

## Solution pour créer de l'Inertie dans une maison MHM :

- Qu'est ce que l'inertie ?

L'inertie thermique est la capacité à résister au changement de température induit par un déséquilibre thermique. Elle est mise en évidence par la lenteur d'un matériau à retrouver son équilibre thermique après un changement de température. En conséquent, une forte inertie permet d'augmenter le temps de réponse d'un matériau suite à un apport extérieur. Globalement, plus un matériau est dense, plus il a d'inertie. C'est pourquoi on parle aussi de masse thermique.

**L'inertie thermique d'un bâtiment est donc sa capacité à stocker et de restituer des quantités importantes d'énergie dans sa structure.**

### Plus précisément :

L'inertie est définie à l'aide de plusieurs grandeurs caractéristiques du matériau choisi :

Capacité thermique (chaleur spécifique) : plus la capacité thermique d'un matériau est grande, plus le matériau pour un poids donné peut stocker de la chaleur. *Il faut donc une grande capacité thermique pour avoir une bonne inertie.*

Diffusivité thermique : vitesse de propagation de la chaleur dans le matériau. *Il faut une diffusivité faible pour avoir une bonne inertie.*

Effusivité thermique : aptitude du matériau à échanger de la chaleur avec l'extérieur. *Il faut une effusivité élevée pour avoir une bonne inertie.*

Densité : une forte densité augmente l'inertie d'un matériau.

- Les avantages dans l'habitat :

Les variations des températures extérieurs sont périodiques. La température du bâtiment suit ces variations mais avec :

- **un amortissement** : permet d'atténuer la chaleur ou le froid accumulé. *Correspond à la proportion de l'onde extérieure transmise à l'intérieur.*
- **un déphasage** : permet de retarder les effets de variation de température, et de décaler dans le temps "l'apport de chaleur et son accumulation" et sa restitution. *Correspond au temps écoulé entre les pics de chaleur intérieurs et extérieurs, avec une valeur adéquate de 10 à 12h.*

- Le but :

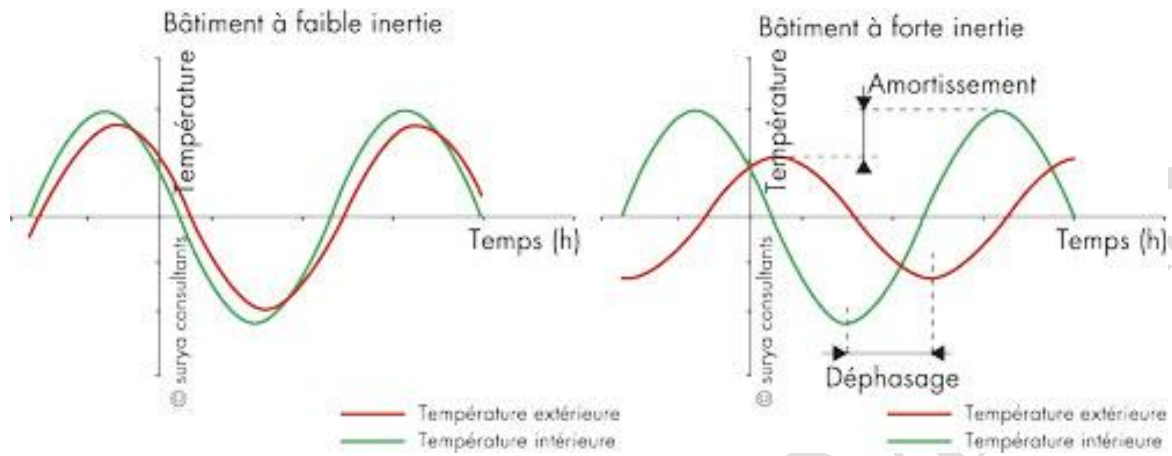
**En hiver** : stocker les apports solaires ou de chauffage puis restituer les calories, et protéger du refroidissement la nuit.

**En été** : absorber les calories excédentaires, éviter une "surchauffe" en déphasant et en amortissant le flux de chaleur extérieur.

Détail du fonctionnement de l'inertie :

Déphasage et amortissement :

Explication :

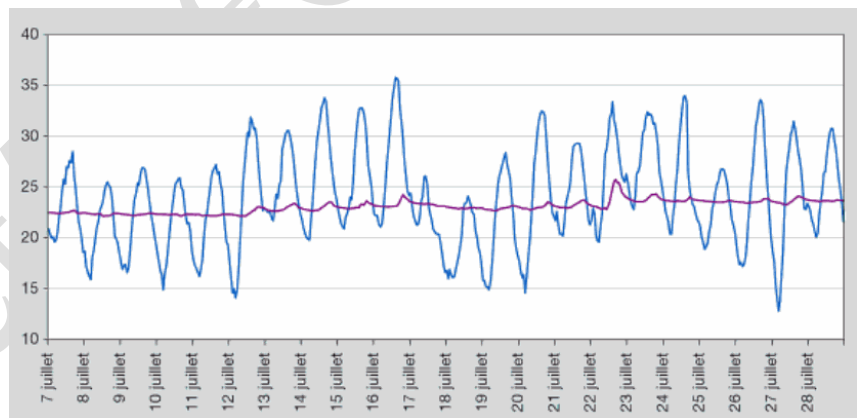


Interprétation :

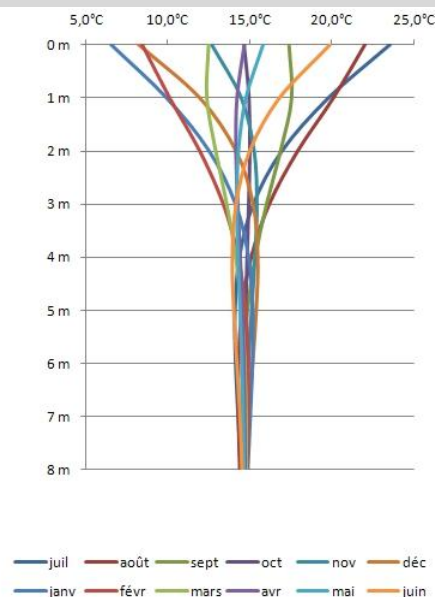
L'amortissement permet de diminuer la température à l'intérieur du bâtiment, tandis que le déphasage "décale" dans le temps, l'apport et la restitution de chaleur.

Observation :

**Exemple de maison à forte inertie :** La température intérieure de la maison ne suit pas les variations des températures journalières. Elle reste stable.



**Exemple d'amortissement dans le sol :** Les apports de chaleurs en surface sont amortis dans le sol. La température diminue ainsi en fonction de la profondeur.



## Avantage du mur MHM et du bois :

- Classement selon l'effusivité :

Rang	Matériau	Conductivité W/mK	Masse volumique kg/m <sup>3</sup>	Chaleur Spécifique J/Kg.K	Effusivité J/m <sup>2</sup> .s <sup>-1/2</sup> .C°
2	Aluminium	230	2700	880	23377
3	Acier	50	7800	450	13248
4	Béton plein	1,800	2300	1000	2035
5	Pierre	1,700	2000	1000	1844
6	Brique pleine	0,740	1800	1000	1154
7	Bois Chêne	0,290	870	1600	635
8	Plaque de plâtre	0,250	825	1000	454
9	Plâtre carreaux	0,250	820	1000	453
10	Bois Sapin	0,150	500	1600	346
11	Panneau OSB	0,120	600	1150	288
12	Laine de bois	0,100	400	1700	261
13	Béton cellulaire	0,090	350	1000	177
14	Fibre de bois SteicoTherm	0,040	160	2100	116
15	Liège	0,050	120	1560	97
16	Laine de roche	0,044	100	1030	67
17	PSE extrudé	0,040	34	1450	44
18	Laine de verre	0,040	25	1700	41
19	PSE expansé	0,040	26	1450	39
20	Polyuréthane	0,030	34	1400	38

On remarque que l'aluminium a une très bonne effusivité. Il est fortement utilisé dans la fabrication du mur en bois lamellé contre cloué, ce qui en fait donc un avantage par rapport à l'inertie du mur.

Malgré la forte conductivité de l'aluminium, du fait de la non-continuité des pointes dans le mur (seulement deux épaisseurs de planches), cela n'a pas d'influence sur l'ensemble.

On peut également noter la faiblesse des menuiseries en aluminium, car elles sont très conductrices de la chaleur.

- Classement selon la diffusivité :

Rang	Matériau	Conductivité W/mK	Masse volumique kg/m <sup>3</sup>	Chaleur Spécifique J/Kg.K	Diffusivité x 10 <sup>-8</sup> m <sup>2</sup> /s
1	Fibre de bois SteicoTherm	0,04	160	2100	12
2	Laine de bois	0,1	400	1700	15
3	Panneau OSB	0,12	600	1150	17
4	Bois Sapin	0,15	500	1600	19
5	Bois Chêne	0,29	870	1600	21
6	Béton cellulaire	0,09	350	1000	26
7	Liège	0,05	120	1560	27
8	Plaque de plâtre	0,25	825	1000	30
9	Plâtre carreaux	0,25	820	1000	30
10	Brique pleine	0,74	1800	1000	41
11	Laine de roche	0,04	100	1030	43
12	Polyuréthane	0,03	34	1400	63
13	Béton plein	1,8	2300	1000	78
14	PSE extrudé	0,04	34	1450	81
15	Pierre	1,7	2000	1000	85
16	Laine de verre	0,04	25	1700	94
17	PSE expansé	0,04	26	1450	106
18	Acier	50	7800	450	1425
19	Aluminium	230	2700	880	9680
20	Cuivre	380	8900	380	11236

On remarque que le bois et la fibre de bois sont très bien classés ce qui est un avantage pour l'inertie thermique.

## Autre comparatif :

- Classement selon la capacité thermique :

Rang	Matériau	Conductivité W/mK	Masse volumique kg/m <sup>3</sup>	Chaleur Spécifique J/Kg.K	Capacité Thermique kJ/m <sup>3</sup> .K
1	Acier	50	7800	450	3510
2	Cuivre	380	8900	380	3382
3	Aluminium	230	2700	880	2376
4	Béton plein	1,8	2300	1000	2300
5	Pierre	1,7	2000	1000	2000
6	Brique pleine	0,74	1800	1000	1800
7	Bois Chêne	0,29	870	1600	1392
8	Plaque de plâtre	0,25	825	1000	825
9	Plâtre carreaux	0,25	820	1000	820
10	Bois Sapin	0,15	500	1600	800
11	Panneau OSB	0,12	600	1150	690
12	Laine de bois	0,1	400	1700	680
13	Béton cellulaire	0,09	350	1000	350
14	Fibre de bois SteicoTherm	0,04	160	2100	336
15	Liège	0,05	120	1560	187,2
16	Laine de roche	0,04	100	1030	103
17	PSE extrudé	0,04	34	1450	49,3
18	Polyuréthane	0,03	34	1400	47,6
19	Laine de verre	0,04	25	1700	42,5
20	PSE expansé	0,04	26	1450	37,7

On remarque que le béton offre une meilleure capacité thermique que le bois.

- Classement selon la conductivité thermique :

Rang	Matériau	Conductivité
1	Polyuréthane	0,03
2	Fibre de bois SteicoTherm	0,04
3	PSE extrudé	0,04
4	Laine de verre	0,04
5	PSE expansé	0,04
6	Laine de roche	0,04
7	Liège	0,05
8	Béton cellulaire	0,09
9	Laine de bois	0,1
10	Panneau OSB	0,12
11	Bois Sapin	0,15
12	Plaque de plâtre	0,25
13	Plâtre carreaux	0,25
14	Bois Chêne	0,29
15	Brique pleine	0,74
16	Pierre	1,7
17	Béton plein	1,8
18	Acier	50
19	Aluminium	230
20	Cuivre	380

Le bois est relativement bien classé par rapport au béton.

## Les solutions constructives :

### ➤ Toiture :

1°) Mettre en place une lame d'air ventilée sous la toiture pour créer un tirage thermique.

2°) Utiliser une couverture faiblement captrice (par exemple : toiture végétale).

### ➤ Mur intérieur :

1°) Réaliser des murs de refend augmente l'inertie de la maison. Ceux-ci peuvent être construits en utilisant du plus inertielle au moins inertielle : béton, brique, bois. Il est également possible de faire un mur masse, ou un mur Trombe pour également stocker la chaleur.


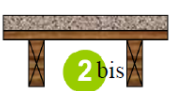

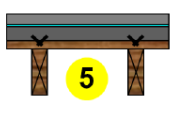
**Mur Trombe** : mur en pierre, brique ou béton placé devant une vitre pour créer un effet de serre. Il accumule le rayonnement solaire du jour et le restitue pendant la nuit.

**Mur Masse** : un mur masse placé au nord permet de capter les apports solaires de la journée et de les restituer pendant la nuit sous forme de rayonnement thermique.

### ➤ Plancher :

1°) Réaliser un plancher mixte bois-béton est une solution efficace pour augmenter l'inertie d'une maison :

Tableau 7 Evaluation de la classe d'inertie thermique de quatre configurations de planchers selon leur masse surfacique.

Configuration du plancher		Masse surfacique totale	Type d'élément pour la classe d'inertie thermique
	Poutres en bois résineux (section 68/175 mm) Panneaux OSB/3 (18 mm – 650 kg/m <sup>3</sup> )	11,7 kg/m <sup>2</sup>	Élément horizontal non massif
	Poutres en bois résineux Panneaux OSB/3 Chape de ciment (40 mm – 1200 kg/m <sup>3</sup> )	59,7 kg/m <sup>2</sup>	Élément horizontal non massif
	Poutres en bois résineux Panneaux OSB/3 Béton C25/30 (40 mm – 2350 kg/m <sup>3</sup> )	105,7 kg/m <sup>2</sup>	Élément horizontal massif
	Poutres en bois résineux Panneaux OSB/3 Béton C25/30 (40 mm – 2350 kg/m <sup>3</sup> ) Chape flottante (20 mm – 900 kg/m <sup>3</sup> )	123,7 kg/m <sup>2</sup>	Élément horizontal massif

Source : CSTC, COMPORTEMENT PHYSIQUE ET MÉCANIQUE DES PLANCHERS MIXTES EN BOIS-BÉTON.

La masse surfacique est donc plus importante pour un plancher mixte "bois-béton", ce qui offre une bonne capacité thermique et donc augmente l'inertie.

2°) Choix du revêtement :

- Carrelage à forte inertie thermique : couleur sombre, non réfléchissant (sauf pour un rayonnement indirect sur des cloisons lourdes, à fortes inerties), et rugueux. *Par exemple : la terre cuite.*

## Inertie d'une maison en bois massif - Solutions

### ➤ **Dalle :**

1°) Réaliser une dalle béton sur terre-plein (isolée en périphérie uniquement) permet de bénéficier de l'inertie sous-jacente du sol.

### ➤ **Cloisons :**

1°) Utiliser des cloisons et donc inertielles, telles les briques en terre ou maçonnerie, les parpaings remplis de sable. Cela augmente l'inertie du côté intérieur de l'habitat. *Par exemple le FERMACELL (plâtre avec incorporation de fibre de papier, 20%).*

2°) Utiliser des cloisons en coffrage : plaques de plâtre solides, remplis de sable ou de terre crue.

3°) Utiliser des cloisons avec matériau à changement de phase.

### ➤ **Isolant :**

1°) Privilégier la fibre de bois et la ouate de cellulose qui ont une forte densité, et déphasage important.

### ➤ **Chauffage :**

1°) L'installation d'un poêle de masse permet de pallier à la faible inertie des murs en bois, et donc de stocker la chaleur produite.

2°) Réaliser un plancher chauffant permet d'augmenter l'inertie de la maison en hiver.

Matériau	E	R	Déphasage	Atténuation	diffusivité	diffusivité (SI)	Lambda	Rho	Cp	effusivité	Capacité thermique S
	m	m².K/W	h	en dB	m²/h	m²/s	W/m°C	kg/m³	J/kg/°C	W.sqrt(s)/m²/°C	Wh/m³/°C
<b>Isolant</b>											
Botte de paille	0,340	7,08	13,7	-16	1,2E-03	3,3E-07	0,048	110	1332	83,863	41
copeaux en vrac	0,140	2,80	5,3	-6	1,3E-03	3,7E-07	0,050	65	2100	82,614	38
Roseaux en panneaux	0,100	1,79	6,7	-8	4,3E-04	1,2E-07	0,056	225	2100	162,665	131
Cellulose 35kg/m3 en vrac	0,200	5,13	6,1	-7	2,1E-03	5,7E-07	0,039	35	1944	51,513	19
Cellulose 35kg/m3 soufflée	0,200	5,13	7,6	-9	1,3E-03	3,6E-07	0,039	55	1944	64,575	30
Cellulose 55kg/m3 insufflée	0,120	3,08	4,6	-5	1,3E-03	3,6E-07	0,039	55	1944	64,575	30
Cellulose en panneau	0,120	3,00	5,8	-7	8,2E-04	2,3E-07	0,040	70	2500	83,666	49
Liège en granulés	0,120	2,88	4,5	-5	1,4E-03	3,8E-07	0,042	65	1670	67,253	30
Liège expansé en panneau	0,120	3,16	6,2	-7	7,2E-04	2,0E-07	0,038	113	1670	84,806	53
Vermiculite en vrac	0,120	1,76	2,8	-3	3,4E-03	9,4E-07	0,068	90	800	69,971	20
Perlite en vrac	0,120	2,55	4,1	-5	1,6E-03	4,5E-07	0,047	130	800	69,914	29
Fibre de bois 40kg/m3 en panneau	0,120	3,16	4,1	-5	1,6E-03	4,5E-07	0,038	40	2100	56,498	23
Fibre de bois 55kg/m3 en panneau	0,120	3,16	4,8	-5	1,2E-03	3,3E-07	0,038	55	2100	66,250	32
Fibre de bois 140kg/m3 en panneau	0,120	2,86	7,3	-8	5,1E-04	1,4E-07	0,042	140	2100	111,122	82
Laine de chanvre en panneau	0,120	2,93	2,8	-3	3,5E-03	9,7E-07	0,041	30	1404	41,556	12
Laine de chanvre en rouleau	0,120	3,00	2,8	-3	3,4E-03	9,5E-07	0,040	30	1404	41,046	12
chênevotte+bore	0,120	2,18	5,2	-6	1,0E-03	2,9E-07	0,055	110	1750	102,896	53
laine de verre	0,120	3,33	2,5	-3	4,5E-03	1,2E-06	0,036	35	828	32,300	8
Polyuréthane	0,075	3,00	1,9	-2	3,1E-03	8,5E-07	0,025	35	839	27,095	8
Polystyrène graphité	0,100	2,94	1,9	-2	5,1E-03	1,4E-06	0,034	20	1210	28,684	7
Verre cellulaire	0,120	2,86	4,0	-5	1,8E-03	4,9E-07	0,042	120	720	60,240	24

Matériau	E	R	Déphasage	Atténuation	diffusivité	diffusivité (SI)	Lambda	Rho	Cp	effusivité	Capacité thermique S
	m	m <sup>2</sup> .K/W	h	en dB	m <sup>2</sup> /h	m <sup>2</sup> /s	W/m/°C	kg/m <sup>3</sup>	J/kg/°C	W.sqrt(s)/m <sup>2</sup> /°C	Wh/m <sup>3</sup> /°C
<b>Semi-isolant</b>											
Terre-paille	0,220	2,44	10,7	-12	8,1E-04	2,3E-07	0,090	300	1332	189,642	111
chaux-chanvre	0,220	2,44	8,2	-9	1,4E-03	3,8E-07	0,090	329	720	145,955	66
chaux-vermiculite	0,250	2,50	8,9	-10	1,5E-03	4,2E-07	0,100	240	1000	154,919	67
Chaux-chanvre-ponce	0,270	2,45	15,3	-17	5,9E-04	1,6E-07	0,110	400	1670	271,072	186
béton cellulaire	0,290	2,64	12,6	-14	1,0E-03	2,8E-07	0,120	500	850	225,832	118
terre-chanvre	0,300	2,50	10,7	-12	1,5E-03	4,2E-07	0,120	400	720	185,903	80
terre-copeau	0,420	2,47	19,1	-22	9,3E-04	2,6E-07	0,170	600	1100	334,963	183
terre-pouzzolane	0,500	2,50	39,3	-45	3,1E-04	8,6E-08	0,200	760	3060	681,997	646



Matériau	E	R	Déphasage	Atténuation	diffusivité	diffusivité (SI)	Lambda	Rho	Cp	effusivité	Capacité thermique S
	m	m <sup>2</sup> .K/W	h	en dB	m <sup>2</sup> /h	m <sup>2</sup> /s	W/m <sup>2</sup> °C	kg/m <sup>3</sup>	J/kg/°C	W.sqrt(s)/m <sup>2</sup> /°C	Wh/m <sup>3</sup> /°C
<b>Porteur</b>											
Pierre dure	0,500	0,17	11,1	-13	3,8E-03	1,1E-06	2,910	2700	1008	2814,224	756
Pierre poreuse	0,500	0,31	12,9	-15	2,9E-03	7,9E-07	1,600	2000	1008	1795,996	560
Pisé	0,500	0,59	30,1	-34	5,3E-04	1,5E-07	0,850	1900	3060	2223,038	1615
bois massif léger	0,120	0,92	6,6	-8	6,2E-04	1,7E-07	0,130	500	1500	312,250	208
Murbric	0,200	0,74	7,3	-8	1,4E-03	4,0E-07	0,270	750	900	426,907	188
Parpaing béton	0,190	0,18	3,9	-4	4,5E-03	1,2E-06	1,05	1300	648		234
brique pleine	0,100	0,09	2,5	-3	3,1E-03	8,7E-07	1,170	1700	792	1255,105	374
béton de ciment	0,150	0,09	3,8	-4	3,0E-03	8,3E-07	1,750	2300	920	1924,318	588
béton de chaux caverneux	0,430	0,61	14,8	-17	1,6E-03	4,5E-07	0,700	1830	850	1043,480	432
béton cellulaire	0,300	2,61	12,9	-15	1,0E-03	2,9E-07	0,115	400	1008	215,332	112
Brique alvéolée 36.5cm	0,365	2,87	20,2	-23	6,3E-04	1,7E-07	0,127	800	913	304,483	203

Matériau	E	R	Déphasage	Atténuation	diffusivité	diffusivité (SI)	Lambda	Rho	Cp	effusivité	Capacité thermique S
	m	m <sup>2</sup> .K/W	h	en dB	m <sup>2</sup> /h	m <sup>2</sup> /s	W/m <sup>2</sup> .°C	kg/m <sup>3</sup>	J/kg/°C	W.sqrt(s)/m <sup>2</sup> .°C	Wh/m <sup>3</sup> /°C
<b>Parement</b>											
enduit terre	0,020	0,02	0,6	-1	2,0E-03	5,7E-07	0,910	1600	1000	1206,648	444
enduit chaux	0,020	0,03	0,7	-1	1,7E-03	4,6E-07	0,700	1785	850	1030,570	421
Crépi ciment	0,020	0,01	0,5	-1	2,8E-03	7,9E-07	1,50	1900	1000	1688,194	528
Enduit plâtre	0,010	0,01	0,3	0	1,8E-03	5,0E-07	0,800	1900	850	1136,662	449
Brique plâtrière	0,070	0,27	2,7	-3	1,3E-03	3,7E-07	0,259	827	850	426,940	195
BA13	0,013	0,04	0,4	0	1,7E-03	4,7E-07	0,320	850	799	466,185	189
Fermacell	0,010	0,03	0,5	-1	7,3E-04	2,0E-07	0,360	1100	1623	801,691	496
planche non-jointive	0,022	0,18	1,4	-2	4,5E-04	1,3E-07	0,120	400	2400	339,411	267
OSB classe 3	0,009	0,06	0,6	-1	3,6E-04	1,0E-07	0,130	620	2100	411,412	362