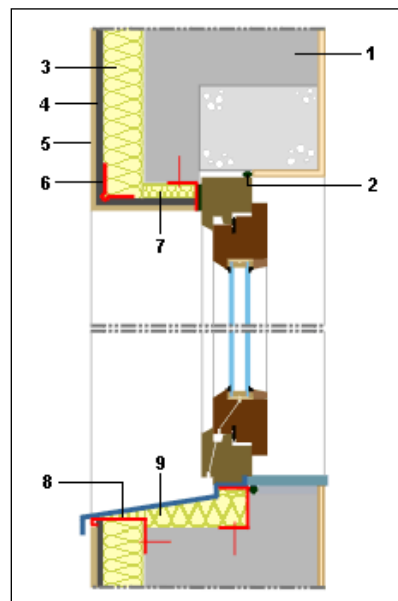
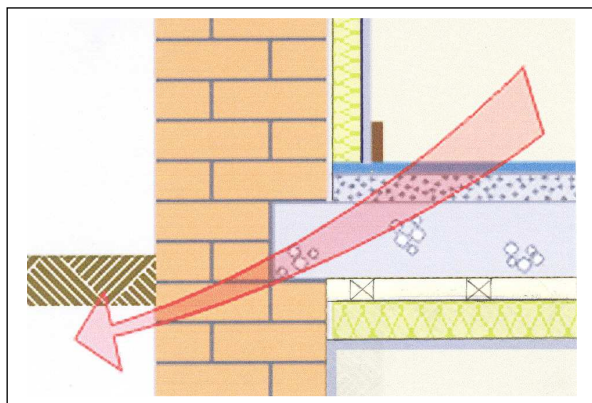


VILLE DE GEMBOUX

Optimalisation de l'épaisseur de l'isolation thermique des parois opaques



Service Environnement – cellule Energie
Daniel COMBLIN, 081/626.381. - daniel.comblin@gembloux.be

Version du 28/03/2008.

Sommaire

1. Introduction	3
2. Définition de l'épaisseur économiquement optimale	4
3. Hypothèses de travail	6
4. Epaisseur optimale de l'isolation thermique d'un mur	7
5. Epaisseur optimale de l'isolation thermique d'une toiture ..	10
6. Recommandations	17
7. Performances thermiques minimales à atteindre	18

1. Introduction

A l'heure où les prix des énergies ne cessent d'augmenter, il est sans doute urgent de repenser de manière plus fondamentale la conception des bâtiments afin de limiter fortement les déperditions thermiques et les coûts correspondants.

La démarche du document est avant tout de donner des outils et des arguments pour mettre en œuvre des mesures en faveur d'une utilisation rationnelle des ressources énergétiques. Le but n'est pas de réduire les questions énergétiques aux seuls aspects financiers. Les questions de rentabilité financière sont là comme argument de renforcement car les questions budgétaires sont très importantes dans le cadre d'un choix d'investissement. L'aspect financier est donc un moyen d'appuyer la démarche environnementale et non une finalité en soit.

Le document suit ainsi une logique de rentabilité financière. Néanmoins, si une logique de rentabilité écologique était prise, la lutte contre le CO₂ pousserait vers une isolation encore plus forte !

Notre paysage énergétique étant en pleine mutation, on ne peut pas savoir exactement ce que coûtera l'énergie dans 40 ans. Cependant, les énergies fossiles ne vont certainement pas diminuer et, outre l'aspect financier, mettre en œuvre des mesures visant à limiter nos consommations sous toutes ses formes est une expression d'un respect environnemental.

Ce document permet aux rédacteurs de cahiers de charges et aux décideurs de trouver des données leur permettant d'y intégrer des mesures plus exigeantes que les pratiques en cours en matière d'isolation : et ainsi, sortir d'un fonctionnement étroit, aller plus loin pour apporter une modeste contribution au développement durable. Le tout en adaptant les solutions en fonction des situations de terrain bien évidemment !

Ainsi, l'augmentation des épaisseurs des isolants thermiques doit être revendiquée à juste titre. Néanmoins, la question se pose de savoir jusqu'où il faut isoler : faut-il se limiter à respecter la réglementation, faut-il se limiter aux exigences minimales pour l'octroi des primes ou faut-il aller jusqu'au standard des maisons passives qui économisent jusqu'à 90% des besoins de chauffage par rapport à une construction traditionnelle ?

La présente note vise à donner quelques éléments de réponse à ces questions, en fonction du type de paroi à isoler et du type d'isolant mis en œuvre.

Ces éléments de réponse sont :

- d'ordre général en apportant des informations techniques sur les critères à prendre en compte lors du choix de l'isolant et de son épaisseur (pages 4 et 5) ;
- d'ordre pratique via différentes données chiffrées sur base d'hypothèses de travail définies (pages 6 à 17) ;
- d'ordre réglementaire en reprenant les conditions régionales en la matière ainsi que les conditions spécifiques pour pouvoir prétendre aux subsides UREBA pour les pouvoirs publics (Utilisation Rationnelle de l'Énergie dans les BAtiments, arrêté du 10 avril 2003) ou aux primes régionales pour les particuliers ou les entreprises (pages 18 et 19).

En fonction du temps dont il dispose, chacun peut se référer soit directement aux données chiffrées et visuelles (tableaux et graphiques), soit aux informations complètes (critères de choix, mode de calcul, normes,...).

2. Définition de l'épaisseur économiquement optimale

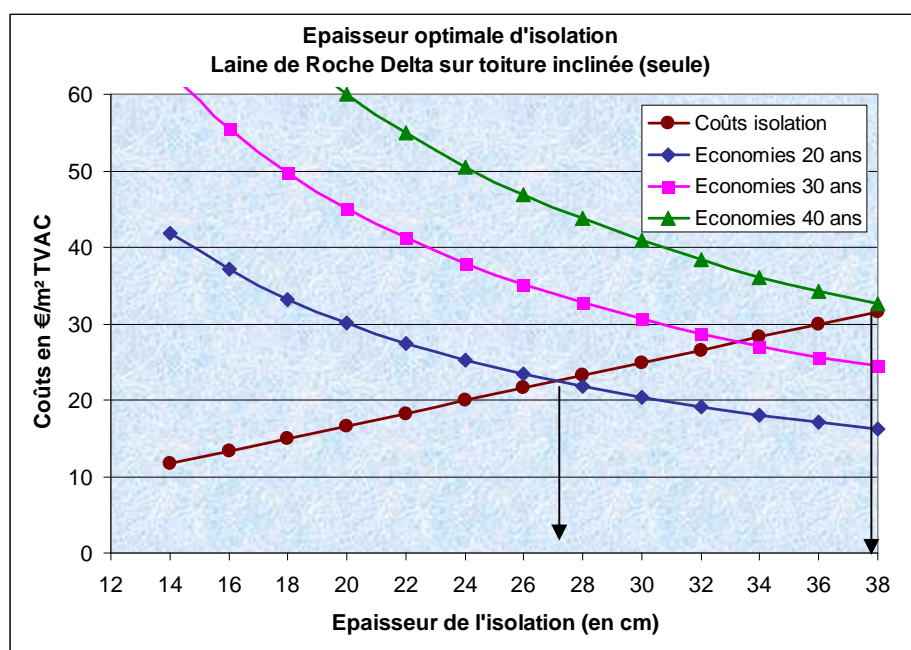
Lorsque l'on augmente l'isolation d'une paroi, soit en augmentant l'épaisseur de l'isolant, soit en utilisant un matériau dont le coefficient de conductibilité thermique est moindre, il en résulte d'une part une diminution des déperditions thermiques à travers la paroi concernée, mais aussi d'autre part un supplément de coût lié à l'augmentation de l'épaisseur de la paroi.

L'augmentation de l'épaisseur fait en effet augmenter le volume du matériau à acheter et à mettre en œuvre ; la diminution du coefficient de conductibilité fait employer un matériau dont le pouvoir d'isolation est plus élevé et qui est généralement plus cher.

La courbe suivante illustre les incidences conjointes dues à l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant :

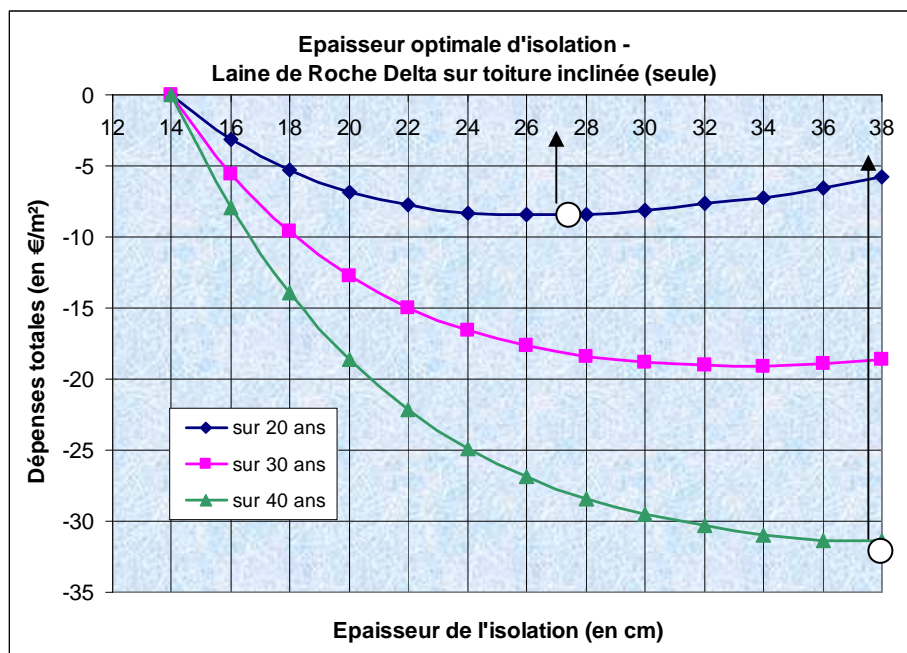
- une augmentation des coûts ou de la charge financière afférente à la mise en œuvre d'un m² de paroi (coûts de l'isolation dans le graphique),
- une diminution des dépenses de combustibles calculées sur une période considérée (soit 20, 30 ou 40 ans) (diminution appelée économies dans le graphique)

L'épaisseur optimale est déterminée par l'intersection des deux courbes prises en compte : ainsi, dans l'exemple ci-dessous, l'épaisseur optimale est de 27 cm (28 cm en pratique) si on considère une période de 20 ans, ou de 38 cm en prenant en compte une période de 40 ans.



Graphique relatif un coût moyen du combustible sur la période concernée de 1 €/litre

Une lecture plus aisée des mêmes résultats est donnée par les courbes qui suivent ; dans ce cas, l'épaisseur optimale est déterminée par le minimum atteint par la courbe, soit l'épaisseur pour laquelle les dépenses globales sont les plus faibles sur la période (dépenses incluant l'investissement dû à l'augmentation de l'épaisseur de l'isolation).



Outre l'épaisseur de l'isolation et le coût de l'investissement, d'autres paramètres influencent également le calcul de l'optimisation de l'épaisseur :

- **le prix de l'unité de chaleur à la sortie des générateurs :**
ce prix est calculé en fonction du prix unitaire du combustible, du pouvoir calorifique de celui-ci et du rendement moyen des installations de production de chaleur sur l'ensemble de la période prise en compte ;
dans les évaluations présentées ci-après, deux hypothèses ont été prises en compte : le prix du litre de mazout de janvier 2008 (déjà dépassé de 10% en mars 2008), soit 0,7 €/litre et un doublement de ce prix en fin de période, soit un prix moyen de 1 €/litre sur l'ensemble de la période prise en compte ; le rendement moyen des installations a été, dans chaque cas, estimé à 85%.
L'épaisseur optimale augmente lorsque le prix de l'unité de chaleur augmente, mais pas de manière proportionnelle.
- **le type et la durée d'utilisation des locaux concernés :**
le type et la durée d'utilisation des locaux (école, habitation, bureau, salle de sport,...) ont une incidence sur les températures à atteindre le jour et la nuit (diminution de température de consigne ou arrêts du chauffage la nuit ou les week-ends), les apports de chaleur gratuits dus à l'occupation ou à l'ensoleillement.
L'influence de la température de consigne et de la durée d'occupation sur l'épaisseur optimale est la même que celle du prix de l'unité de chaleur : l'épaisseur optimale augmente lorsque la température de consigne ou la durée d'occupation augmente.
- **la résistance à la transmission de la chaleur de la structure de base de la paroi :** la structure de base est la partie de la paroi ne comprenant pas le matériau isolant considéré (y compris la lame d'air éventuelle dans laquelle serait posé l'isolant).
L'épaisseur économique diminue lorsque cette résistance augmente, jusqu'à devenir nulle si la structure de base est suffisamment isolée par elle-même, ce qui n'est généralement pas le cas avec les structures de base rencontrées en pratique.
- **les caractéristiques propres de l'isolant lui-même :** conductibilité thermique du matériau et prix de celui-ci.

3. Hypothèses de travail

Les critères à prendre en compte pour le choix d'un isolant sont généralement les suivants :

- le coefficient de conductibilité thermique,
- le prix,
- la tenue dans le temps,
- l'énergie grise nécessaire à la fabrication,
- la capacité d'accumuler la chaleur en été (inertie thermique)
- l'inflammabilité,
- la diffusion de la vapeur,
- la facilité de mise en œuvre,
- ...

La mise en œuvre de l'isolation a, en effet, une grande importance et, en tous les cas, est très différente entre un mur vertical et une toiture plate ou inclinée ; c'est la raison pour laquelle, la présente analyse présente ces deux types de parois indépendamment l'une de l'autre. Par ailleurs, en raison notamment des risques de toxicité en cas d'incendie, les isolants synthétiques n'ont pas été pris en considération pour l'isolation en toiture.

Au vu de l'augmentation prévisible des cours du pétrole, il est raisonnable de retenir l'hypothèse minimale du doublement des coûts d'ici vingt ans ; dès lors, l'hypothèse d'un coût moyen de 1 €/litre de mazout et la prise en compte d'une période de 30 ans (durée moyenne) sont de préférence à retenir pour les évaluations de l'épaisseur optimale, même si la prise en compte d'une durée de 40 ans peut également se justifier du fait que la construction ou la rénovation lourde d'un bâtiment est généralement envisagée pour une durée d'au moins 50 ans.

Note importante :

Les coûts pris en compte dans les calculs (et donc ceux mentionnés dans les graphiques et tableaux) ne comprennent pas le coût de la main d'œuvre de pose de l'isolant ni celui de la finition éventuelle (intérieure ou extérieure). En effet, nous sommes partis de l'hypothèse qu'une isolation minimale était décidée, isolation particulièrement rentable d'elle-même étant entendu que ce sont les premiers centimètres d'isolant qui sont les plus rentables. Dans ce cas, on peut considérer que les coûts de la mise en œuvre de l'isolation et de la finition sont généralement du même ordre si l'on place un panneau d'isolant de 4 ou 5 cm d'épaisseur ou un autre plus épais de 16 cm.

Ainsi, les coûts pris en compte sont en réalité les surcoûts par rapport à cette épaisseur minimale d'isolation (4 à 5 cm dans les murs ou 10 à 14 cm en toiture suivant les cas).

En toute objectivité, il convient donc de préciser que les estimations présentées ici ne constituent pas des calculs de rentabilité au sens strict du terme.

4. Epaisseur optimale de l'isolation thermique d'un mur

(mur de briques 31 cm) - Coûts en €/m² TVAC (21%), sans main d'œuvre ni finition.

Hypothèse du coût moyen de l'énergie sur la période considérée : 0,7 €/litre de mazout

Période prise en compte	20 ans			30 ans			40 ans		
	Epaisseur optimale	Valeur K	Coûts en €/m ²	Epaisseur optimale	Valeur K	Coûts en €/m ²	Epaisseur optimale	Valeur K	Coûts en €/m ²
<input type="checkbox"/> Isolants synthétiques									
• Polystyrène expansé- EPS	26 cm	0,145	21,28	34 cm	0,113	25,12	38 cm	0,101	27,04
• Polystyrène extrudé - XPS	10 cm	0,347	22,34	12 cm	0,295	29,06	12 cm	0,295	29,06
• Polyuréthane - PUR	10 cm	0,253	30,59	12 cm	0,214	37,97	14 cm	0,214	43,44
<input type="checkbox"/> Isolants minéraux									
• Laine de verre - Mupan	12 cm	0,286	27,83	14 cm	0,251	32,43	18 cm	0,202	41,71
• Laine de roche - Rockfit	12 cm	0,286	24,12	16 cm	0,224	32,16	20 cm	0,184	40,20
• Béton cellulaire	24 cm	0,565	56,43	30 cm	0,461	70,49	35 cm	0,399	82,50
<input type="checkbox"/> Isolants végétaux									
• Laine de lin	14 cm	0,246	26,60	18 cm	0,197	33,30	20 cm	0,180	36,61
• Liège expansé	10 cm	0,347	33,50	12 cm	0,295	40,64	14 cm	0,257	47,02
• Laine de bois	16 cm	0,219	20,39	20 cm	0,180	25,48	24 cm	0,152	30,58
• Cellulose + bois	16 cm	0,228	23,35	20 cm	0,186	29,19	24 cm	0,157	35,03

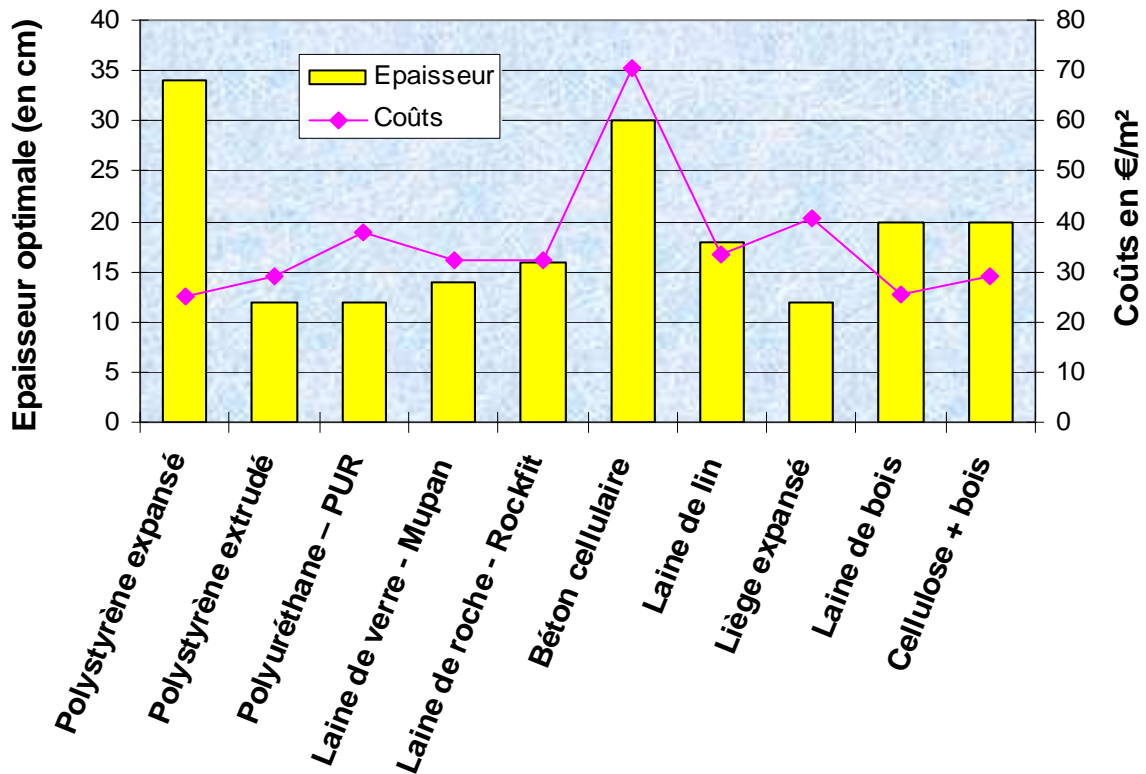
Légende des couleurs :
 - vert = valeur K < 0,15 → standard pour les maisons passives
 - vert pâle = 0,15 < valeur K < 0,25 → standard pour les maisons basse énergie
 - jaune = 0,25 < valeur K < 0,45 → exigences pour les primes régionales
 - orange = 0,45 < valeur K < 0,6 → norme régionale à respecter
 - rouge = valeur K > 0,6

Hypothèse du coût moyen de l'énergie sur la période considérée : 1,0 €/litre de mazout

Période prise en compte	20 ans			30 ans			40 ans		
	Epaisseur optimale	Valeur K	Coûts en €/m ²	Epaisseur optimale	Valeur K	Coûts en €	Epaisseur optimale	Valeur K	Coûts en €/m ²
<input type="checkbox"/> Isolants synthétiques									
• Polystyrène expansé- EPS	32 cm	0,119	24,16	38 cm	0,101	27,04	44 cm	0,088	28,00
• Polystyrène extrudé - XPS	12 cm	0,295	29,06	14 cm	0,257	38,97	16 cm	0,228	46,56
• Polyuréthane - PUR	12 cm	0,214	37,97	14 cm	0,186	43,44	16 cm	0,164	49,57
<input type="checkbox"/> Isolants minéraux									
• Laine de verre - Mupan	14 cm	0,251	32,43	18 cm	0,202	41,71	24 cm	0,157	55,62
• Laine de roche - Rockfit	16 cm	0,224	32,16	20 cm	0,184	40,20	22 cm	0,170	44,22
• Béton cellulaire	30 cm	0,461	70,49	35 cm	0,399	82,50	40 cm	0,353	93,72
<input type="checkbox"/> Isolants végétaux									
• Laine de lin	18 cm	0,197	33,30	20 cm	0,180	36,61	22 cm	0,165	40,61
• Liège expansé	12 cm	0,295	40,64	16 cm	0,228	53,82	18 cm	0,205	60,54
• Laine de bois	20 cm	0,180	25,48	24 cm	0,152	30,58	28 cm	0,135	35,67
• Cellulose + bois	20 cm	0,186	29,19	24 cm	0,157	35,03	28 cm	0,137	40,87

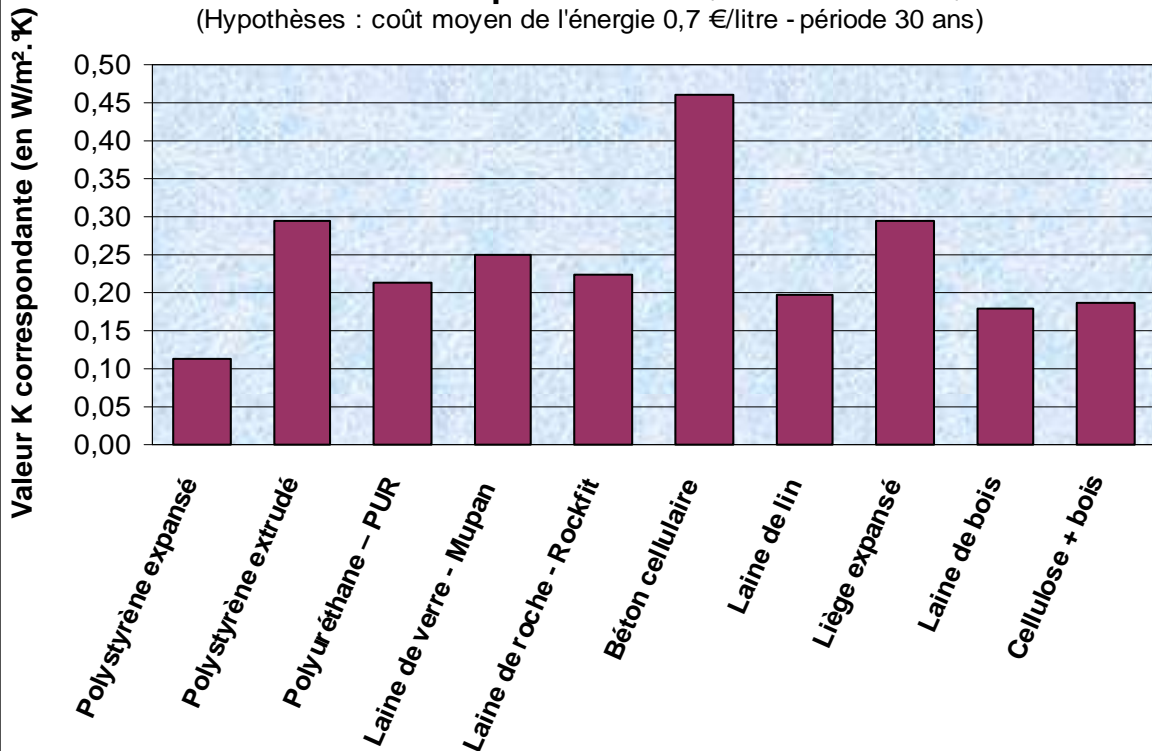
Epaisseur optimale et coûts de l'isolation thermique d'un mur

(Hypothèses : coût moyen de l'énergie 0,7 €/litre - période 30 ans)



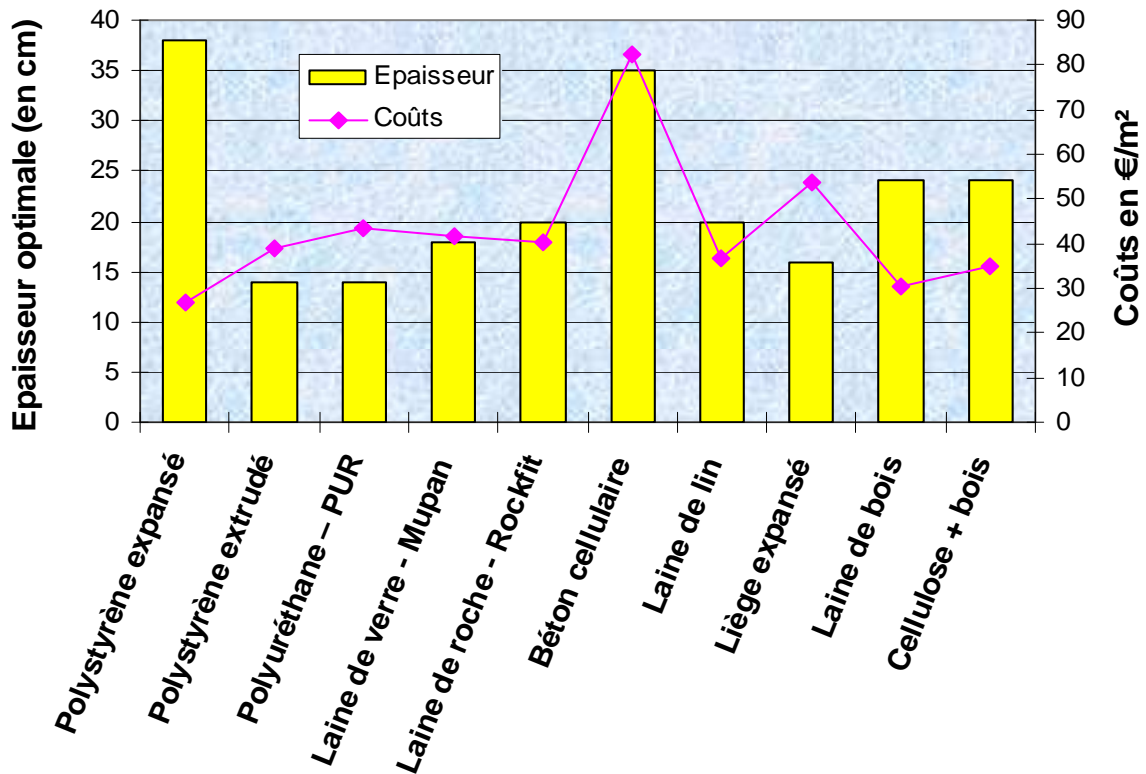
Valeur K correspondant à l'épaisseur optimale de l'isolation thermique d'un mur (K faible = meilleur)

(Hypothèses : coût moyen de l'énergie 0,7 €/litre - période 30 ans)



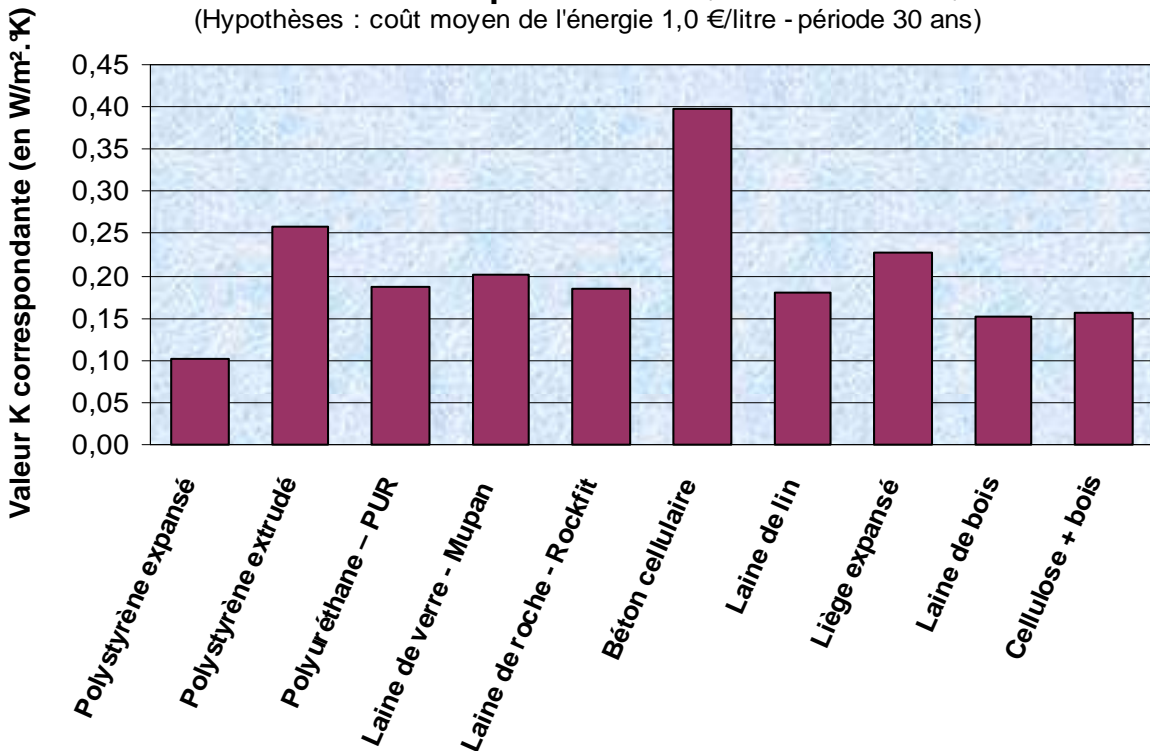
Epaisseur optimale et coûts de l'isolation thermique d'un mur

(Hypothèses : coût moyen de l'énergie 1,0 €/litre - période 30 ans)



Valeur K correspondant à l'épaisseur optimale de l'isolation thermique d'un mur (K faible = meilleur)

(Hypothèses : coût moyen de l'énergie 1,0 €/litre - période 30 ans)



5. Epaisseur optimale de l'isolation thermique d'une toiture

Coûts en €/m² TVAC (21%), sans main d'œuvre ni finition.

Hypothèse du coût moyen de l'énergie sur la période considérée : 0,7 €/litre de mazout

Période prise en compte	20 ans			30 ans			40 ans		
	Epaisseur optimale	Valeur K	Coûts en €	Epaisseur optimale	Valeur K	Coûts en €	Epaisseur optimale	Valeur K	Coûts en €
<input type="checkbox"/> Isolants minéraux									
• Laine de verre – Isoconfort seule	20 cm	0,188	19,54	26 cm	0,147	25,32	30 cm	0,128	27,20
• Laine de verre – Isoconf + voliges bois	16 cm	0,219	21,29	20 cm	0,180	26,73	24 cm	0,153	32,07
• Laine de roche - Delta	22 cm	0,172	18,27	28 cm	0,137	23,25	32 cm	0,120	26,56
• Laine de roche – Delta + voliges en bois	16 cm	0,219	19,03	20 cm	0,180	23,80	26 cm	0,142	30,96
• Verre cellulaire	7 cm	0,481	40,64	9 cm	0,392	52,26	11 cm	0,330	63,88
<input type="checkbox"/> Isolants végétaux									
• Laine de chanvre	14 cm	0,262	26,99	16 cm	0,232	30,62	20 cm	0,188	39,31
• Cellulose + bois	16 cm	0,232	23,35	20 cm	0,188	29,19	24 cm	0,158	35,03

Légende des couleurs :
- vert = valeur K < 0,15 → standard pour les maisons passives
- vert pâle = 0,15 < valeur K < 0,25 → standard pour les maisons basse énergie
- jaune = 0,25 < valeur K < 0,3 → exigences pour les primes régionales
- orange = 0,3 < valeur K < 0,4 → norme régionale à respecter
- rouge = valeur K > 0,4

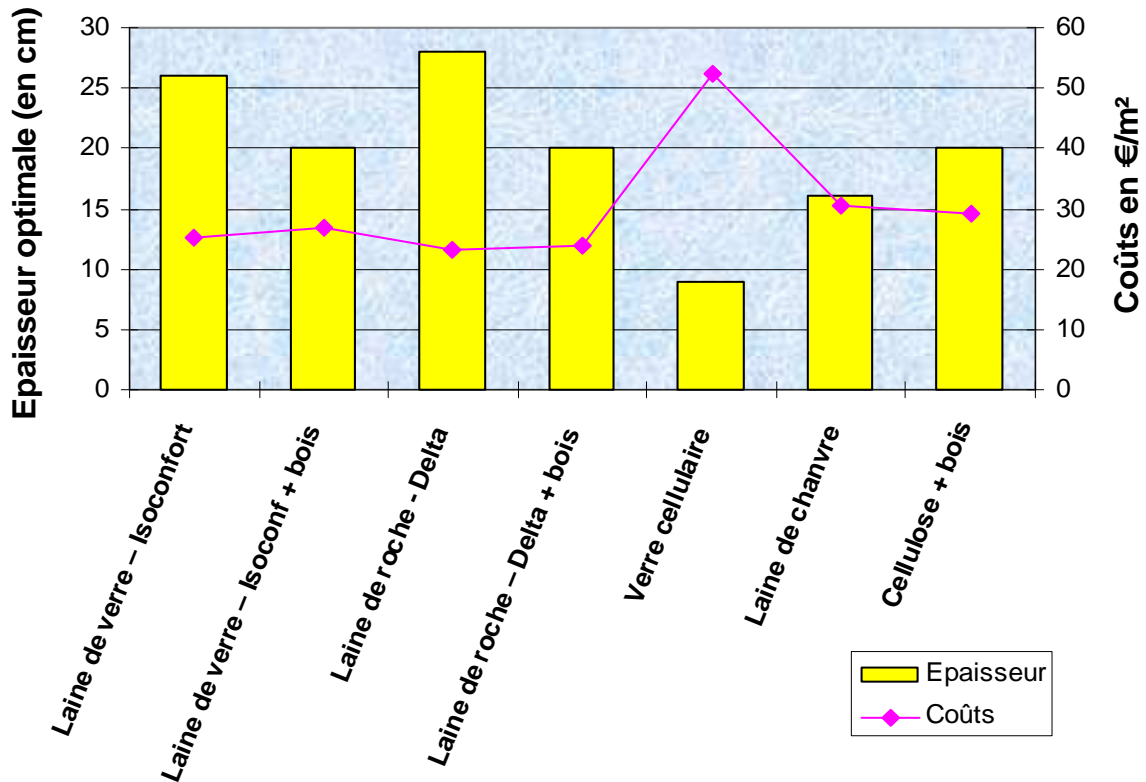
Hypothèse du coût moyen de l'énergie sur la période considérée : 1,0 €/litre de mazout

Période prise en compte	20 ans			30 ans			40 ans		
	Epaisseur optimale	Valeur K	Coûts en €	Epaisseur optimale	Valeur K	Coûts en €	Epaisseur optimale	Valeur K	Coûts en €
<input type="checkbox"/> Isolants minéraux									
• Laine de verre – Isoconfort seule	24 cm	0,158	23,44	30 cm	0,128	27,20	36 cm	0,107	34,96
• Laine de verre – Isoconf + voliges bois	20 cm	0,180	26,73	24 cm	0,153	32,07	28 cm	0,132	37,27
• Laine de roche - Delta	28 cm	0,137	23,25	34 cm	0,113	28,23	38 cm	0,102	31,56
• Laine de roche – Delta + voliges bois	20 cm	0,180	23,80	26 cm	0,142	30,96	30 cm	0,124	35,72
• Verre cellulaire	9 cm	0,392	52,26	12 cm	0,306	69,68	14 cm	0,267	81,29
<input type="checkbox"/> Isolants végétaux									
• Laine de chanvre	16 cm	0,232	30,62	20 cm	0,188	39,31	24 cm	0,158	47,28
• Cellulose + bois	20 cm	0,188	29,19	24 cm	0,158	35,03	28 cm	0,137	40,87

Sauf pour les isolants mentionnés seuls, les coûts incluent la fourniture de voliges en bois nécessaires pour le support de l'isolant. Pour la cellulose, les coûts incluent également le soufflage par entreprise spécialisée.

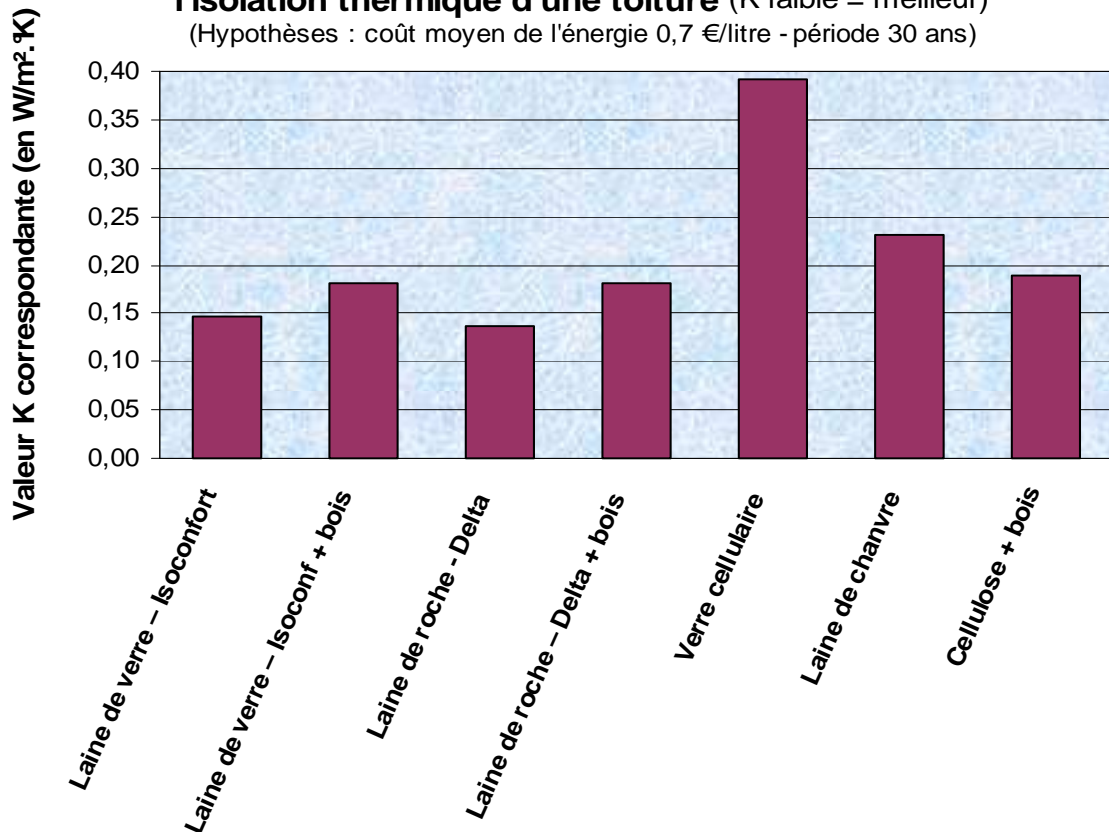
Épaisseur optimale et coûts de l'isolation thermique d'une toiture

(Hypothèses : coût moyen de l'énergie 0,7 €/litre - période 30 ans)



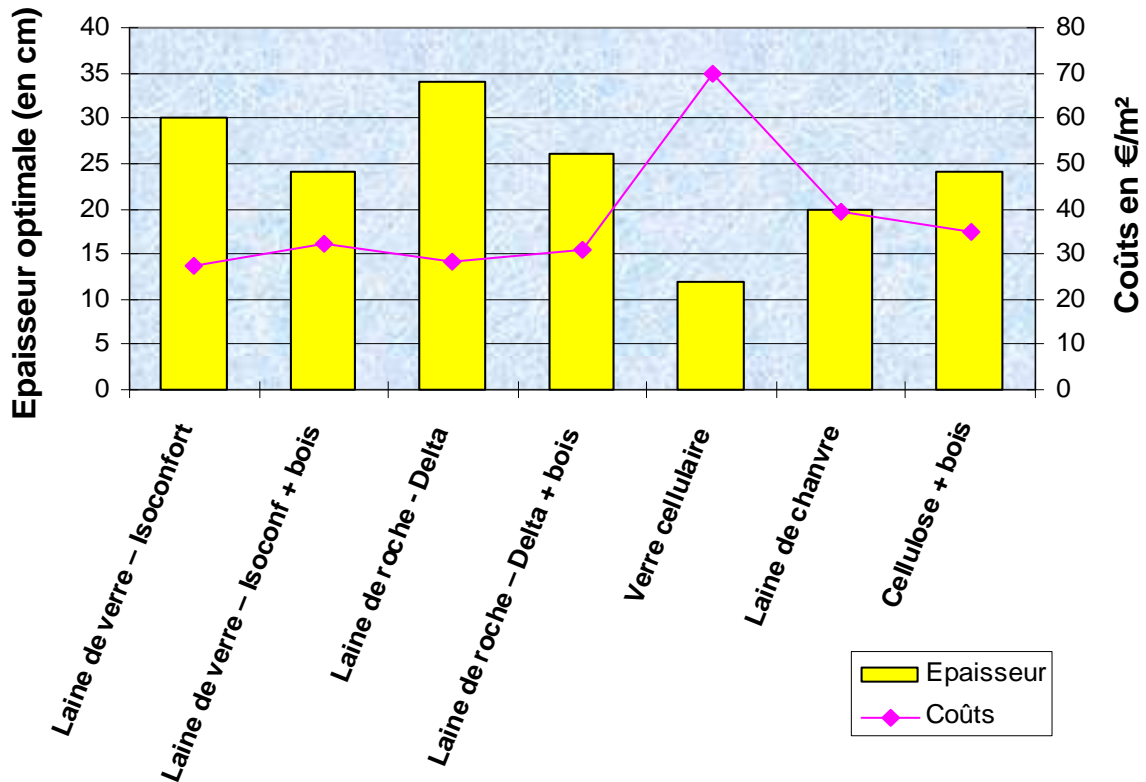
Valeur K correspondant à l'épaisseur optimale de l'isolation thermique d'une toiture (K faible = meilleur)

(Hypothèses : coût moyen de l'énergie 0,7 €/litre - période 30 ans)



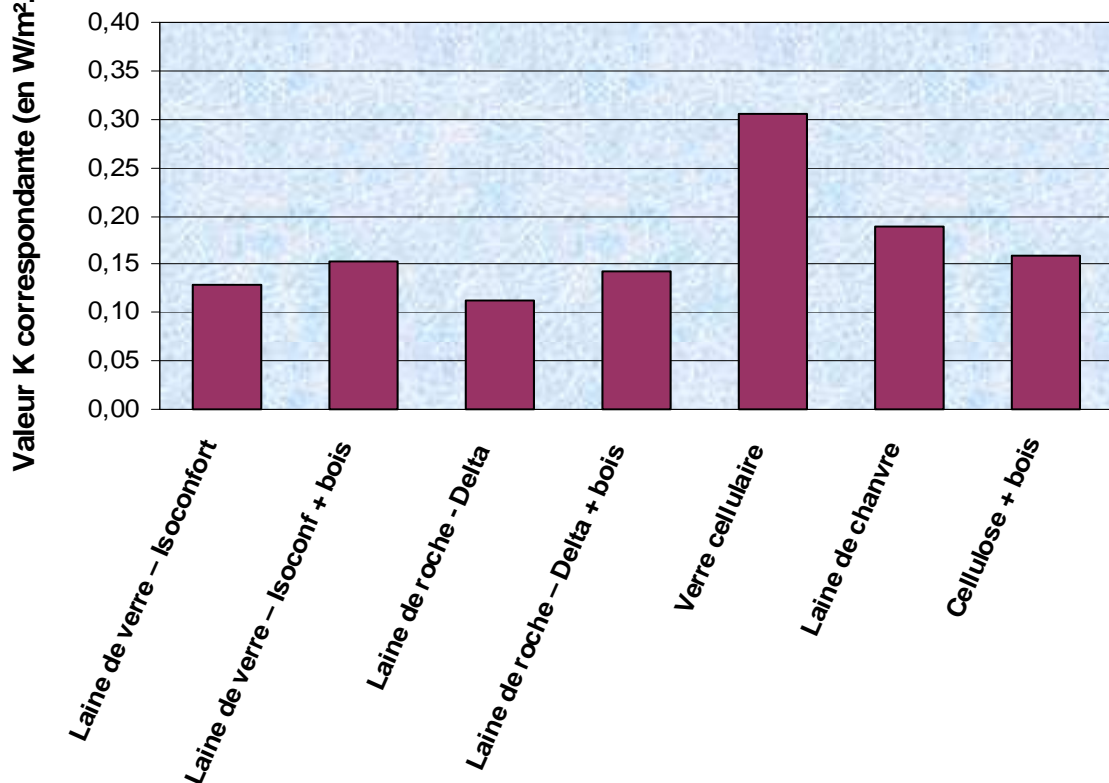
Épaisseur optimale et coûts de l'isolation thermique d'une toiture

(Hypothèses : coût moyen de l'énergie 1,0 €/litre - période 30 ans)

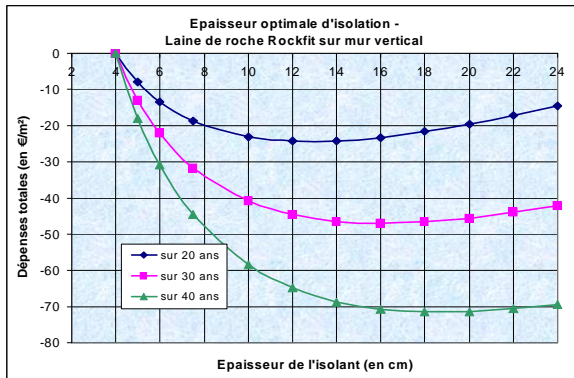
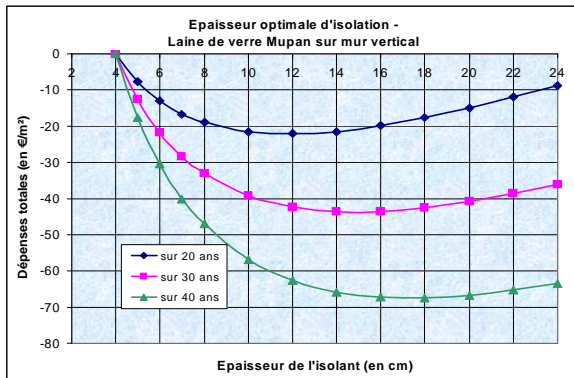
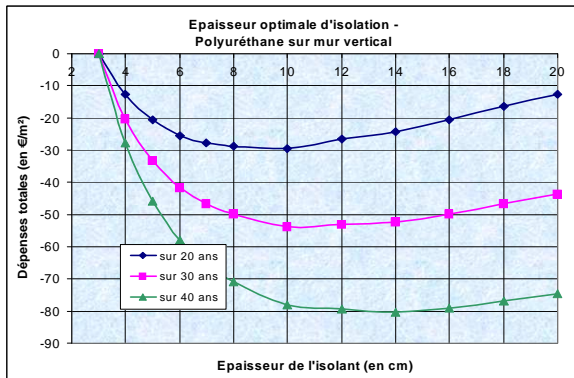
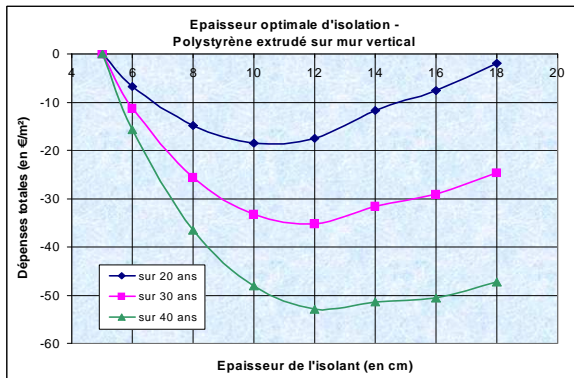
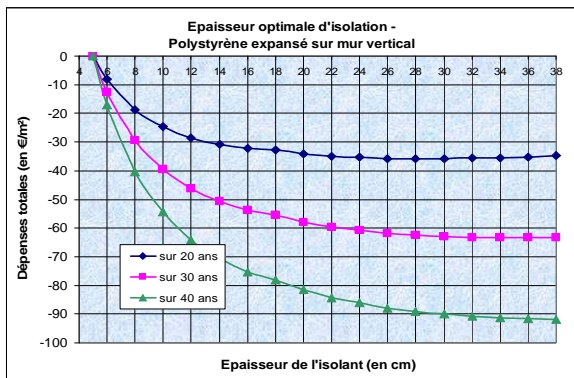


Valeur K correspondant à l'épaisseur optimale de l'isolation thermique d'une toiture (K faible = meilleur)

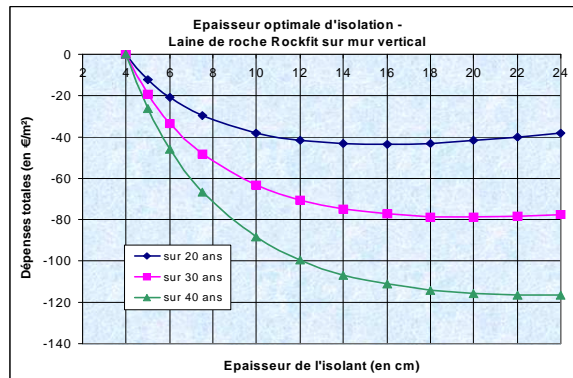
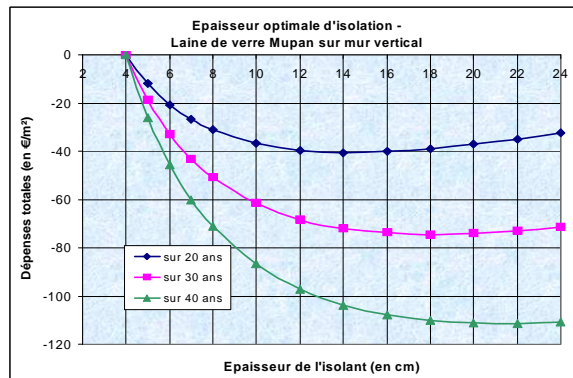
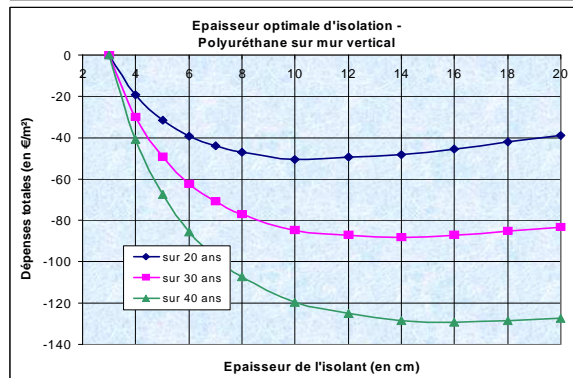
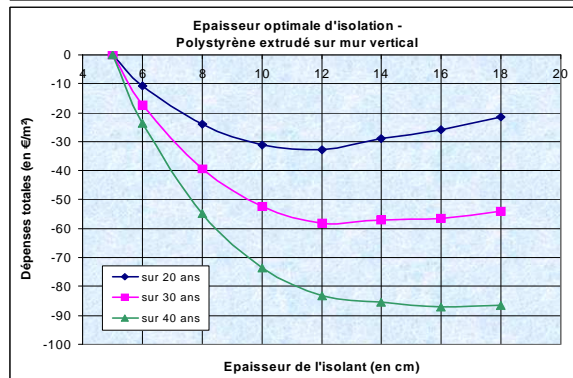
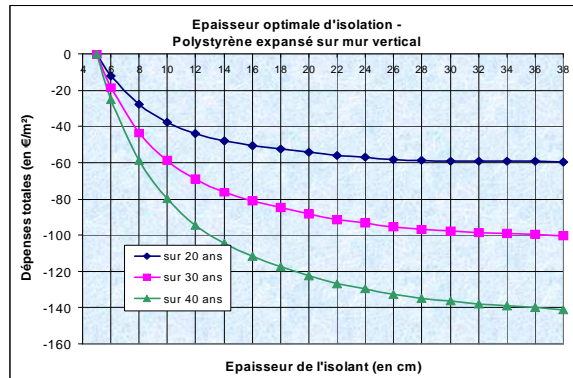
(Hypothèses : coût moyen de l'énergie 1,0 €/litre - période 30 ans)



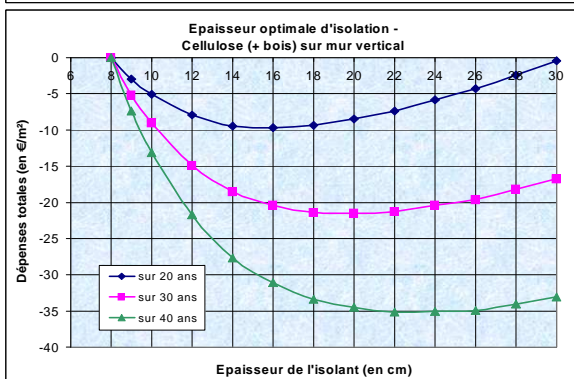
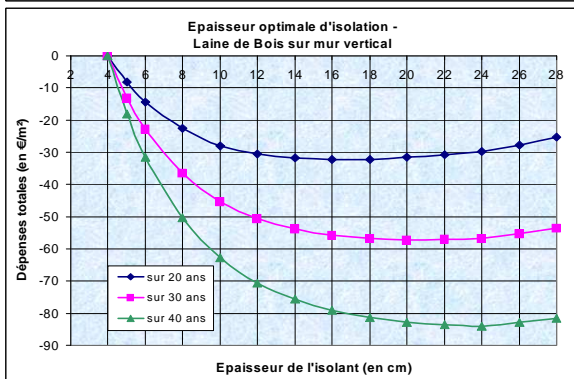
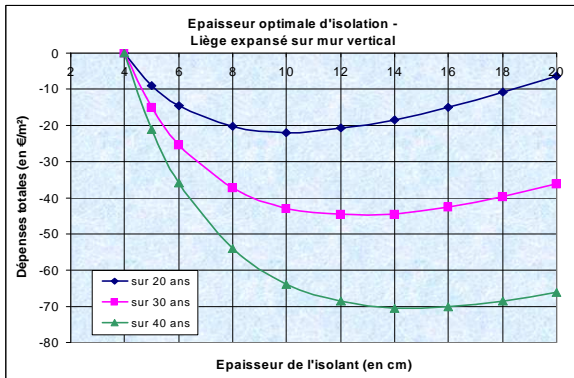
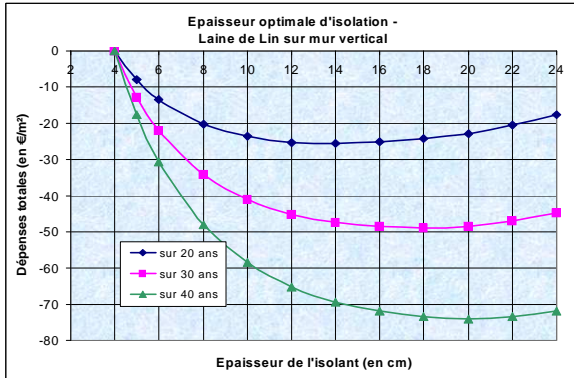
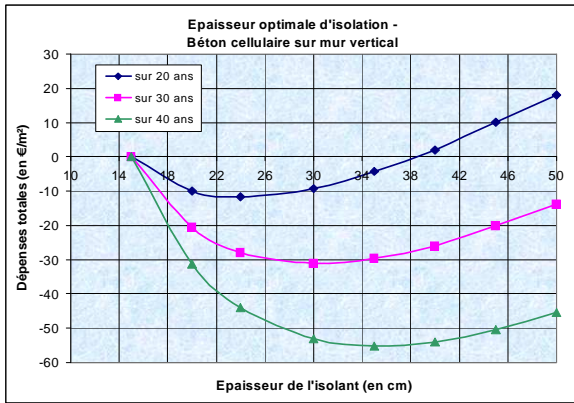
Coût moyen énergie : 0,7 €/litre de mazout



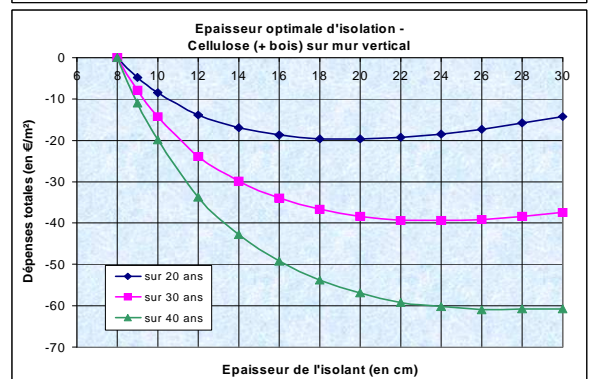
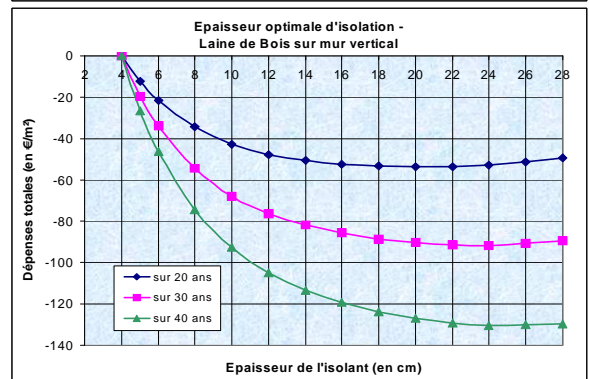
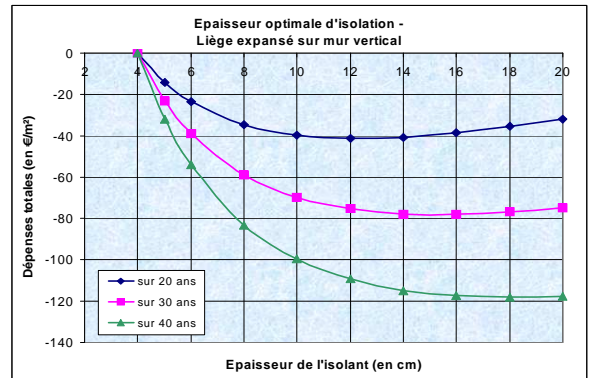
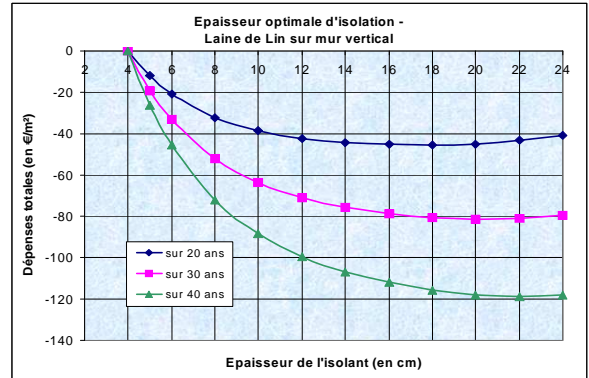
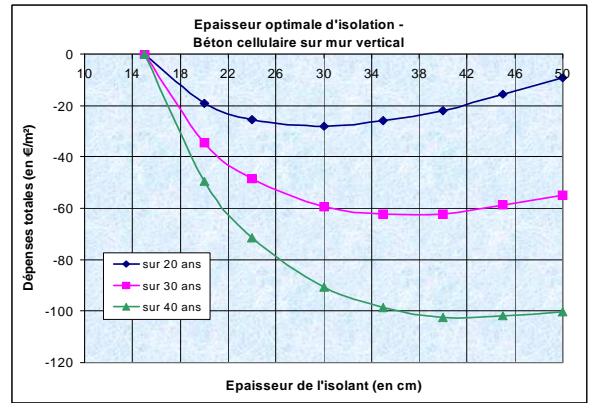
Coût moyen énergie : 1 €/litre de mazout



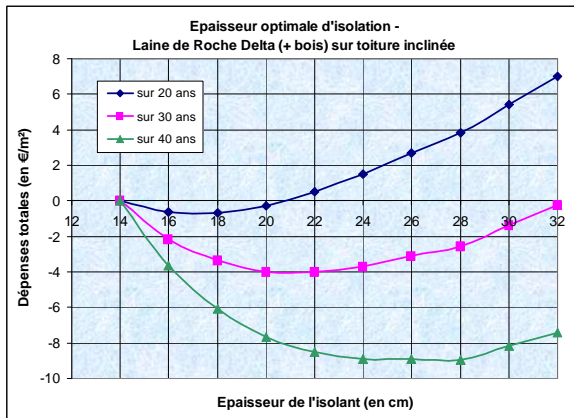
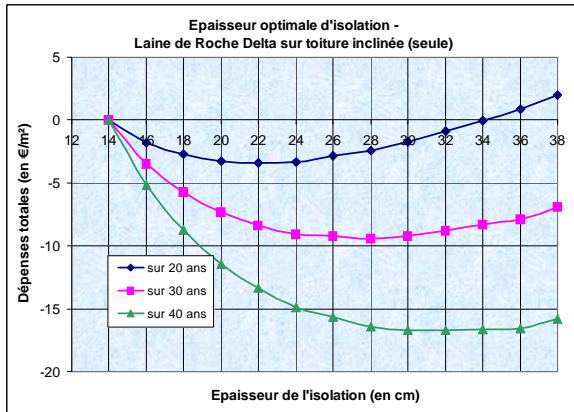
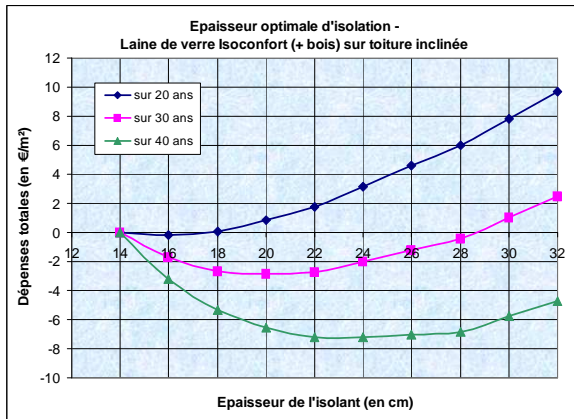
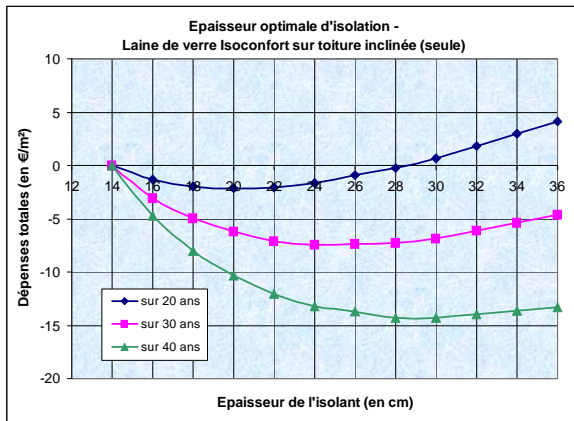
Coût moyen énergie : 0,7 €/litre de mazout



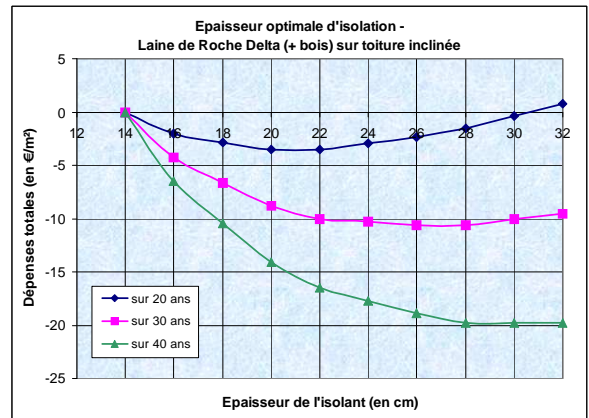
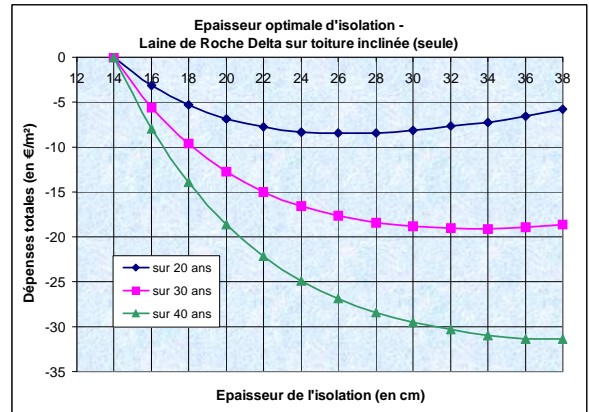
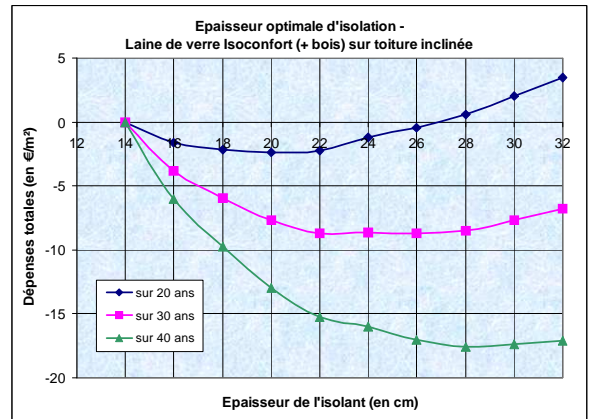
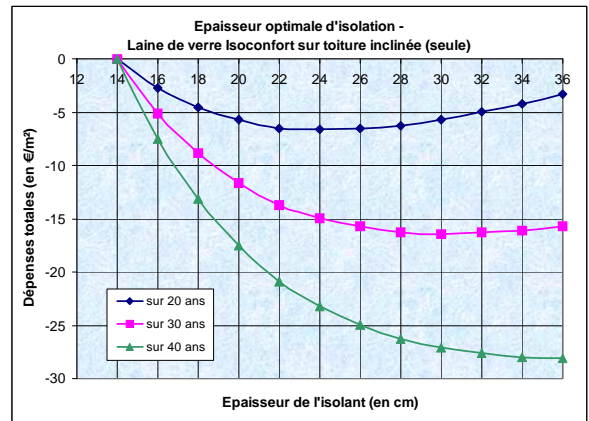
Coût moyen énergie : 1 €/litre de mazout



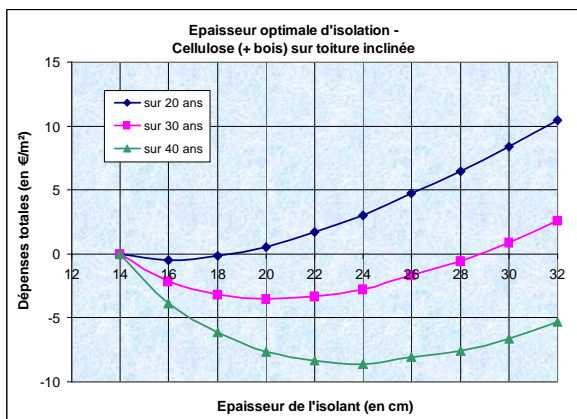
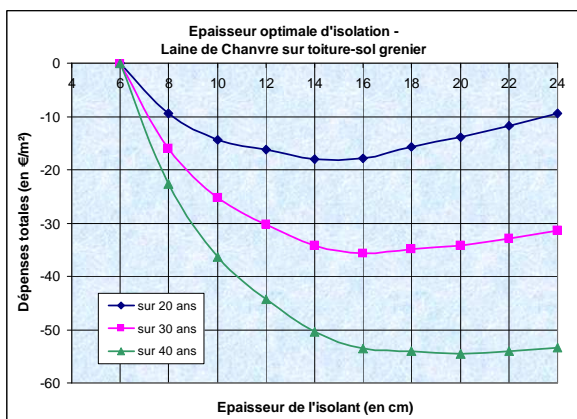
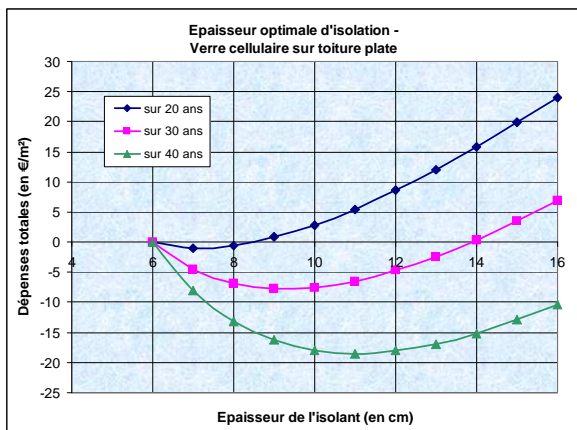
Coût moyen énergie : 0,7 €/litre de mazout



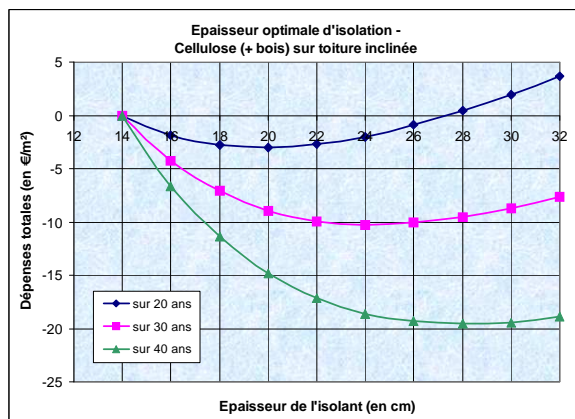
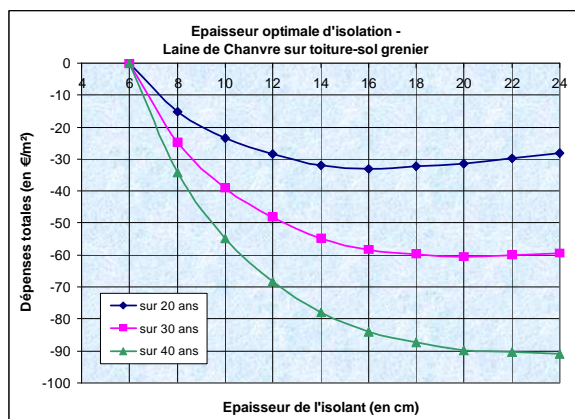
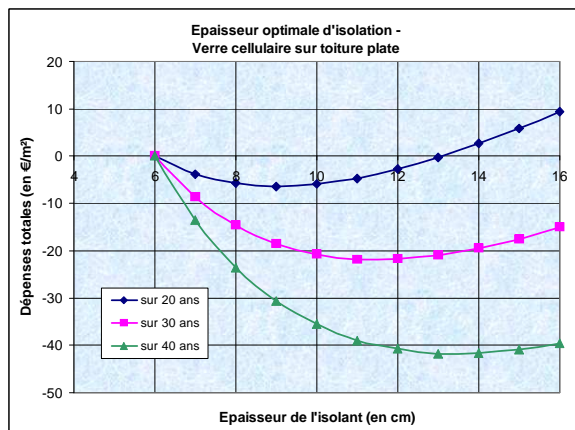
Coût moyen énergie : 1 €/litre de mazout



Coût moyen énergie : 0,7 €/litre de mazout



Coût moyen énergie : 1 €/litre de mazout



6. Recommandations

Il est difficile de proposer des recommandations générales en ce qui concerne le matériau idéal et son épaisseur à mettre en œuvre. En effet, les différents isolants analysés ont chacun leurs qualités et inconvénients propres, et, de ce fait, ils sont difficilement comparables entre eux.

Néanmoins, une des premières conclusions qui ressort de l'analyse est que les épaisseurs qui sont encore habituellement proposées dans les projets actuels de construction ou de rénovation (soit 5 à 6 cm dans les murs et 12 cm en toiture), ne sont plus adaptées aux prix élevés de l'énergie en cours aujourd'hui et encore moins à ceux encore plus élevés qui auront cours dans un avenir de plus en plus proche.

En effet, les ordres de grandeur qu'il convient d'intégrer aujourd'hui sont d'un tout autre niveau, puisque c'est désormais de 15 à 25 cm qu'il faut prévoir dans les murs verticaux et de 25 à 35 cm en toiture !!

Même si de telles recommandations doivent être considérées avec une certaine prudence, des types d'isolants et leurs épaisseurs optimales peuvent être proposés comme suit :

Maîtres-Achats

MURS

* Moins cher :

Polystyrène expansé EPS – épaisseur de 38 cm
($k = 0,101$ – coûts = 27,04 €/m²)

* Meilleur rapport Qualité-prix :

Laine de bois – épaisseur de 24 cm
($k = 0,152$ – coûts = 30,58 €/m²)

TOITURE

* Moins cher sans structure supplémentaire :

Laine de roche Delta – épaisseur de 34 cm
($k = 0,113$ – coûts = 28,23 €/m²)

* Moins cher avec structure porteuse :

Laine de roche Delta – épaisseur de 26 cm
($k = 0,142$ – coûts = 30,96 €/m²)

* Meilleur rapport Qualité-prix :

Cellulose soufflée – épaisseur de 24 cm
($k = 0,158$ – coûts = 35,03 €/m²)

7. Performances thermiques minimales à atteindre

La réglementation et les primes régionales

Outre un niveau de performance global à atteindre (K_{global} ou $B_{e\ 450}$), la réglementation wallonne en matière d'isolation thermique exige des valeurs maximales pour le coefficient de transmission thermique U_{max} (anciennement k) des parois faisant partie de la surface de déperdition.

En rénovation, ces valeurs doivent être respectées pour toute paroi qui fait l'objet d'une reconstruction ou qui est ajoutée.

Il se peut également que ces valeurs (ou même des valeurs plus sévères) doivent être atteintes, et ce même si un mur n'est pas directement touché par la rénovation, lorsqu'il y a changement d'affectation du bâtiment, de manière à atteindre le niveau global d'isolation (K_{global} ou $B_{e\ 450}$).

Par ailleurs, les exigences pour obtenir les primes régionales sont également plus sévères, comme le montre le tableau qui suit : la Région offre en effet des primes pour ceux qui font un effort supplémentaire par rapport aux exigences minimales de la réglementation.

Élément de la surface de déperdition	Norme Régionale en rénovation	Exigences pour obtenir les primes régionales	
	k_{max} ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{°K}$)	U_{max} paroi	R_{min} isolant
Fenêtres et autres parois translucides, portes	3,5	2 1,1	-
<ul style="list-style-type: none"> • Vitrage • Ensemble vitrage-châssis 			
Murs et parois opaques verticales :			
<ul style="list-style-type: none"> • entre le volume protégé (VP) et l'air extérieur ou entre le volume protégé et un local non chauffé non à l'abri du gel 	0,6	0,5	1,0
<ul style="list-style-type: none"> • entre le volume protégé et un local non chauffé à l'abri du gel 	0,9	0,6	1,0
<ul style="list-style-type: none"> • entre le volume protégé et le sol 	0,9	0,6	
Toiture entre le volume protégé et l'ambiance extérieure ou ensemble de plafond + grenier + toiture	0,4	0,3	3,0
Plancher :			
<ul style="list-style-type: none"> • entre le volume protégé et l'air extérieur ou entre le volume protégé et un local non chauffé non à l'abri du gel 	0,6	0,5	1,0
<ul style="list-style-type: none"> • entre le volume protégé et un local non chauffé à l'abri du gel 	0,9	0,6	1,0
<ul style="list-style-type: none"> • entre le volume protégé et le sol 	1,2	0,6	1,0
Paroi mitoyenne : entre deux volumes protégés ou entre appartements	1	1	-

Calcul de l'épaisseur d'isolant

Si on veut atteindre une valeur U déterminée, l'épaisseur d'isolant (e_i) peut être calculée par la formule :

$$e_i = \lambda_i [(1/U) - (1/h_e + 1/h_i + e_1/\lambda_1 + e_2/\lambda_2 + \dots)] \text{ (m)}$$

avec :

- λ_i : le coefficient de conductibilité thermique de l'isolant (W/m.K),
- U : le coefficient de transmission thermique de la paroi à atteindre (W/m².K),
- h_e et h_i : les coefficients d'échange thermique entre le mur et les ambiances extérieure et intérieure. Ils valent respectivement 23 W/m².K et 8 W/m².K,
- $e_1/\lambda_1, e_2/\lambda_2$: la résistance thermique des autres couches de matériaux (m².K/W).

Remarques.

- *Lorsqu'on utilise un isolant disposant d'un agrément technique (ATG), on peut se fier au coefficient de conductibilité thermique certifié par celui-ci; celui-ci est, en général, plus faible que celui indiqué dans l'addendum 1 de la NBN B 62-002 et on peut ainsi diminuer l'épaisseur d'isolant, parfois de manière appréciable.*
- *Les épaisseurs calculées doivent être augmentées de manière à obtenir des épaisseurs commerciales.*
- *A épaisseur égale et pour autant que l'isolant soit correctement mis en oeuvre, la présence d'une lame d'air moyennement ventilée entre l'isolant et sa protection (enduit ou bardage), permet de diminuer le coefficient de transmission thermique U de 2,5 à 5 %.*

Source : "CD-Rom ENERGIE + " réalisée par le Architecture & Climat de l'UCL à la demande de la DGTR, Ministère de l'énergie de la Région wallonne.