

L'ISOLATION THERMIQUE DES PAROIS OPAQUES

L'isolation thermique des parois opaques (toit, mur, sol) est la première source d'économie d'énergie (fig 1). Elle permet de réduire les dépenses de chauffage en limitant les déperditions et en supprimant l'effet de paroi froide lié à certains matériaux de construction (source d'inconfort qui pousse à chauffer plus). Elle peut également améliorer le confort d'été et ainsi éviter le recours à la climatisation.

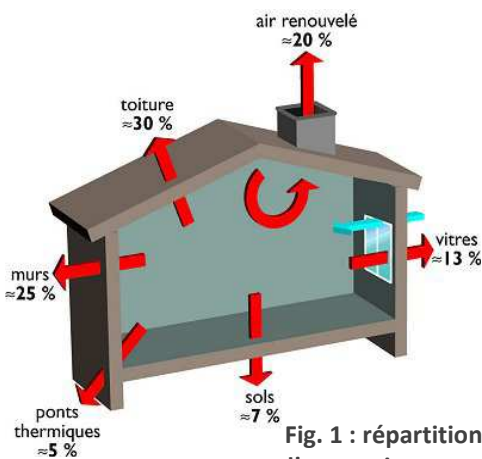


Fig. 1 : répartition des déperditions d'une maison non isolée des années

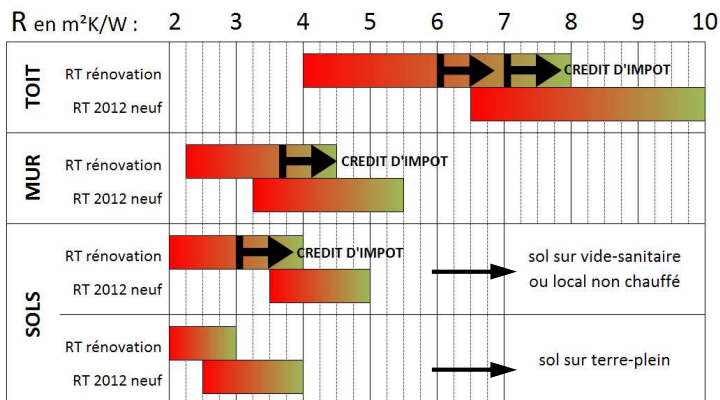
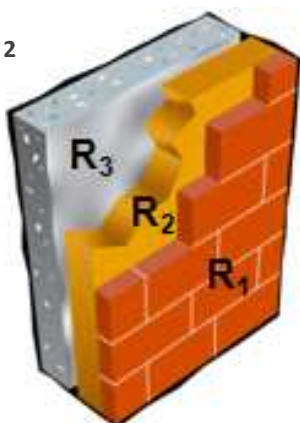
$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Un bon isolant est caractérisé par une faible **conductivité thermique noté λ** (lambda en W/m.K). En pratique, on utilise plutôt la **résistance thermique notée R** (en m².K/W) qui traduit la capacité d'une épaisseur « e » de matériau à s'opposer au transfert de chaleur. Le R d'un matériau se calcule en divisant l'épaisseur « e » mise en œuvre par son λ . Plus R est élevé, meilleure est l'isolation.

On utilise également la résistance thermique pour caractériser une paroi composée de plusieurs matériaux (fig 2) en additionnant les R des différentes couches :

$$R_{paroi} = R_1 + R_2 + R_3 + R_{etc}$$

Fig. 2



R en m²K/W : 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Fig. 3 : le graphique ci-dessus donne les valeurs de R à retenir en fonction de la paroi à isoler et du cadre réglementaire (voir aussi tableau des matériaux en page 4).

ISOLATION ET CONFORT D'ETE

Tout d'abord, quelques pistes pour garder son logement frais en été et éviter tant que possible la climatisation :

- favoriser le **rafraîchissement nocturne** du bâtiment (aération par courants d'air prolongés, toute la nuit si possible),
- limiter les **apports internes de chaleur** (ordinateurs, cuisson, éclairage),
- s'équiper de **protections solaires** adaptées aux vitrages et positionnées du côté extérieur (fig 4): stores, volets roulants, pergolas, avancées de toit...
- profiter de l'**inertie thermique d'absorption** du bâtiment : les matériaux de construction lourds peuvent capter une grande quantité de chaleur sans se réchauffer significativement : l'exemple de la maison ancienne au mur épais restant fraîche en été illustre bien ce phénomène.

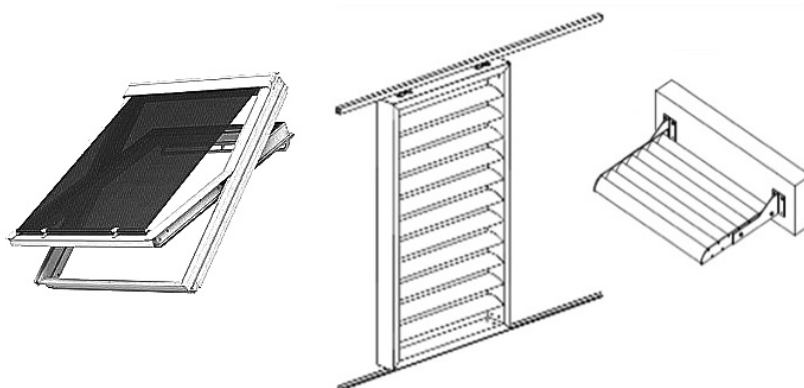


Fig. 4 : protection solaires : store extérieur pour fenêtres de toit, brise soleil vertical pour les fenêtres à l'ouest, horizontal pour les baies vitrées au sud.

Deux points de vigilance sont ensuite à retenir pour assurer l'efficacité de l'isolation vis-à-vis des surchauffes estivales :

1. Les toits orientés sud et ouest sont largement exposés au soleil le plus chaud (après-midi). Ils peuvent alors atteindre des températures de plus de 70°C. L'isolation sera alors d'autant plus efficace si elle est complétée par une **lame d'air conséquente et bien ventilée entre l'isolant et la couverture** (fig 5) : lattage + contre-lattage ou mieux isolation sous chevrons et pas entre chevrons, chatière, faitage non scellé, etc.

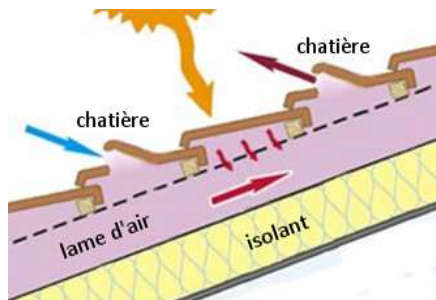


Fig. 5 : ventilation de sous-toiture

2. Sur les parois légères (rampants de toitures, murs à ossature bois), l'isolant peut aussi retarder le transfert du pic chaleur de la mi-journée afin qu'il n'atteigne l'intérieur du bâtiment qu'une fois la fraîcheur de la nuit venue.

Ce phénomène appelé **inertie thermique de transmission** requiert que l'isolant ait une masse volumique élevée, **noté ρ** (ρ en kg/m³). En pratique on parle souvent de « **déphasage** » (cf. fig 6 ci-contre et tableau de comparaison des matériaux en fig 14).

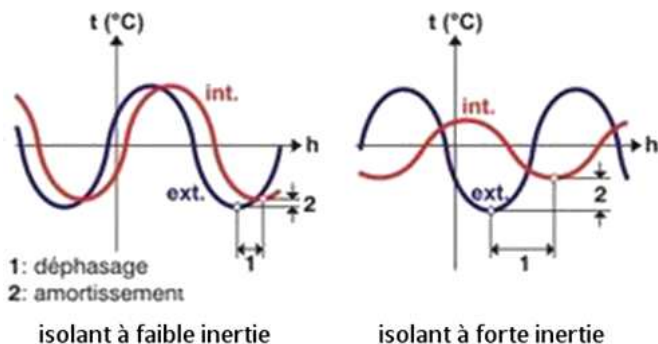


Fig. 6 : incidence de l'inertie sur la température intérieure

UNE ISOLATION PERFORMANTE ET DURABLE...

...C'est avant tout une isolation continue, sans ponts thermiques et étanche à l'air (fig 7). En effet, la majorité des isolants se laissent traverser par l'air et perdent alors en efficacité. Avec les niveaux actuels d'isolation, la moindre fuite d'air ou la moindre interruption de l'isolation deviennent des sources de déperditions importantes. Pour exemple (fig 8), avec une fente de 1 mm dans son parement, une paroi de 1 m² isolée en laine minérale ou végétale voit sa résistance thermique divisée jusqu'à 4 et le flux de vapeur d'eau qui la traverse multiplié jusqu'à 100.

Une attention toute particulière doit donc être apportée à la qualité d'exécution des différents travaux affectant la continuité de l'isolation et de l'étanchéité à l'air des parois : travaux d'isolation, remplacement de menuiseries, plomberie, électricité...

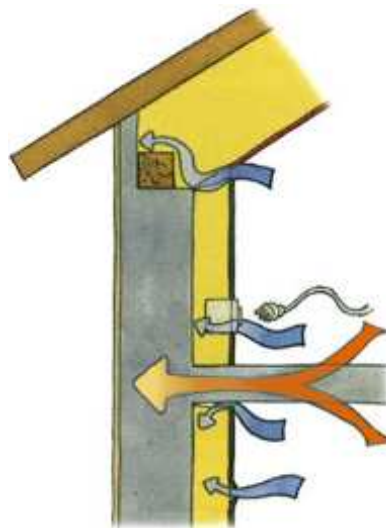


Fig. 7 : pont thermique et défauts d'étanchéité à l'air

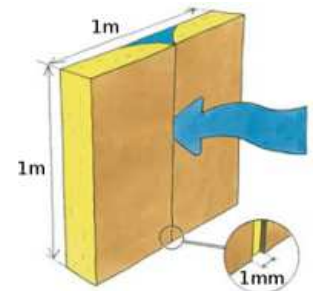


Fig. 8

L'étanchéité à l'air d'un complexe isolant peut être obtenue par certains parements (plâtre et plaques : oui, lambris : non). Cependant, ces parements étant souvent traversés par divers éléments (électricité, fixations de meubles), il est bien souvent préférable de prévoir une membrane spécifiquement dédiée à l'étanchéité à l'air positionnée coté chaud de l'isolant mais séparée du parement par un vide technique : On parle souvent de pare-vapeur ou frein vapeur (voir chapitre humidité). Ce vide technique (fig 9) remplit plusieurs fonctions :

- il protège la membrane des agressions : vis, clous, etc.
- permet le passage de gaines électriques et autres réseaux,
- et peut être comblé par un complément d'isolation dans la mesure où il contribue à moins de 1/3 du R total de la paroi.

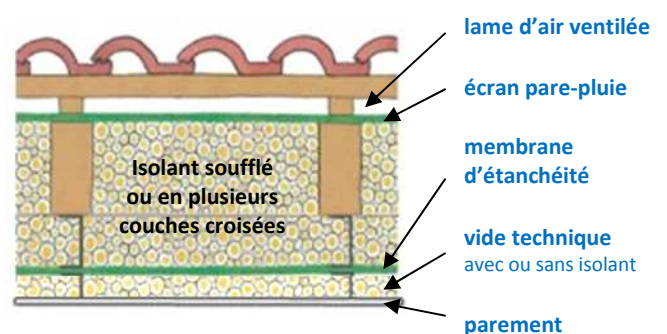


Fig. 9 : continuité de l'isolation et de l'étanchéité à l'air

Enfin pour être réellement durable, une opération d'isolation doit impérativement tenir compte de la nature et de l'état de la paroi à isoler : Quels sont les matériaux en place ?... Y-a-t-il des signes d'humidité ?... Tel isolant ou tel procédé ne risque-t-il pas de générer des désordres ?... etc.

Le chapitre suivant permet de mieux appréhender toutes ces questions en précisant les interactions possibles entre isolation et humidité. Mais retenons déjà une règle : une paroi présentant des signes d'humidité ne doit jamais être isolée sans avoir fait au préalable un diagnostic précis et sans avoir mis en œuvre un traitement adapté à la situation si besoin.

ISOLATION ET HUMIDITE

Les matériaux de construction et d'isolation sont plus ou moins sensibles à la présence d'eau : on parle d'hygro-vulnérabilité. La plupart sont altérables, voir putrescibles : C'est le cas de la plupart des matériaux d'origine biologique lorsqu'ils ne sont pas traités. Certains sont en revanche très peu sensibles et donc particulièrement durables. C'est le cas du verre, du béton ou encore du liège expansé (voir tableau de comparaison de matériaux en page 4).

Selon la nature des matériaux, les parois d'un bâtiment peuvent être plus ou moins traversées par l'eau :

- **sous forme liquide**, en fonction de la porosité des matériaux, elle peut être absorbée (effet de mèche) puis transportée vers des parties plus sèches ou moins exposées : c'est le phénomène de **capillarité** (fig 10). L'image de la goutte de café se diffusant dans un carré de sucre illustre bien cette propriété physique.

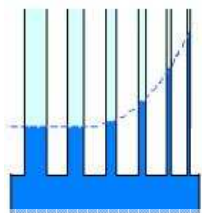


Fig. 10 : capillarité

- **sous forme vapeur**, l'eau est beaucoup plus volatile. Elle est alors en capacité de diffuser à travers un grand nombre de matériaux. La **résistance à la migration de la vapeur d'eau** des matériaux s'exprime par la valeur **Sd** en mètre. Plus elle est élevée plus le matériau s'oppose à la diffusion de la vapeur d'eau. Elle se calcule ainsi :

$$Sd = \mu \times e$$

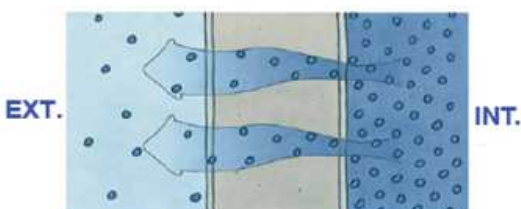
μ (μ) : coefficient de résistance du matériau à la diffusion de la vapeur d'eau, sans unité et établi sur le référentiel de l'air ($\mu_{\text{air}} = 1$)

e : épaisseur du matériau en mètre

A taux d'humidité égal, l'air chaud contient plus de vapeur d'eau que l'air froid. En hiver, la vapeur intérieure cherche alors naturellement à traverser la paroi pour s'équilibrer avec l'air extérieur (fig 11). La vapeur n'engendre pas de dommage dans les matériaux ouverts à sa diffusion depuis lesquels elle peut s'échapper (Sd faible).

Mais en traversant la paroi, la température diminue et peut provoquer sa condensation sous forme d'eau liquide (condensation capillaire par atteinte du point de rosée). Elle peut également rencontrer des couches de matériaux différents et, s'ils sont moins ouverts à sa diffusion (Sd élevé) ils peuvent alors également provoquer sa condensation aux interfaces des matériaux. Pour que cette eau liquide puisse à son tour s'évacuer, les matériaux de la paroi doivent alors être capillaires. Les dégradations sont toujours liées à l'eau liquide piégée ou en excès.

Fig. 11 : flux de vapeur d'eau en hiver



Afin d'éviter les risques liés à l'humidité, il convient de :

- soigner l'étanchéité à l'air de l'isolation (membrane, liaison menuiseries, traversées) et renouveler l'air du logement (VMC) afin de limiter le flux de vapeur d'eau dans les parois.
- choisir des parements extérieurs de murs perméables à la vapeur d'eau ($Sd \leq 1$ m) et de préférence capillaires (chaux) s'il s'agit d'enduits ; ils faciliteront alors l'assèchement du mur en cas de remontées capillaires ou de condensation dans la masse.
- choisir des parements intérieurs limitant le flux de vapeur d'eau sans pour autant la bloquer complètement : on parle de membranes pare-vapeur pour des valeurs de $Sd > 5$ m et plutôt de frein-vapeur pour des valeurs Sd entre 1 et 5 m. *Idéalement on choisira un frein-vapeur hygro-variable dont la résistance à la diffusion de la vapeur d'eau s'adapte automatiquement aux conditions hydriques de la paroi et du logement.*
- la règle du 5/1 peut aussi être retenue notamment pour les toits et murs à ossature bois : la paroi extérieure doit être 5 fois plus ouverte à la vapeur d'eau que la paroi intérieure (fig 12).

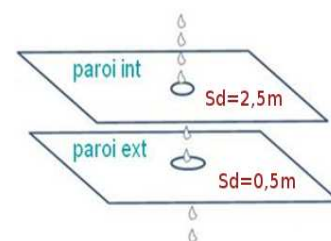
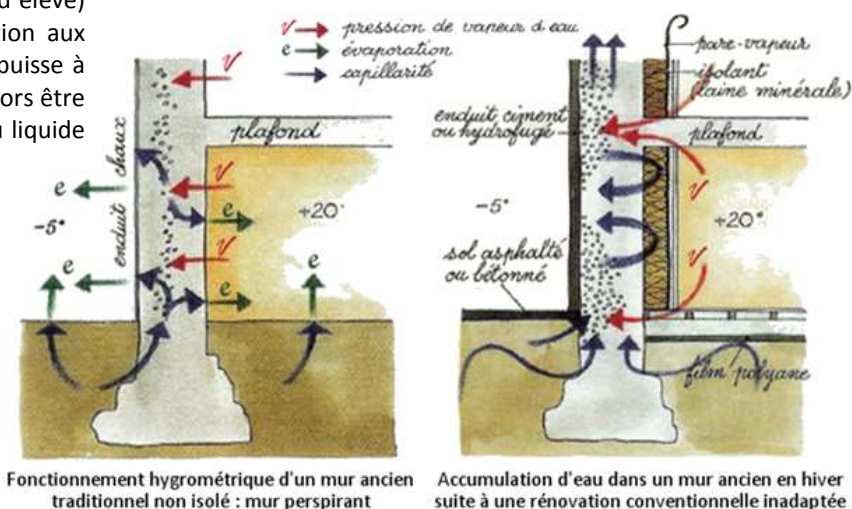


Fig. 12 : règle du 5/1

Pour les bâtiments anciens (fig 13) dépourvus de rupture de capillarité et dont les murs, souvent capillaires, peuvent se charger et se décharger en eau naturellement et dans des proportions importantes, il convient aussi de :

- limiter les remontées capillaires en assurant une bonne évacuation des eaux de pluies, en évitant les trottoirs et sol asphaltés, en dégagant les soubassements (enduit ciment, terre, végétation) voire en réalisant une tranchée drainante périphérique si nécessaire.
- choisir des enduits et isolant capillaires afin de favoriser la migration d'éventuelles présences d'eau liquide et poser de préférence les isolants capillaires d'épaisseur modérée en contact direct avec le mur pour assurer la continuité capillaire. *Cette mise en œuvre ne présente pas de risques particuliers si l'on tient compte des remarques précédentes.*
- en cas de mur humide, de risque avéré ou de doute, contacter votre Espace Info-Énergie ou un professionnel.

Fig. 13 : humidité dans le bâti ancien et rénovation inadaptée



Fonctionnement hygrométrique d'un mur ancien traditionnel non isolé : mur perspirant

Accumulation d'eau dans un mur ancien en hiver suite à une rénovation conventionnelle inadaptée

MATERIAUX		λ (W/m.K) conductivité thermique	ρ (kg/m ³) masse volumique	Epaisseur en cm pour :			Comportement à l'eau liquide		Comportement à la vapeur d'eau		MATERIAUX
				R = 3,7 m ² K/W	R = 6 m ² K/W	Confort d'été * (déphasage 8h)	hygro-vulnérabilité	capillarité	μ (sans unités) référence à la diffusion de la vapeur d'eau	Sd (en m) d'une épaisseur usuelle en mur	
isolants synthétiques	Polyuréthane	0,028	40	10	17	30	-	--	30 à 100	3 à 10	Polyuréthane
	Polystyrène extrudé	0,033	30	12	20	35	-	--	80 à 300	10 à 40	Polystyrène extrudé
	Polystyrène expansé	0,038	20	14	23	50	-	--	30 à 100	4 à 14	Polystyrène expansé
isolants d'origine minérale	Laine de verre / roche	0,032 à 0,045	10 à 40	12 à 17	20 à 27	40 à 60	+/-	--	1 à 2	<1	Laine de verre / roche
	Laine minérale haute densité	0,040	50 et +	15	24	25	+/-	--	2 à 5	<1	Laine minérale haute densité
	Mousse minérale (Multipor)	0,045	100	17	27	23	-	++	2 à 5	<1	Mousse minérale (Multipor)
	Perlite, vermiculite	0,045 à 0,08	60 à 200	17 à 30	27 à 48	15 à 35	-	++	2 à 5	<1	Perlite, vermiculite
isolants biosourcés	Laine de mouton	0,040	15 à 30	15	24	30 à 40	+ +	+/-	13 à 2	<1	Laine de mouton
	Plume de canard	0,040	20	15	24	40	+ +	+/-	13 à 2	<1	Plume de canard
	Laine de chanvre, lin, coton	0,040	25 à 50	15	24	30 à 40	+ +	+/-	13 à 2	<1	Laine de chanvre, lin, coton
	Textile recyclé (Métisse)	0,040	20 à 25	15	24	30 à 40	+/-	+/-	13 à 2	<1	Textile recyclé (Métisse)
	Ouate de cellulose	0,040	25 à 75	15	24	20 à 30	selon traitement	+	13 à 2	<1	Ouate de cellulose
	Laine/fibre de bois standard	0,040	50	15	24	22	selon traitement	+/-	13 à 2	<1	Laine/fibre de bois standard
	Laine/fibre de bois haute densité	0,04 à 0,05	100 à 250	15 à 19	24 à 30	15	-	-	2 à 5	<1	Laine/fibre de bois haute densité
	Liège (panneaux, granulé)	0,04 à 0,05	100 à 150	15 à 19	24 à 30	15	-	-	5 à 30	1 à 5	Liège (panneaux, granulé)
	Paille (selon orientation fibres)	0,045 à 0,07	100	17 à 26	27 à 42	25	++	+/-	13 à 2	<1	Paille (selon orientation fibres)
	Chênevotte (tige de chanvre vrac)	0,05 à 0,06	100 à 150	19 à 23	30 à 36	20	+	+/-	13 à 2	<1	Chênevotte (tige de chanvre vrac)
matériaux de construction	Blocs et bétons de chanvre	0,05 à 0,10	100 à 500	19 à 37	30 à 60	10 à 15	+/-	+/-	2 à 10	1	Blocs et bétons de chanvre
	Enduits chaux allégés (chanvre, vermiculite, ponce, pouzzolane)	0,05 à 0,15	400 à 800	22 à 56	36 à 90	10 à 15	+/-	+++	5 à 30	1	Enduits chaux allégés (chanvre, vermiculite, ponce, pouzzolane)
	Bois massif (bardage, lambris...)	0,10 à 0,20	400 à 1000	37 à 74	60 à 120	10 à 20	+	+/-	20 à 100	<1	Bois massif (bardage, lambris...)
	Béton cellulaire	0,10 à 0,15	400	37 à 56	60 à 90	15 à 20	-	++	5 à 10	3	Béton cellulaire
	Brique alvéolaire (Monomur)	0,10 à 0,13	600 à 800	37 à 48	60 à 80	10 à 15	-	+	5 à 20	5	Brique alvéolaire (Monomur)
	Terre crue (brique, pisé)	0,6 à 0,9	1000 à 2000	2 à 4 m	4 à 6 m	20	+/-	+++	5 à 10	2 à 3	Terre crue (brique, pisé)
	Brique terre cuite pleine	0,6 à 1	1600 à 2400	2 à 4 m	4 à 6 m	20 à 25	-	+	10 à 20	2 à 3	Brique terre cuite pleine
	Mur en pierres / galets	1 à 1,5	1500 à 3000	4 à 6 m	6 à 9 m	20 à 30	+/-	+++	20 à 50	5 à 15	Mur en pierres / galets
	Calcaire tendre	0,8 à 1	1500 à 1800	3 à 4 m	5 à 6 m	25	+/-	+	20 à 40	5 à 15	Calcaire tendre
	Parpaing standard	1	800 à 1000	4 m	6 m	40	-	+	5 à 15	2 à 3	Parpaing standard
parements et finitions	Béton plein	1,5 à 2	2000 à 2500	6 à 8 m	9 à 12 m	30	-	-	80 à 100	20	Béton plein
	Granite, marbre, schiste	2 à 3	2000 à 3000	7 à 11 m	12 à 18 m	30 à 40	-	--	1000 et +	>100	Granite, marbre, schiste
	OSB, contreplaqué (panneaux)	0,130	600	0,5 m	1 m	10	+/-	-	50 à 300	1 à 3	OSB, contreplaqué (panneaux)
	Piâtre (enduit et plaque)	0,3 à 0,5	800 à 1100	1 à 2 m	2 à 3 m	20 à 25	+/-	++	5 à 10	<1	Piâtre (enduit et plaque)
	Enduit organique	0,700	1645	2 à 3 m	4 m	20 à 30	-	-	1000 et +	10	Enduit organique
	Enduit chaux	0,6 à 0,8	1400 à 1800	2 à 3 m	4 à 5 m	20 à 30	-	+	5 à 20	<1	Enduit chaux
	Enduit ciment	0,8 à 1,2	1800 à 2000	3 à 4 m	5 à 7 m	20 à 30	-	-	20 à 80	1	Enduit ciment
	Peinture vinyle	1 à 2	1500	4 à 7 m	6 à 12 m	20 à 30	-	-	1000 et +	>100	Peinture vinyle

* les parois les plus sensibles aux surchauffes estivales sont les rampants de toitures des combles aménagés et les murs exposés des maisons à ossature légère (bois, métallique).