

Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

### Cloisons intérieures

Base

Cloison placo 72/48



Cas n°1

Brique plâtrière



*C<sub>m</sub>* surf  
(kJ/m<sup>2</sup>/K)

Cas n°	Matériau	<i>C<sub>m</sub></i> surf (kJ/m <sup>2</sup> /K)
Cas n°1	Cloison placo 72/48	9
Cas n°2	Brique plâtrière (enduit plâtre)	29

### Mode constructif : Structure béton + MOB

Cloisons int. Base → Brique Plât.		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C	
		Base	Brique Plât.	Base	Brique Plât.	Base	Brique Plât.
R+2	T2	2,9	2,8	38	38	76h	64h
	T3	4,7	4,6	52	52	97h	86h
	T4	4,6	4,5	59	59	84h	73h
R+4	T2	6,3	6,0	74	74	112h	99h
	T3	6,2	6,2	56	56	119h	110h
	T4	6,1	6,0	61	61	110h	96h
<b>Bâtiment</b>		<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>49</b>	<b>49</b>	-	

→ Impact *faible* dans le cadre d'une structure béton qui présente de base une inertie intéressante avec refends et planchers béton.

**Réduction de 3% des besoins de froid**

### Mode constructif : 100% CLT

Cloisons int. Base → Brique Plât.		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C	
		Base	Brique Plât.	Base	Brique Plât.	Base	Brique Plât.
R+2	T2	5,8	5,1	54	54	207h	155h
	T3	8,8	7,9	75	75	255h	226h
	T4	8,9	7,7	74	74	236h	182h
R+4	T2	14,3	13,5	143	124	294h	280h
	T3	11,7	10,4	97	96	284h	268h
	T4	12,8	11,4	103	101	293h	265h
<b>Bâtiment</b>		<b>7,5</b>	<b>6,7</b>	<b>66</b>	<b>68</b>	-	

→ Impact *intéressant* dans le cadre d'une structure légère avec **une réduction de +10% des besoins de froid**

→ Diminution des temps d'inconfort de 10 à 25% suivant les logements

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Choix des matériaux – Inertie et déphasage

### Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

#### Plancher intermédiaire

##### Base

Carrelage



##### Cas n°1

Parquet stratifié



		$\lambda$ (W/m.K)	Ep. (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Chaleur spé. (J/kg.K)
Cas n°1	Carrelage	1,7	0,08	2300	700
Cas n°2	Parquet stratifié	0,07	0,08	900	1260

	$C_{m\_surf}$ (kJ/m <sup>2</sup> /K)	
	Plancher béton	Plancher CLT
Carrelage	231	169
Parquet strat.	89	89

#### Mode constructif : Structure béton + MOB

Revêtement de sol Carrelage → Parquet Strat.		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C	
		Carr.	Parq. Strat.	Carr.	Parq. Strat.	Carr.	Parq. Strat.
R+2	T2	2,9	3,0	38	38	76h	77h
	T3	4,7	4,6	52	52	97h	99h
	T4	4,6	4,5	59	59	84h	88h
R+4	T2	6,3	6,2	74	74	112h	111h
	T3	6,2	6,0	56	56	119h	118h
	T4	6,1	5,9	61	61	110h	110h
<b>Bâtiment</b>		<b>3,9</b>	<b>4,1</b>	<b>49</b>	<b>49</b>	<b>-</b>	

→ Impact *faible* dans le cas de plancher intermédiaire béton non isolés en sous-face avec réel effet de l'inertie thermique.

#### Mode constructif : 100% CLT

Revêtement de sol Carrelage → Parquet Strat.		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C	
		Carr.	Parq. Strat.	Carr.	Parq. Strat.	Carr.	Parq. Strat.
R+2	T2	5,8	6,1	54	54	207h	218h
	T3	8,8	9,3	75	75	255h	276h
	T4	8,9	9,5	74	75	236h	261h
R+4	T2	14,3	14,5	143	141	294h	302h
	T3	11,7	12,1	97	96	284h	290h
	T4	12,8	13,4	103	104	293h	309h
<b>Bâtiment</b>		<b>7,5</b>	<b>8,0</b>	<b>66</b>	<b>66</b>	<b>-</b>	

→ Impact *notable* dans le cas des planchers CLT isolés en sous-face avec une chape béton de 5cm. L'isolation en sous-face coupe partiellement l'effet d'inertie et la mise en œuvre d'un revêtement à effet thermique supprime tout intérêt de la chape.

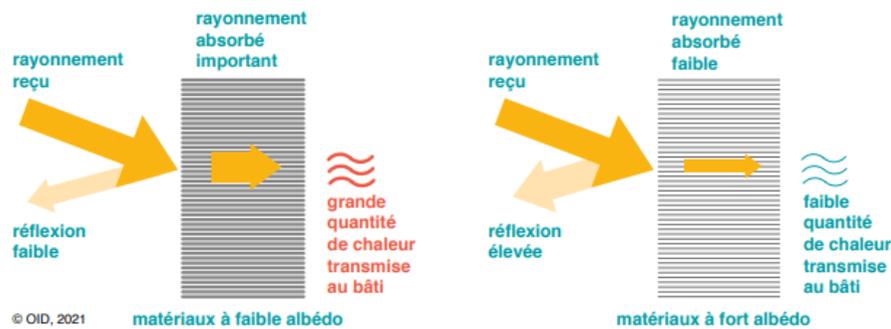
Remplacement d'un carrelage par du parquet :  
**+6% sur les besoins de refroidissement**

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Revêtements extérieurs - Albédo

**Principe :** capacité d'une surface à réfléchir le rayonnement solaire pour limiter l'absorption de chaleur de la paroi et du bâtiment

ILLUSTRATION DES PROPRIÉTÉS RÉFLÉCHISSANTES DES REVÊTEMENTS DE MURS ET DE TOITS À FORT ALBÉDO



Source : OID,2021

Matériaux moyen albédo	Matériaux à fort albédo	
Brique rouge clair (0,45)	Brique ivoire à crème (0,65)	Peintures et enduits clairs (entre 0,67 et 0,82)
		
<i>(cf. Référentiel/exigence « Choisir les produits de construction afin de limiter au maximum les émissions issues de ces produits »)</i>		

### Intérêt sur le confort d'été et les besoins de refroidissement

- Limiter l'absorption solaire des parois extérieures (murs et/ou toiture)

### Limites de ce levier d'optimisation

- Absorption solaire limitée dans le cas de parois bien isolées ce qui est le cas d'un bâtiment RE2020
- Dans le cas de forte réflexion, possibilité d'éblouissement → privilégier un traitement des toitures
- Revêtement extérieur possiblement encadré par les autorités locales (PLU)

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Revêtements extérieurs - Albédo

Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

Mode constructif : Structure béton + MOB							
Albédo des murs extérieurs		Besoins de froid (kWh/m²)		Puissance froid (W/m²)		Heures > 28°C	
		Albd : 0,10	Albd : 0,70	Albd : 0,10	Albd : 0,70	Albd : 0,10	Albd : 0,70
R+2	T2	3,0	<b>2,8</b>	38	38	74h	68h
	T3	4,9	<b>4,6</b>	52	52	102h	93h
	T4	4,8	<b>4,5</b>	59	59	86h	83h
R+4	T2	6,4	<b>6,2</b>	74	74	111h	106h
	T3	6,4	<b>6,0</b>	56	56	125h	110h
	T4	6,2	<b>5,9</b>	61	61	116h	105h
<b>Bâtiment</b>		<b>4,1</b>	<b>3,8</b>	<b>49</b>	<b>48</b>	-	-

Mode constructif : Structure béton + MOB							
Albédo des toitures		Besoins de froid (kWh/m²)		Puissance froid (W/m²)		Heures > 28°C	
		Albd : 0,10	Albd : 0,70	Albd : 0,10	Albd : 0,70	Albd : 0,10	Albd : 0,70
R+2	T2	2,9	<b>2,9</b>	38	38	72h	70h
	T3	4,7	<b>4,7</b>	52	52	97h	97h
	T4	4,6	<b>4,6</b>	59	59	84h	84h
R+4	T2	6,5	<b>6,1</b>	74	74	112h	105h
	T3	6,4	<b>6,0</b>	57	56	126h	109h
	T4	6,4	<b>5,9</b>	61	60	116h	104h
<b>Bâtiment</b>		<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>49</b>	<b>49</b>	-	-

Impact du coefficient de réflexion des murs extérieurs de l'ordre de 7% sur les besoins de refroidissement entre deux valeurs « extrêmes »

→ Gain moyen de 3% sur les besoins de refroidissement entre un revêtement d'un albédo de 0,4 à 0,7

Favoriser un coefficient de réflexion compris entre 0,4 et 0,7 pour les façades extérieures

→ Impact du coefficient de réflexion des toitures **uniquement pertinent sur le niveau inférieur**, pas d'impact notable à l'échelle du bâtiment

→ Gain de 6 à 8% sur les besoins de refroidissement pour les logements situés sous la toiture

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Revêtements extérieurs - Albédo

Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

Mode constructif : 100% CLT							
Albédo des murs extérieurs		Besoins de froid (kWh/m²)		Puissance froid (W/m²)		Heures > 28°C	
		Albd : 0,10	Albd : 0,70	Albd : 0,10	Albd : 0,70	Albd : 0,10	Albd : 0,70
R+2	T2	6,0	5,7	54	54	211h	197h
	T3	9,0	8,6	73	72	264h	253h
	T4	9,1	8,7	75	74	246h	234h
R+4	T2	14,4	14,1	143	118	293h	293h
	T3	11,9	11,4	96	92	288h	280h
	T4	13,1	12,6	104	103	299h	294h
Bâtiment		7,6	7,3	66	65	-	

Mode constructif : 100% CLT							
Albédo des murs extérieurs		Besoins de froid (kWh/m²)		Puissance froid (W/m²)		Heures > 28°C	
		Albd : 0,10	Albd : 0,70	Albd : 0,10	Albd : 0,70	Albd : 0,10	Albd : 0,70
R+2	T2	5,8	5,8	54	54	207h	208h
	T3	8,8	8,7	75	73	255h	255h
	T4	8,9	8,9	74	74	237h	236h
R+4	T2	14,7	13,8	146	118	296h	291h
	T3	12,1	11,2	97	92	291h	279h
	T4	13,4	12,4	104	102	303h	295h
Bâtiment		7,6	7,4	66	65	-	

Impact du coefficient de réflexion des murs extérieurs de l'ordre de 4% sur les besoins de refroidissement entre deux valeurs « extrêmes ».

→ Gain moyen de 2% sur les besoins de refroidissement entre un revêtement d'un albédo de 0,4 à 0,7

Favoriser un coefficient de réflexion compris entre 0,4 et 0,7 pour les façades extérieures

→ Impact du coefficient de réflexion des toitures uniquement pertinent sur le niveau inférieur, pas d'impact notable à l'échelle du bâtiment.

→ Gain de 6 à 7% sur les besoins de refroidissement pour les logements situés sous la toiture

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Ventilation naturelle

**Principe** : déplacement de l'air grâce aux différences de pression dues au vent qui existent entre les façades du bâtiment et grâce à la différence de masse volumique en fonction de sa température, c'est le principe du tirage thermique

- Ratio d'ouverture des fenêtres



Ouvrant à la française : **80%**



Ouvrant coulissant : **40%**

- Taux d'ouverture par façade

- Caractère traversant/non traversant

- Niveau de bruit

### Intérêt sur le confort d'été et les besoins de refroidissement

- Décharge du bâtiment lorsque les conditions de températures le permettent → *nécessité d'un renouvellement d'air de 10 à 30 volumes par heure*
- Température ressentie par l'occupant par la création d'une vitesse d'air (idem brasseur d'air) → *nécessité d'un renouvellement d'air supérieur à 50 volumes par heure*

### Limites de ce levier d'optimisation

- Maitrise de la gestion d'ouverture : occupation, températures, ...
- Nuisances sonores
- Nuisances visuelles (mise en place d'occultation limitant les débits d'air)
- Potentiel de rafraîchissement moins intéressant en période de canicule (*écart de température plus faible entre intérieur et extérieur*)
- Vitesses du vent (**pas de garantie des débits**)
- Sécurité (logement en RDC par exemple)
- Agencement du logement (**logements non traversants**, ...)

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Ventilation naturelle

### Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

#### Caractéristiques initiales :

- **Surface de baie = 18% SHAB** → 165 m<sup>2</sup> d'ouvrants à la française (*ouvrable à 80%*) et 166 m<sup>2</sup> de baies (*ouvrable à 40%*)
- Conditions d'ouverture : **en occupation** suivant conditions de températures (**décalage de +3°C autorisé entre T°int et T°ext / convention RE2020**) / possibilité d'ouverture nocturne

#### Variantes étudiées:

- Taux d'ouverture : réduction de 50%
- Ventilation nocturne : sans → assimilation à mise en place d'une occultation très peu perméable ou zone de bruit forte

Mode constructif : Structure béton + MOB										
Taux d'ouverture des fenêtres		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )			Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )			Heures > 28°C		
		Base	Réduction de 50%	Pas de ventilation nocturne	Base	Réduction de 50%	Pas de ventilation nocturne	Base	Réduction de 50%	Pas de ventilation nocturne
R+2	T2	2,9	4,4	7,0	38	36	44	76h	170h	211h
	T3	4,7	5,4	8,8	52	50	55	97h	158h	211h
	T4	4,6	4,8	8,4	59	46	52	84h	126h	204h
R+4	T2	6,3	6,7	12,0	74	53	61	112h	154h	208h
	T3	6,2	7,2	11,3	56	59	62	119h	205h	230h
	T4	6,1	6,6	10,7	61	54	62	110h	170h	218h
<b>Bâtiment</b>		<b>3,9</b>	<b>4,7</b>	<b>7,9</b>	<b>49</b>	<b>44</b>	<b>51</b>	-		

Rôle fort de la ventilation naturelle dans le confort estival :

→ Réduction de 50% de part ouvrable entraîne une **augmentation de 20% des besoins de refroidissement et de plus de 50% des temps d'inconfort**

→ La ventilation nocturne permettant notamment de décharger le bâtiment permet de **diviser par 2 les besoins de refroidissement**

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Ventilation naturelle

### Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

Rôle fort de la ventilation naturelle dans le confort estival :

Mode constructif : 100% CLT										
Taux d'ouverture des fenêtres		Besoins de froid (kWh/m²)			Puissance froid (W/m²)			Heures > 28°C		
		Base	Réduction de 50%	Pas de ventilation nocturne	Base	Réduction de 50%	Pas de ventilation nocturne	Base	Réduction de 50%	Pas de ventilation nocturne
R+2	T2	5,8	4,4	7,0	54	56	59	207h	327h	286h
	T3	8,8	8,6	8,8	75	77	80	255h	317h	291h
	T4	8,9	8,2	8,4	74	78	83	236h	299h	276h
R+4	T2	14,3	13,3	12,0	143	112	146	294h	351h	310h
	T3	11,7	11,6	11,3	97	97	113	284h	359h	316h
	T4	12,8	12,1	10,7	103	98	116	293h	362h	316h
Bâtiment		7,5	7,5	10,1	66	69	71	-		

→ Réduction de 50% de part ouvrable n'entraîne pas d'augmentation des besoins de refroidissement mais **une augmentation de 30% des temps d'inconfort**

→ La ventilation nocturne permettant notamment de décharger le bâtiment permet de **réduire de 25% les besoins de refroidissement et de plus de 10% les durées d'inconfort**

La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres est un levier déterminant dans la gestion du confort d'été mais nécessite une maîtrise à l'échelle individuelle et collective. On note un impact plus conséquent pour des bâtiments avec une inertie plus élevée qui nécessitent une décharge plus importante.

→ Favoriser la part ouvrable des menuiseries extérieures et les logements traversants

Les simulations sans possibilité de ventilation nocturne montrent l'intérêt d'un recours à des **protections solaires perméables (BSO, VLO, VR à projection)** (cf paragraphe occultation)

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Occultations extérieures

**Principe** : protection fixe ou mobile appliquée à une menuiserie extérieure permettant de contrôler les apports solaires et lumineux

### Caractérisation d'une occultation

#### Propriétés thermiques intrinsèques

**Transmission** thermique et lumineuse

**Réflexion** thermique et lumineuse

**Absorption** thermique et lumineuse

#### Gestion de l'occultation

**Manuelle**

**Motorisée**

**Automatique**

#### Perméabilité (taux de passage d'air)

**Volets roulants / stores enroulables** : 10%

**Volets roulants à agrafes** : 25%

**Volets battants persiennes** : 50%

**Lames orientables / projection / BSO** : 75%



Volet coulissant déporté du mur



Volet battant persienne



Store à projection



Volet roulant à lame orientable



Volet roulant à projection



Vénitien extérieur (BSO)

### Intérêt sur le confort d'été et les besoins de refroidissement

- Limiter les apports solaires

### Limites de ce levier d'optimisation

- **Maitrise de la gestion de fermeture** : occupation, ...
- Réduction du taux de passage d'air et **limitation possible du renouvellement d'air naturel** (favoriser des occultations perméables : BSO, VLO, ...) → Permettre un taux de passage d'air d'a minima 30%

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Occultations extérieures

**Possibilité 1:** Protection solaire de baie ajourée (30% passage d'air minimum) dont le facteur solaire est  $g < 0,15$  (seuls 15% des apports solaires traversent)



Volet battant ajouré



Volet accordéon ajouré



Volet battant à lame orientable



Vénitien extérieur (ou BSO : brise soleil orientable)



Volet coulissant ajouré



Store à projection



Volet roulant à lame orientable



Volet roulant ou battant ou accordéon à projection

**Possibilité 2 :** Tous les types d'occultation de la baie sont possibles si la baie est suffisamment protégée



Combinaison de débord et de protection verticale mobile ou fixe



Casquette (dimensions variables selon la baie et l'orientation)



Auvent enroulable

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Occultations extérieures

### Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

#### Mode constructif : Structure béton + MOB

Occultation extérieure		Besoins de froid (kWh/m²)		Puissance froid (W/m²)		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	2,9	1,2	38	31	76h	37h
	T3	4,7	2,3	52	45	97h	49h
	T4	4,6	2,5	59	55	84h	49h
R+4	T2	6,3	2,7	74	63	112h	16h
	T3	6,2	2,9	56	48	119h	45h
	T4	6,1	3,1	61	54	110h	45h
<b>Bâtiment</b>		<b>3,9</b>	<b>2,0</b>	<b>49</b>	<b>27</b>	-	

→ La mise en place d'occultation extérieure a logiquement un impact conséquent sur les besoins de refroidissement et les durées d'inconfort.

#### Réduction des besoins de refroidissement jusqu'à 50%

Combinée avec une solution de type brasseur d'air, cette solution apparaît compatible pour une projection 2050 en termes de confort d'été pour ce type de mode constructif (béton + remplissage MOB)

#### Mode constructif : 100% CLT

Occultation extérieure		Besoins de froid (kWh/m²)		Puissance froid (W/m²)		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	5,8	2,4	54	31	207h	64h
	T3	8,8	4,3	75	45	255h	86h
	T4	8,9	4,8	74	54	236h	88h
R+4	T2	14,3	6,2	143	65	294h	135h
	T3	11,7	5,3	97	57	284h	121h
	T4	12,8	6,3	103	62	293h	146h
<b>Bâtiment</b>		<b>7,5</b>	<b>3,7</b>	<b>66</b>	<b>43</b>	-	

Les résultats sur le mode constructif 100% CLT sont sensiblement équivalents :

#### Réduction des besoins de refroidissement jusqu'à 50%

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Occultations extérieures

Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

	Stores toiles extérieurs zippé	Volets battants Persiennes	Volet roulant	Volet roulant à projection	Volets à lames orientables	BSO
Gestion de l'apport lumineux	+	++	+	++	+++	+++
Facteur solaire protection fermée	++	++	+++	+++	+++	+++
Ventilation naturelle	+	++	+	+++	+++	+++
Automatisable/ Motorisable	+++	-	+++	+++	+++	+++
Sécurité	-	+++	+++	+++	++	++
Durée de vie	+	++	+++	++	++	++
Prix	/	Sans surcoût	Référence	+ 500€HT /logement	+ 1000€HT /logement	+ 1000€HT /logement
Impact carbone	+3 kgeqCO2/m²SHAB	- 10 kgeqCO2/m²SHAB	Référence	=	+4 kgeqCO2/m²SHAB	+4 kgeqCO2/m²SHAB

Echelle d'intérêt de prescription



Fort enjeu des occultations perméables qui permettent une forte réduction des apports solaires la journée et possibilité de ventilation nocturne par ouverture des baies

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Brasseurs d'air

**Principe :** dispositif technique à pales, majoritairement plafonnier, qui crée par sa rotation un flux d'air et des vitesses d'air significatives

Quelques règles de dimensionnement :

- Diamètre de 132cm à 150cm : grands modèles à privilégier
- Un brasseur d'air pour une surface de 10 à 20 m<sup>2</sup> → exclusion des zones à occupation passagère
- Hauteur sous plafond : mini 2,5m - max 3,0m



## Intérêt sur le confort d'été et les besoins de refroidissement

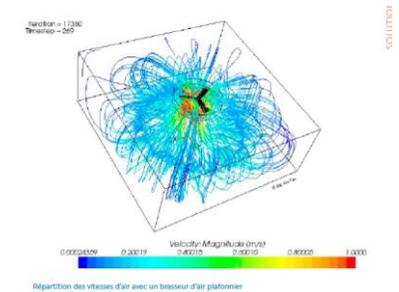
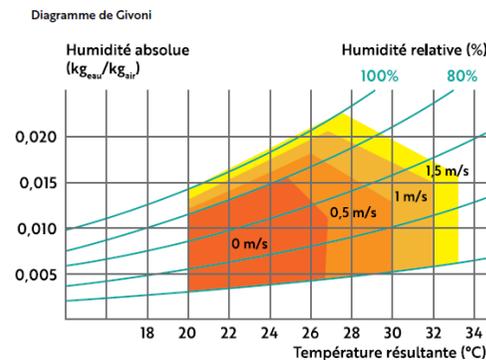
- Température ressentie par l'occupant par la **création d'une vitesse d'air** → pas d'action directe sur la température d'air
- Possibilité de **décaler la consigne de refroidissement et la limite de confort** de l'ordre de 2°C

Température de refroidissement équivalent

Refroidissement équivalent (°C)	Vitesse d'air (m/s)
0 °C	0 m/s
0,5 °C	0,15 m/s
1,0 °C	0,30 m/s
1,5 °C	0,50 m/s
2,0 °C	0,70 m/s
3,0 °C	1,0 m/s

Extrait Guide de Ventilation Woods

Evolution de la zone d'inconfort (diagramme de Givoni)



Répartition des vitesses d'air avec un brasseur d'air plafonnier

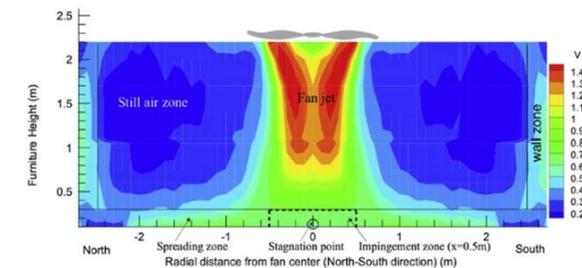


Figure 3 – Répartition de la vitesse d'air avec un ventilateur à pales (Source : Gao et al., 2017)

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Brasseurs d'air

### Limites de ce levier d'optimisation

- **Nouveauté** : solutions peu courantes en métropole
- **Esthétisme** : certains promoteurs peuvent estimer possible blocage pour la vente
- **Agencement du logement et plafond** : implantation plus complexe sous rampants, ...

### Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

Mode constructif : Structure béton + MOB							
Brasseurs d'air		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	2,9	0,5	38	27	76h	0h
	T3	4,7	1,1	52	42	97h	11h
	T4	4,6	1,0	59	47	84h	12h
R+4	T2	6,3	1,5	74	55	112h	11h
	T3	6,2	1,5	56	45	119h	17h
	T4	6,1	1,5	61	48	110h	16h
Bâtiment		3,9	0,8	49	36	-	

Sur des bâtiments avec une structure principale en béton et présentant une bonne inertie, le recours à des brasseurs d'air va réduire très fortement les durées d'inconfort et également les besoins de refroidissement.

→ Réduction de 80% des besoins de refroidissement

Associé à une bonne gestion des occultations extérieures et des ouvertures assurant un renouvellement d'air conséquent, la mise en place de brasseurs permettrait de ne pas installer de rafraîchissement actif.

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Brasseurs d'air

Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

Mode constructif : 100% CLT

Brasseurs d'air		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	5,8	1,7	54	40	207h	42h
	T3	8,8	3,5	75	73	255h	54h
	T4	8,9	3,6	74	71	236h	50h
R+4	T2	14,3	6,3	143	95	294h	92h
	T3	11,7	5,0	97	80	284h	80h
	T4	12,8	5,8	103	84	293h	96h
Bâtiment		7,5	2,8	66	55	-	

Pour des bâtiments présentant **une faible inertie** telle que pour les bâtiments 100% CLT, le recours à des brasseurs d'air apparaît comme un levier d'optimisation plus que pertinent.

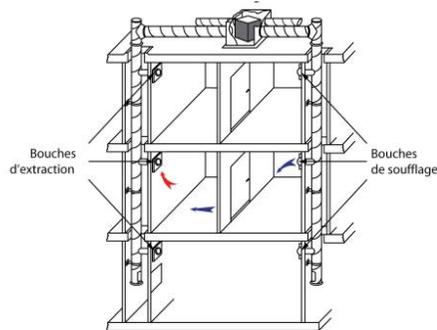
→ Réduction de 60% des besoins de refroidissement

Cependant, à horizon 2050, il apparaît **nécessaire de l'associer à un autre levier d'optimisation (hors occultation et ventilation naturelle)** pour justifier de se passer d'une solution de rafraîchissement actif.

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Ventilation mécanique double flux

**Principe** : le principe de la ventilation double flux est d'assurer le renouvellement hygiénique en insufflant de l'air neuf dans les pièces principales par des bouches de soufflage et en extrayant l'air vicié par des bouches d'extractions dans pièces de service (cuisine, WC, salle de bain).



▲ Figure 1 : Principe d'une installation de VMC double flux en habitat collectif

Cela comprend :

- Ventilateurs d'extraction et d'insufflation et filtres
- *Option* : Récupérateur de chaleur (échangeur statique à plaques, rotatif)
- *Option* : By-pass pour qu'au moins un des flux ne transite pas par l'échangeur (**intérêt en période estivale**)
- *Option* : module adiabatique (**point suivant**)

### Intérêt sur le confort d'été et les besoins de refroidissement

- Mise en place d'un **by-pass indispensable** pour ne pas réchauffer l'air frais nocturne par exemple,
- Possibilité de faire de **la surventilation** en surdimensionnant l'installation (puissance CTA, réseaux, ...) mais surcoût important

### Limites de ce levier d'optimisation

- **Coût de l'installation**
- Longueur des réseaux doublée et espace disponible pour mise en place de la CTA en local technique
- Consommations supplémentaires des ventilateurs

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Ventilation mécanique double flux

Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

### Mode constructif : Structure béton + MOB

Ventilation mécanique double flux		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	2,9	2,6	38	33	76h	67h
	T3	4,7	4,5	52	48	97h	96h
	T4	4,6	4,3	59	53	84h	90h
R+4	T2	6,3	5,8	74	70	112h	106h
	T3	6,2	5,8	56	56	119h	104h
	T4	6,1	5,8	61	57	110h	107h
<b>Bâtiment</b>		<b>3,9</b>	<b>3,7</b>	<b>49</b>	<b>46</b>	<b>-</b>	

→ En termes de confort estival et de besoins de refroidissement, la mise en place d'une ventilation mécanique double n'a pas d'impact significatif.

**Réduction des besoins de refroidissement de 4 à 5%**

### Mode constructif : 100% CLT

Ventilation mécanique double flux		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	5,8	5,4	54	54	207h	191h
	T3	8,8	8,5	75	75	255h	246h
	T4	8,9	8,5	74	78	236h	232h
R+4	T2	14,3	13,6	143	114	294h	292h
	T3	11,7	11,2	97	94	284h	280h
	T4	12,8	12,4	103	100	293h	291h
<b>Bâtiment</b>		<b>7,5</b>	<b>7,2</b>	<b>66</b>	<b>67</b>	<b>-</b>	

Dans le cas où une VMC double flux est prévue, il est intéressant de regarder l'impact d'une solution de **rafraîchissement adiabatique** ou une **batterie hydraulique**.

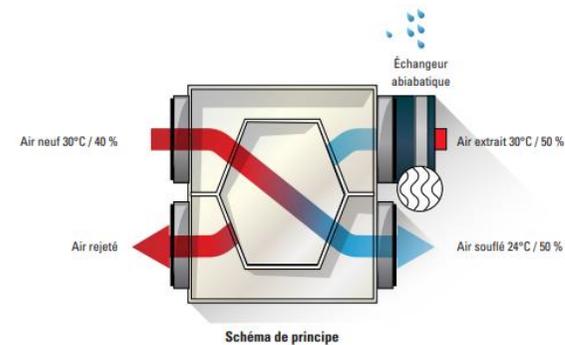
# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Ventilation mécanique double flux – refroidissement adiabatique

**Principe** : le principe consiste à faire traverser un filet d'eau dans un air chaud et sec afin d'en provoquer l'évaporation. L'air cède donc sa chaleur et est refroidi.

Deux refroidissements adiabatiques possibles:

- *Direct* : humidification sur l'air pulsé dans l'ambiance
- *Indirect* : humidification sur l'air extrait avant le passage dans l'échangeur (**cas retenu**)



### Intérêt sur le confort d'été et les besoins de refroidissement

- Air soufflé dans les pièces de vie (chambres, séjour) fortement refroidi

### Limites de ce levier d'optimisation

- Nécessité d'être intégrée à une ventilation mécanique double flux
- Espace supplémentaire dans le local technique
- Débits de ventilation conséquents pour obtenir un impact notable
- Consommations d'eau

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Ventilation mécanique double flux – refroidissement adiabatique

Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

Mode constructif : Structure béton + MOB							
VMC DF– Avec refroidissement adiabatique		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	2,9	4	38	31	76h	54h
	T3	4,7	4	52	45	97h	82h
	T4	4,6	4	59	50	84h	76h
R+4	T2	6,3	5,4	74	68	112h	90h
	T3	6,2	5,4	56	53	119h	96h
	T4	6,1	5,3	61	55	110h	91h
<b>Bâtiment</b>		<b>3,9</b>	<b>3,4</b>	<b>49</b>	<b>35</b>	-	

→ Le module adiabatique associé à une CTA double flux permet de faire un gain intéressant sur les besoins de refroidissement.

On peut noter un écart sur la température de soufflage jusqu'à 5°C entre une CTA avec et sans modula adiabatique (cf graphique slide suivante).

Réduction des besoins de refroidissement de 12 à 13%

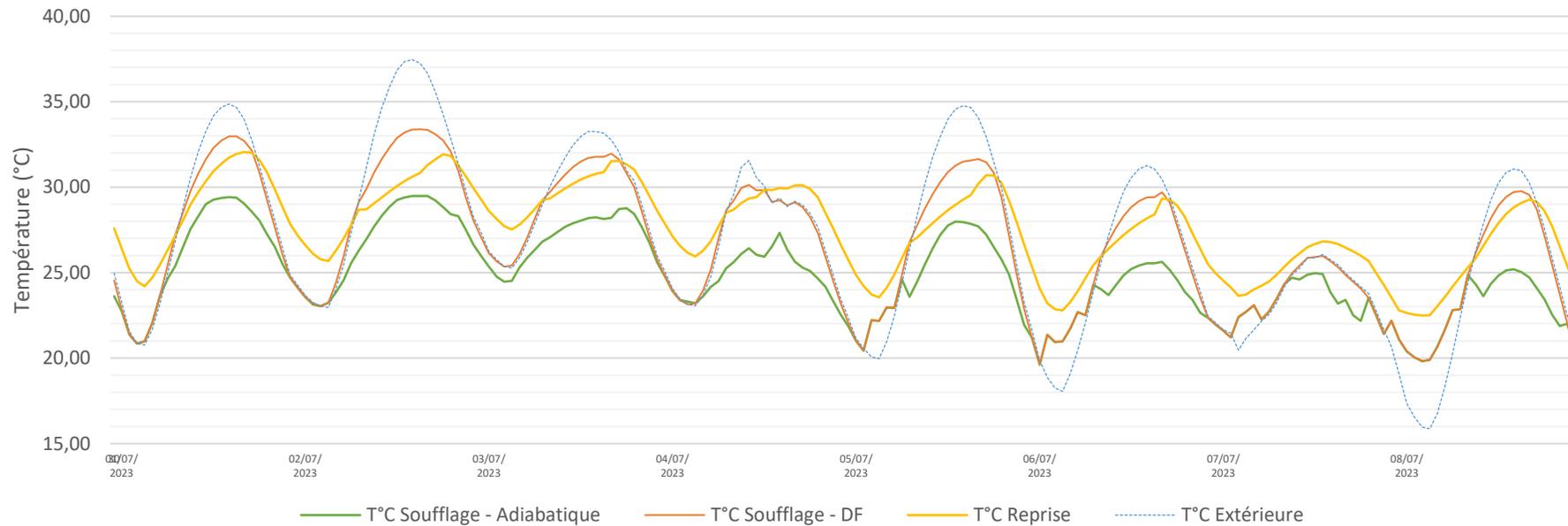
Mode constructif : 100% CLT							
VMC DF– Avec refroidissement adiabatique		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	5,8	4,9	54	50	207h	159h
	T3	8,8	7,9	75	72	255h	212h
	T4	8,9	7,8	74	74	236h	190h
R+4	T2	14,3	12,9	143	110	294h	283h
	T3	11,7	10,6	97	89	284h	262h
	T4	12,8	11,6	103	96	293h	279h
<b>Bâtiment</b>		<b>7,5</b>	<b>6,6</b>	<b>66</b>	<b>64</b>	-	

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Ventilation mécanique double flux – refroidissement adiabatique

Evolution des températures de soufflage (sans refroidissement) avec et sans module adiabatique sur une période en juillet

Evolution des températures de soufflage avec et sans adiabatique



T°C Air	01/07	02/07	03/07	04/07	05/07	06/07	07/07	08/07
Extérieur	34,7	37,5	33,3	30,6	34,8	31,3	26,1	31,1
Reprise	31,4	30,6	30,8	29,4	29,3	28,2	26,8	28,8
Soufflage DF	32,7	33,4	31,8	29,8	31,5	29,4	26,0	29,7
Soufflage Adiabatique	29,4	29,5	28,2	26,1	28,0	25,5	24,9	25,2

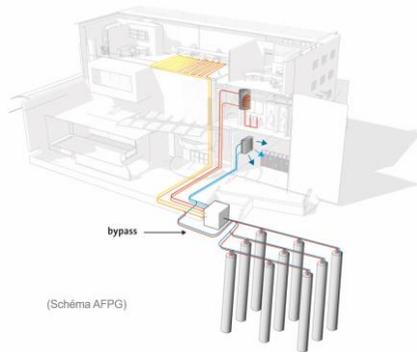
- 2°C en moy / TExt

- 5°C en moy / TExt

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Géocooling

**Principe** : technique de refroidissement passif qui a recours au principe de la géothermie (puiser la fraîcheur du sol via une sonde géothermique) sans utiliser de pompe à chaleur → Consommations uniquement d'un circulateur.



### Emetteurs adaptés au géocooling

Plancher/plafond rafraichissant

Ventilo-convecteur

Centrale de traitement d'air (batterie froide)

### Intérêt sur le confort d'été et les besoins de refroidissement

- Rafraichissement passif par le biais d'un émetteur compatible (plancher rafraichissant ou batterie hydraulique) avec une **eau récupérable** autour de 18°C

### Limites de ce levier d'optimisation

- **Faisabilité technique** de mise en œuvre des sondes géothermiques (potentiel fort sur la nappe du Rhin)
- **Coût de l'installation** (si destination uniquement pour géocooling et/ou refroidissement)
- Mise en œuvre **d'émetteurs basses températures** (PCRBT ou ventilo-convecteur)
- *Pas de cycle charge/décharge du sol si utilisation uniquement en refroidissement (pas dans le cas d'une nappe)*

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Géocooling

Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

### Mode constructif : Structure béton + MOB

Plancher rafraichissant (18°C)		Besoins de froid (kWh/m²)		Puissance froid (W/m²)		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	2,9	/	38	/	76h	/
	T3	4,7	/	52	/	97h	/
	T4	4,6	/	59	/	84h	/
R+4	T2	6,3	/	74	/	112h	/
	T3	6,2	/	56	/	119h	/
	T4	6,1	/	61	/	110h	/
<b>Bâtiment</b>		<b>3,9</b>	<b>0,8</b>	<b>49</b>	<b>20</b>	<b>-</b>	

→ La mise en place d'un plancher rafraichissant associé à une solution de type géocooling permet une **réduction des besoins de refroidissement de 75 à 80%**

### Mode constructif : 100% CLT

Plancher rafraichissant (18°C)		Besoins de froid (kWh/m²)		Puissance froid (W/m²)		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	5,8	/	54	/	207h	/
	T3	8,8	/	75	/	255h	/
	T4	8,9	/	74	/	236h	/
R+4	T2	14,3	/	143	/	294h	/
	T3	11,7	/	97	/	284h	/
	T4	12,8	/	103	/	293h	/
<b>Bâtiment</b>		<b>7,5</b>	<b>1,9</b>	<b>66</b>	<b>19</b>	<b>-</b>	

*Nota : sondes dimensionnées pour assurer le chauffage en PAC et puissance de refroidissement de l'ordre de 20 W/m²*

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## Géocooling

Impact sur les besoins de refroidissement et le confort d'été

### Mode constructif : Structure béton + MOB

VMC DF- Avec batterie froide		Besoins de froid (kWh/m²)		Puissance froid (W/m²)		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	2,9	2,3	38	31	76h	54h
	T3	4,7	4,0	52	45	97h	82h
	T4	4,6	4,0	59	50	84h	76h
R+4	T2	6,3	5,5	74	68	112h	90h
	T3	6,2	5,5	56	51	119h	96h
	T4	6,1	5,4	61	55	110h	91h
<b>Bâtiment</b>		<b>3,9</b>	<b>3,4</b>	<b>49</b>	<b>46</b>	-	

→ La mise en place d'une batterie froide sur une CTA double flux permet une **réduction des besoins de refroidissement de 9 à 12%**

### Mode constructif : 100% CLT

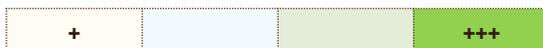
VMC DF- Avec batterie froide		Besoins de froid (kWh/m²)		Puissance froid (W/m²)		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	5,8	5,0	54	46	207h	167h
	T3	8,8	8,1	75	69	255h	234h
	T4	8,9	8,1	74	70	236h	213h
R+4	T2	14,3	13,2	143	105	294h	286h
	T3	11,7	10,8	97	86	284h	271h
	T4	12,8	11,9	103	90	293h	289h
<b>Bâtiment</b>		<b>7,5</b>	<b>6,8</b>	<b>66</b>	<b>60</b>	-	

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## SYNTHESE

Leviers d'optimisation	Base	Variante	Besoins de froid	Nombres d'heures >28°C	Impact Carbone (Ic Construction RE2020) Seuil 2025 : 650 kgeqCO2/m²	Surcoût d'investissement (€HT/logement)
Remplissage MOB	Laine de verre	Laine de bois (résistance thermique équivalente)	Réduction de 2 à 3%	Réduction de 2 à 3%	- 3 kg eq CO2/m²SHAB	/
Revêtement de sol	Parquet stratifié	Carrelage	Structure CLT Réduction de 5 à 6%	Structure CLT Réduction de 5 à 6%	+ 6 kg eq CO2/m²SHAB	/
Facteur de réflexion de la façade extérieure	0,40	0,70	Réduction de 2 à 3%	Réduction de 2 à 3%	/	/
Facteur de réflexion de la toiture	0,10	0,70	Réduction sur le niveau sous toiture uniquement : 6 à 8%	Impact uniquement sur le niveau sous toiture (réduction de 10%)	/	/
Occultations extérieures	Sans	Avec	Réduction de 50%	Réduction de 60%	15 à 30 kg eq CO2/m²SHAB	/
Perméabilité de l'occultation extérieure	VR motorisé	Persiennes / VLO / BSO	Réduction de 25% à 200%	Réduction de 10% à 200%	-10 à +4 kg eq CO2/m²SHAB	+ 500 à +1000 €HT / logement par rapport à VR motorisés

Echelle d'intérêt de prescription



# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## SYNTHESE

Leviers d'optimisation	Base	Variante	Besoins de froid	Nombres d'heures >28°C	Impact Carbone (Ic Construction RE2020) Seuil 2025 : 650 kgeqCO2/m²	Surcoût d'investissement (€HT/logement)
Ventilation naturelle	-	Réduction de 50% de la part ouvrable	Augmentation de 10 à 20%	Augmentation de 30 à 50%	/	/
Brasseurs d'air	Sans	Avec	Réduction de 60 à 75%	Réduction de 75%	+ 17 kg eq CO2/m²SHAB	+ 300 €HT / brasseur d'air
Double flux	Simple Flux Hygro B	Double flux	Réduction de 4 à 5%	Réduction de 4 à 5%	+ 18 kg eq CO2/m²SHAB	+ 3800 €HT / logement
Double flux + Adiabatique	Simple Flux Hygro B	Double flux + Adiabatique	Réduction de 10%	Réduction de 10%	+ 18 kg eq CO2/m²SHAB	+ 4500 €HT / logement
Géocooling + PCRBT	RCU + Radiateurs	Géocooling + <b>PCRBT</b>	Réduction de 75%	Réduction de 75%	Base <u>avec</u> chape : +7 kg eqCO2/m²SHAB Base <u>sans</u> chape : +20 kg eqCO2/m²SHAB	+3030 €HT/logement (base <u>avec</u> chape : CLT) +4230 €HT / logement (base <u>sans</u> chape)
Géocooling + batterie hydraulique	RCU + Radiateurs	Géocooling + CTA DF avec batterie froide	Réduction de 9 à 12%	Réduction de 10%	+ 18 kg eq CO2/m²SHAB	+ 5960 €HT / logement

Echelle d'intérêt de prescription



# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## SYNTHESE

### Proposition de bouquets de solutions – RCP 8.5 2050

#### Mode constructif : Structure béton + MOB

- Brasseur d'air
  - Occultation extérieure perméable
- + 1900 €HT / logement**

Brasseur d'air + Occ. ext. perméable		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	2,9	0,0	38	/	76h	0h
	T3	4,7	0,0	52	/	97h	0h
	T4	4,6	0,0	59	/	84h	0h
R+4	T2	6,3	0,0	74	/	112h	0h
	T3	6,2	0,0	56	/	119h	0h
	T4	6,1	0,5	61	/	110h	0h
<b>Bâtiment</b>		<b>3,9</b>	<b>0,0</b>	<b>49</b>	<b>/</b>	<b>-</b>	

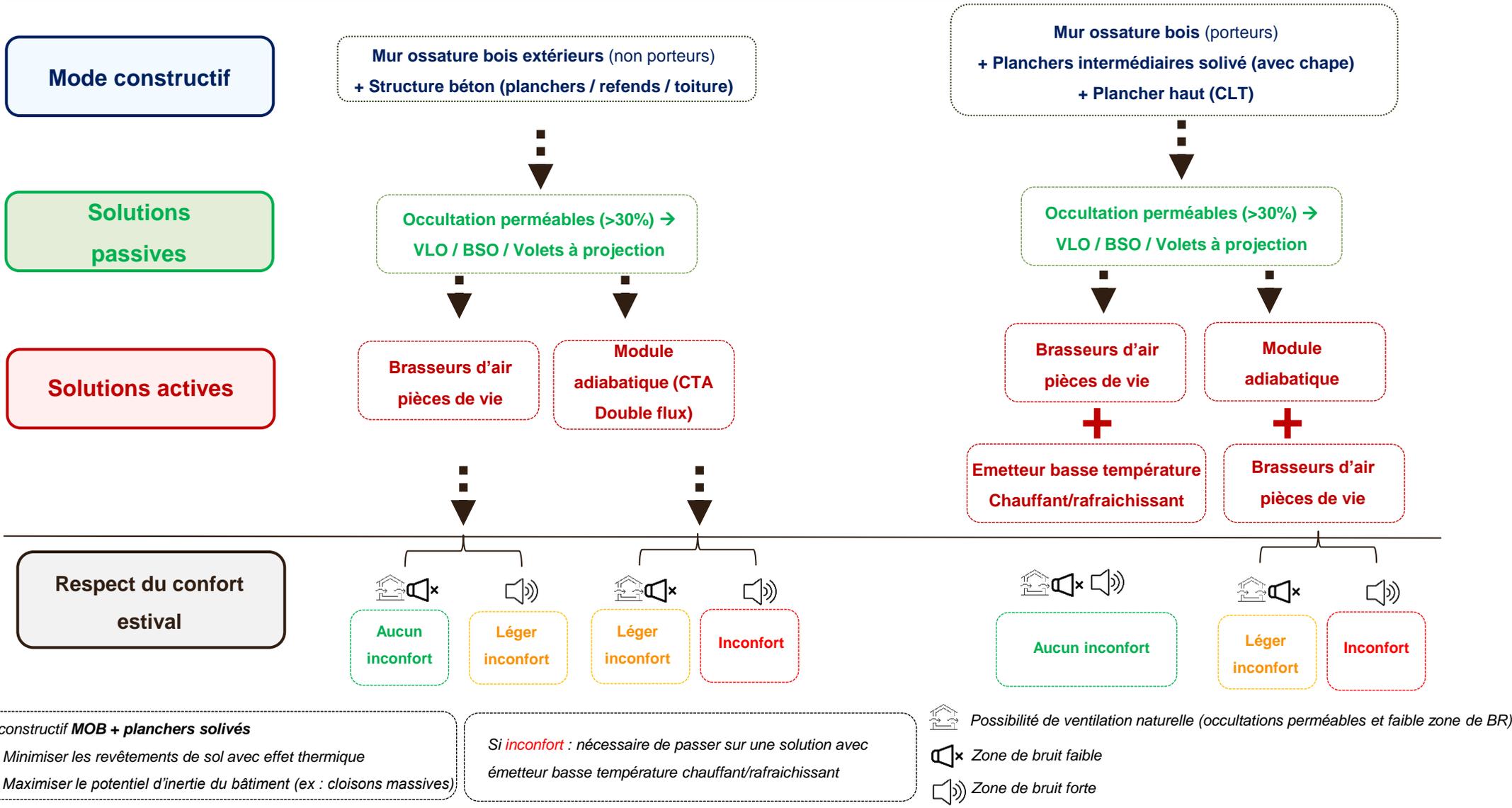
#### Mode constructif : 100% CLT

- Brasseur d'air
  - Géocooling + PCRBT
  - Occultation extérieure perméable
- + 4930 €HT / logement**

Brasseur d'air + Occ. ext. perméable + PCRBT		Besoins de froid (kWh/m <sup>2</sup> )		Puissance froid (W/m <sup>2</sup> )		Heures > 28°C	
		Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
R+2	T2	5,8	0,0	54	/	76h	0h
	T3	8,8	0,0	75	/	97h	0h
	T4	8,9	0,0	74	/	84h	0h
R+4	T2	14,3	0,0	143	/	112h	0h
	T3	11,7	0,0	97	/	119h	0h
	T4	12,8	0,0	103	/	110h	0h
<b>Bâtiment</b>		<b>7,5</b>	<b>0,0</b>	<b>66</b>	<b>/</b>	<b>-</b>	

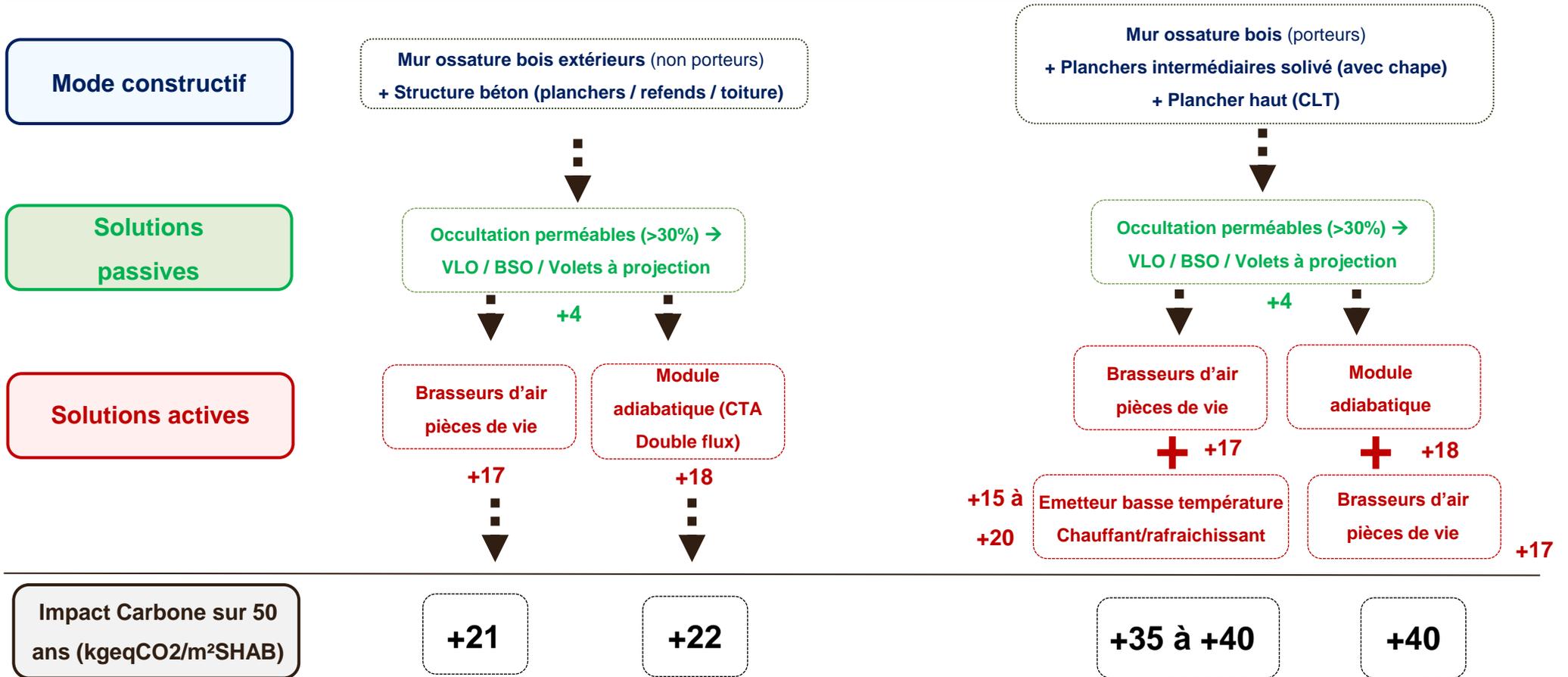
# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## SYNTHESE



# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## SYNTHESE



Une solution de climatisation représenterait :

- Monosplit pour traiter uniquement les séjours : **30 à 35 kgeqCO2/m²SHAB**
- Multisplit pour traiter les chambres et séjours : **65 à 70 kgeqCO2/m²SHAB**

# LEVIERS D'ACTION POUR LIMITER LES BESOINS DE FROID

## SYNTHESE

**Bâtiment « Rafraichissement compatible »** : anticiper une conception pour recevoir une solution de rafraichissement/refroidissement

### Solution de refroidissement possible en résidentiel collectif pour couple avec RCU

Système	Impact Carbone (Ic Construction RE2020) Seuil 2025 : 650 kgeqCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	Surcoût d'investissement (€HT/logement)
Groupe d'eau glacée	128 kg eq CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> SHAB	+700 à 800 €HT/logement
VCV	<b>75*</b> kgeq CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> SHAB	+965 €HT / logement
Plancher PCRBT*	20 kgeq CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> SHAB	+2070 €HT / logement

*\*Base sans chape et radiateurs : possibilité de déduire le coût de la chape et poids carbone si solution initiale intègre une chape (chape → 1200 €HT / logement & 13 kgeqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>SHAB)*

*\*Fiches PEP à venir dans les mois à venir pour une équivalence avec PCRBT*

Dans la configuration où le raccordement au RCU est acté, **intérêt de mise en œuvre d'une solution de type géocooling uniquement pour du refroidissement est limité**

→ Possibilité de déroger au raccordement RCU pour étudier l'intérêt d'une solution réversible en géothermie

→ Etudier l'intérêt technico-économique d'étendre un réseau de froid auprès de RCUA (avec source géothermique) suivant besoins du quartier.

### Bâtiment « rafraichissement compatible »

- Prévoir une émission basse température compatible avec le réseau de chaleur :
  - PCRBT
  - Ventilo-convecteur
- Prévoir espace technique pour PAC aérothermique
- Prévoir fourreau en attente et platine en acier pour la pose des brasseurs d'air
- Si ventilation double flux → réservation pour batterie froide ou module adiabatique

---

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**