

FORMATION BATIMENT DURABLE

ENVELOPPE : RÉNOVATION DE LA TOITURE

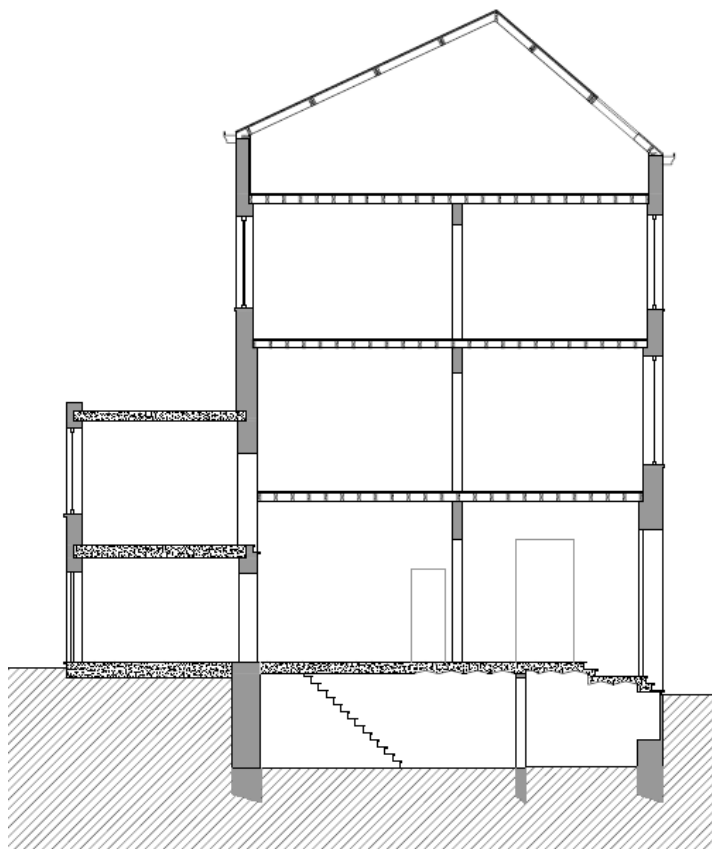
AUTOMNE 2024

Vocabulaire de la toiture

Julie RENAUX et Pierre WILLEM

écorce
INGÉNIERIE & CONSULTANCE

Les grandes familles de toiture

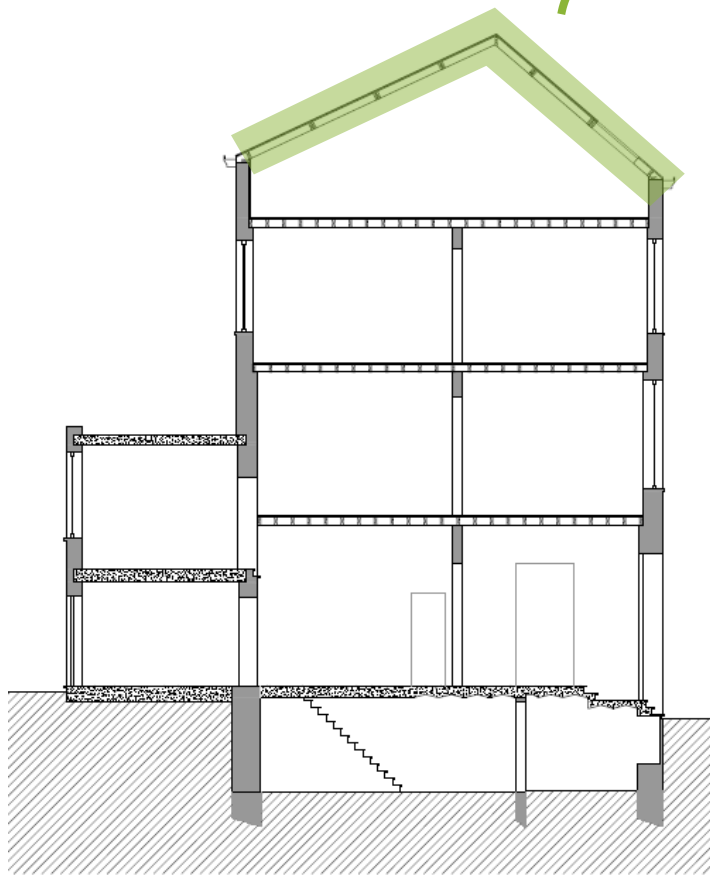


Source : ecorce

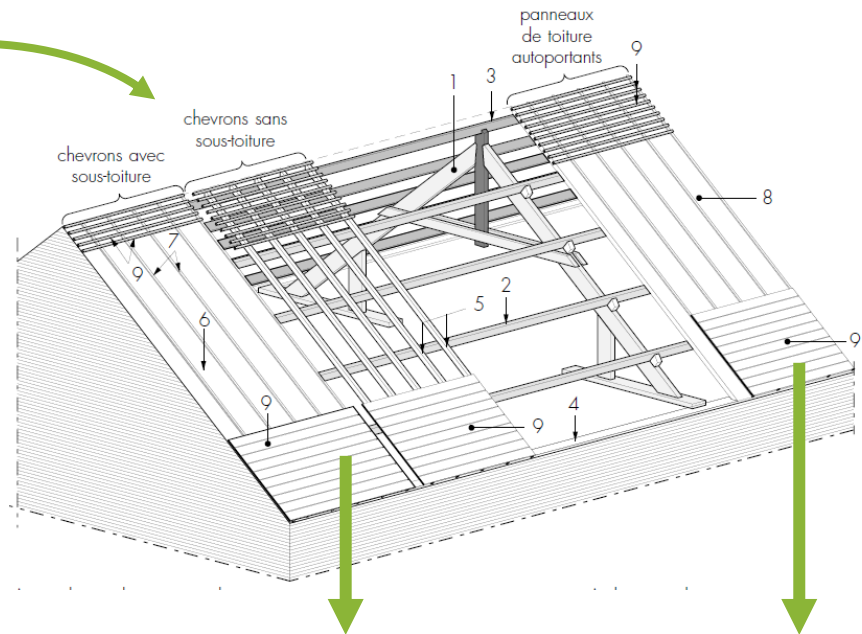
wooclap



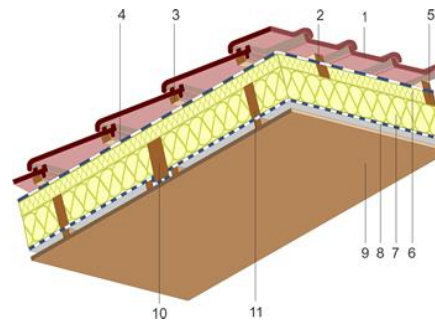
Toiture inclinée



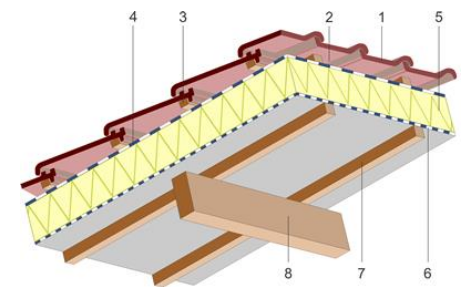
Source : ecorce



Toiture isolée dans la charpente



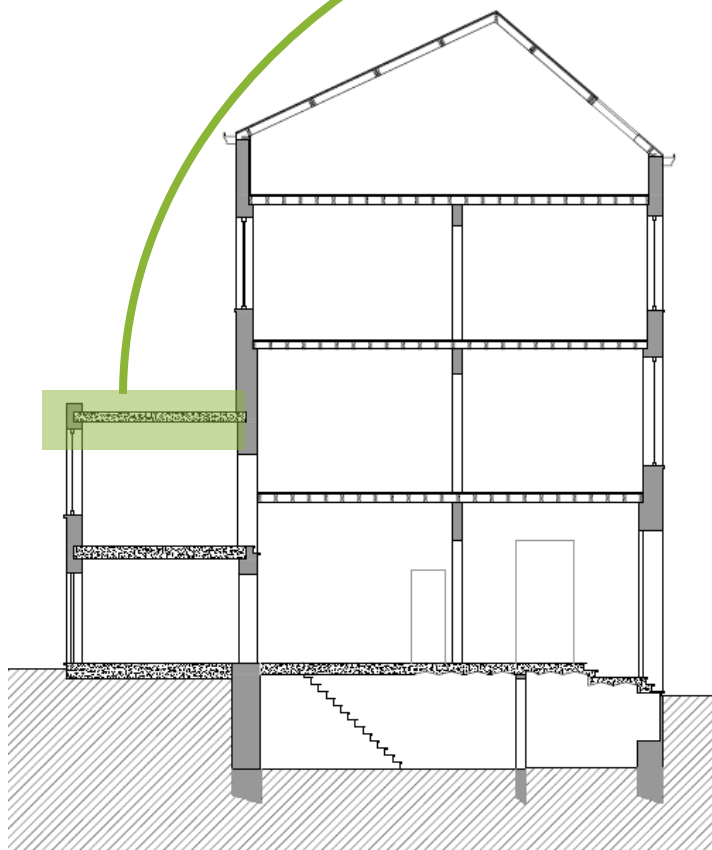
Toiture sarking



Sources : UCL – Architecture et climat



Toiture plate



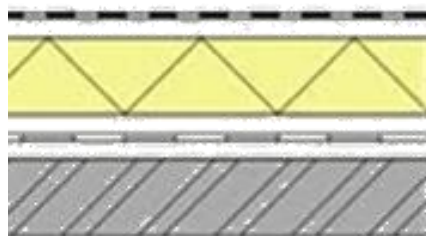
Source : ecorce

Structure continue

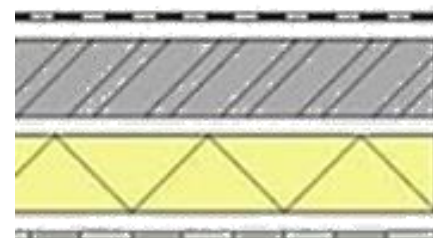
- ▶ Béton et dérivé (Dalle, Hourdis, Poutrain entrevous,...)
- ▶ Métal : bac acier (isolé ou non)
- ▶ Bois : CLT

Position de l'isolant ?

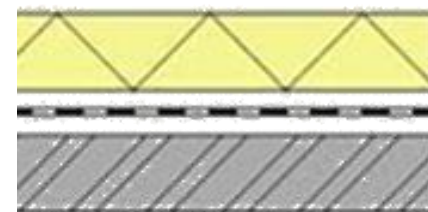
Toiture chaude



Toiture froide



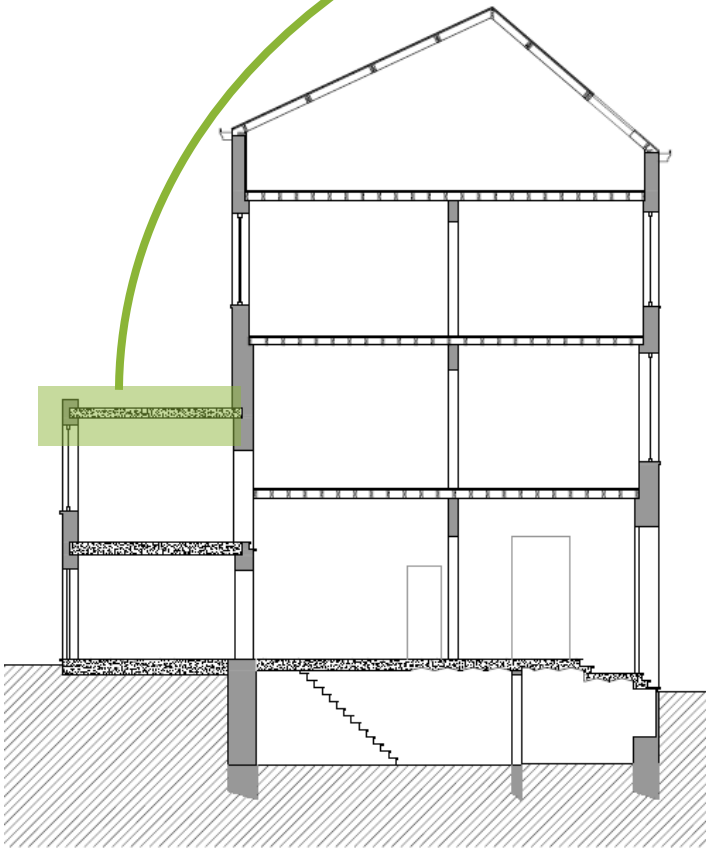
Toiture inversée



Sources : IKO.com



Toiture plate



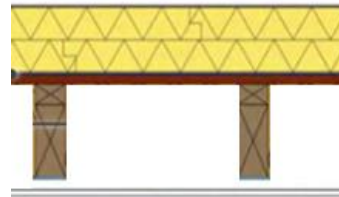
Source : ecorce

Structure discontinue

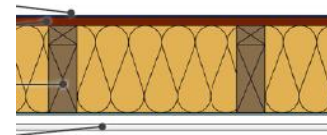
- Métal ou bois (majoritairement)
 - traditionnel (pannes - chevrons)
 - TJI (systèmes plus complexes : âme en acier,...)
 - caissons auto-portants

Position de l'isolant ?

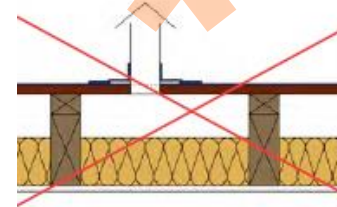
Toiture chaude



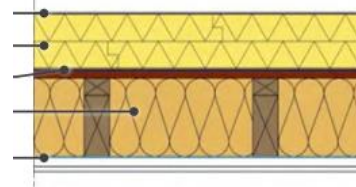
Toiture compacte



Toiture froide



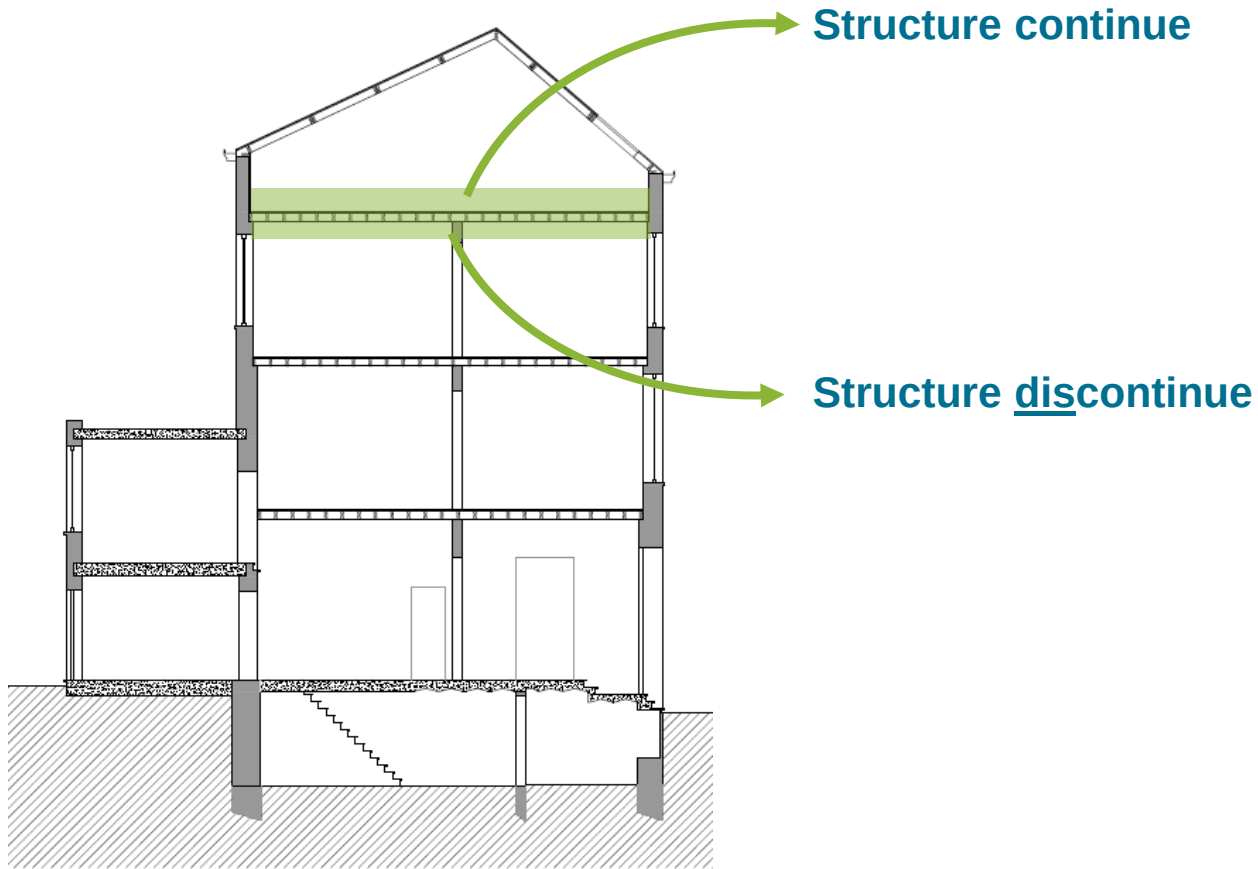
Toiture mixte



Sources : Homegrade



Plancher des combles



Source : ecorce



FORMATION BATIMENT DURABLE

ENVELOPPE :
RÉNOVATION DE LA TOITURE

AUTOMNE 2024

Se protéger de la pluie et du froid

Julie RENAUX & Pierre WILLEM

écorce
INGÉNIERIE & CONSULTANCE

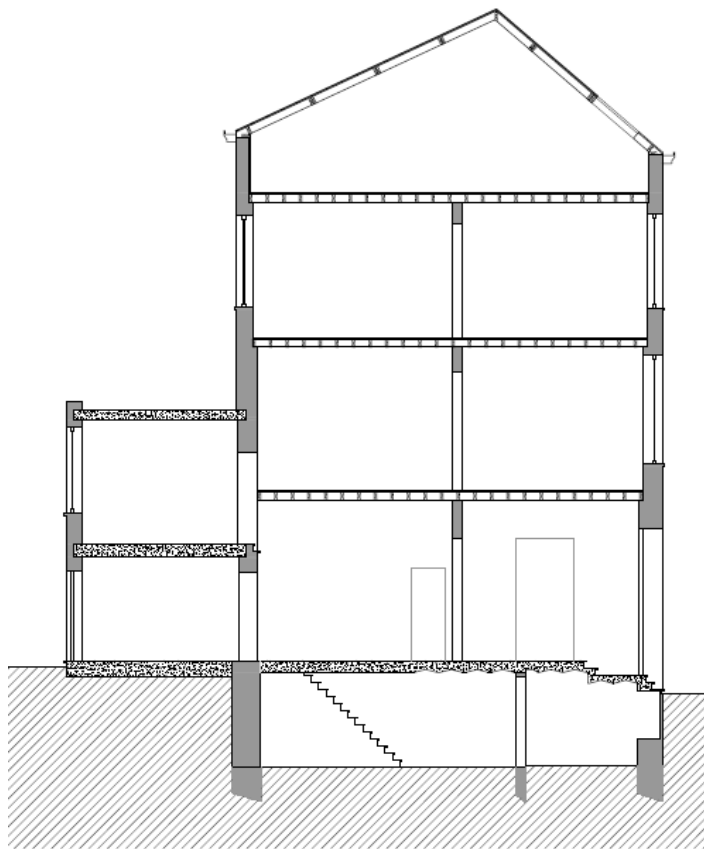
APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

APPROCHE PAR FAMILLE

CONCLUSION



ETAPE 1 - Définir le volume protégé



Source : ecorce



ETAPE 1 - Définir le volume protégé

- ▶ Définition selon la réglementation PEB
 - Volume de tous les espaces d'un bâtiment qui est protégé du point de vue thermique :
 - de l'environnement extérieur (air ou eau)
 - du sol
 - Et de tous les espaces contigus qui ne font pas partie du volume protégé
- ▶ Le volume protégé doit comprendre au moins tous les espaces chauffés (et/ou refroidis) (en continu ou par intermittence) qui font partie du bâtiment considéré ...

⇒ **A quoi ça sert de le définir ?**

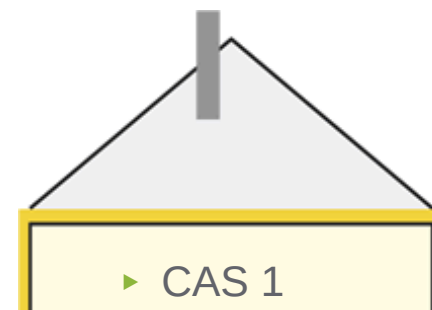


ETAPE 1 - Définir le volume protégé

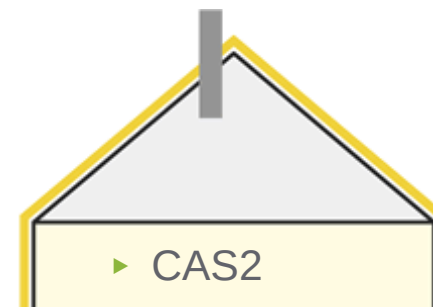
► Exemple



Source : www.fond-ecran-image.com



OU



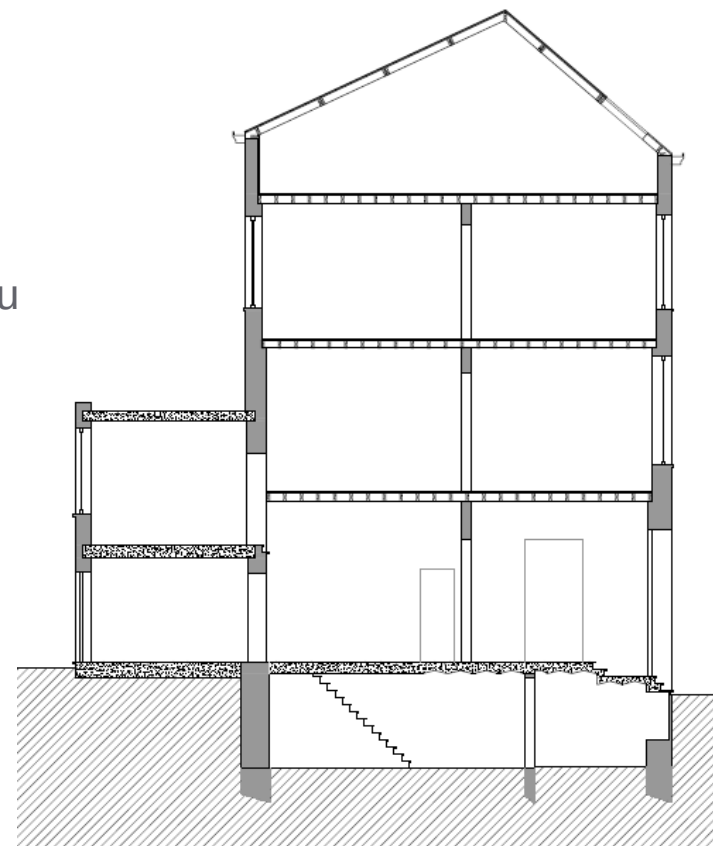
wooclap



ETAPE 1 - Définir le volume protégé

ETAPE 2 - Identifier la situation existante

- ▶ Nature de la structure
- ▶ Présence d'isolant?
- ▶ Présence d'une sous-toiture? D'un pare vapeur
- ▶ Pathologies ou plaintes éventuelles?



Source : ecorce

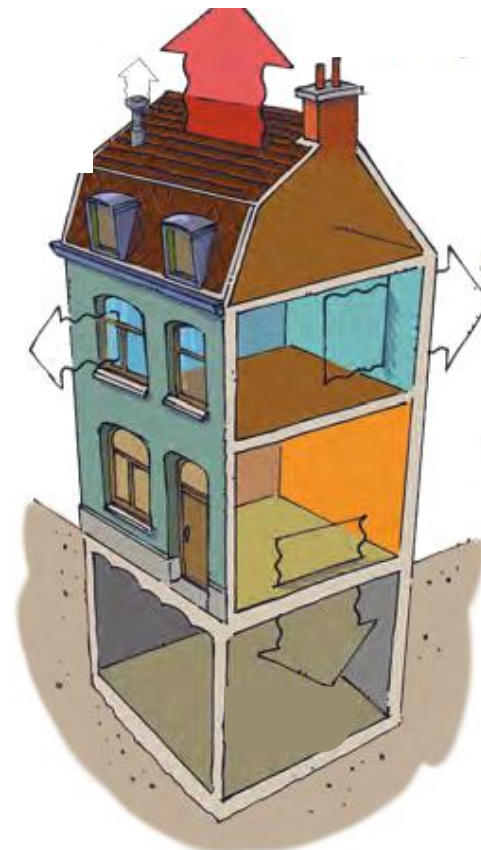


ETAPE 2 - Identifier la situation existante

► Exemple

Dans une maison typiquement bruxelloise,
non transformée

- Quelle est la proportion **de surface** de la toiture par rapport à la superficie de l'enveloppe déperditive?
- Quelle proportion **de pertes énergétiques** via la toiture?



Les pertes de chaleur au sein d'une maison mitoyenne non isolée.
Source : Architecture et Climat, « Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques pleines », 2011.

wooclap



APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

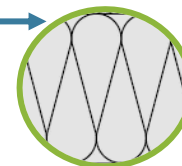
APPROCHE PAR FAMILLE

CONCLUSION



Structure de l'approche

- ▶ Par famille
 - Quelles sont les sous-familles?
- ▶ Par sous-famille
 - Approche générale de la conception de ce type de toiture
 - Points d'attention spécifique à la rénovation
- ▶ Par famille
 - Et quand de l'isolant est déjà présent?



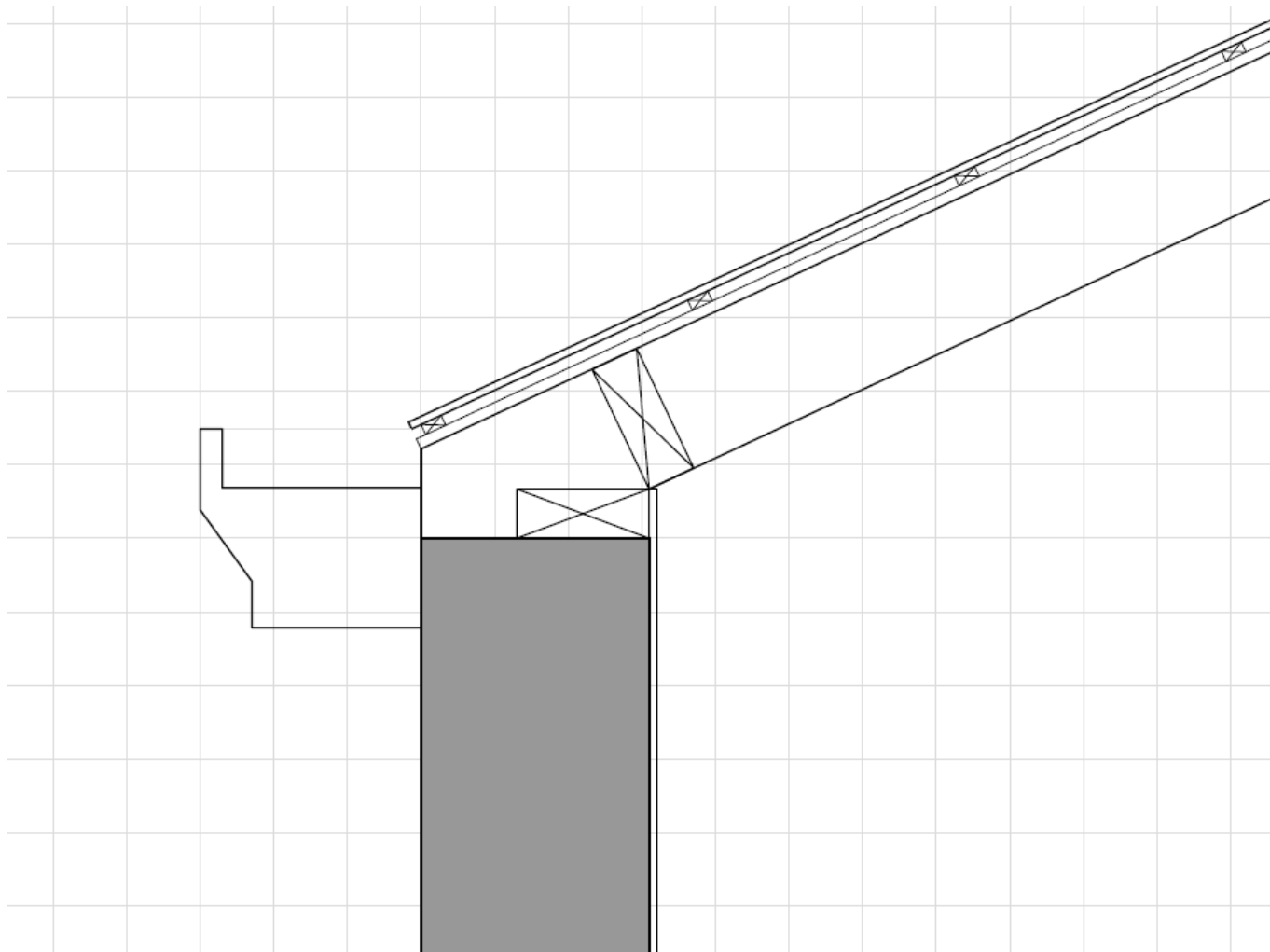
APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

APPROCHE PAR FAMILLE

- ▶ **Toiture inclinée**
 - ▶ Toiture plate à structure continue
 - ▶ Toiture plate à structure discontinue
 - ▶ Plancher des combles

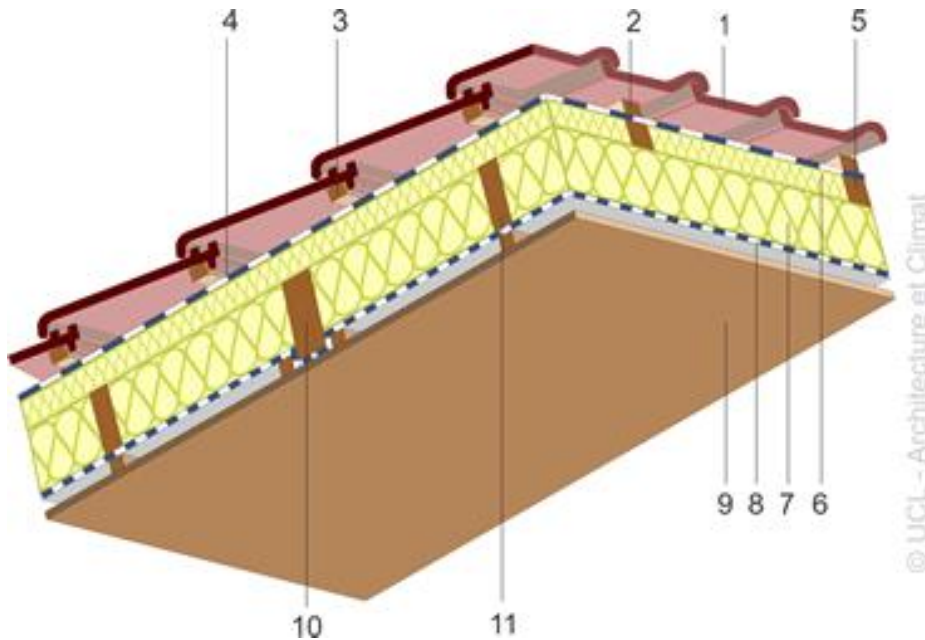
CONCLUSION





Source : ecorce





Etanchéité à l'eau

- ▶ Ventilation
- ▶ Type de sous-toiture
- ▶ En rénovation : état de la sous-toiture

Isolation

- ▶ Performance de la paroi
- ▶ Typologies d'isolants
- ▶ Combinaison d'isolants
- ▶ Nœuds constructifs
- ▶ En rénovation...

Etanchéité à l'air

- ▶ Gestion des (contre-)gîtes

Diffusion de vapeur d'eau

- ▶ Nature de la sous-toiture

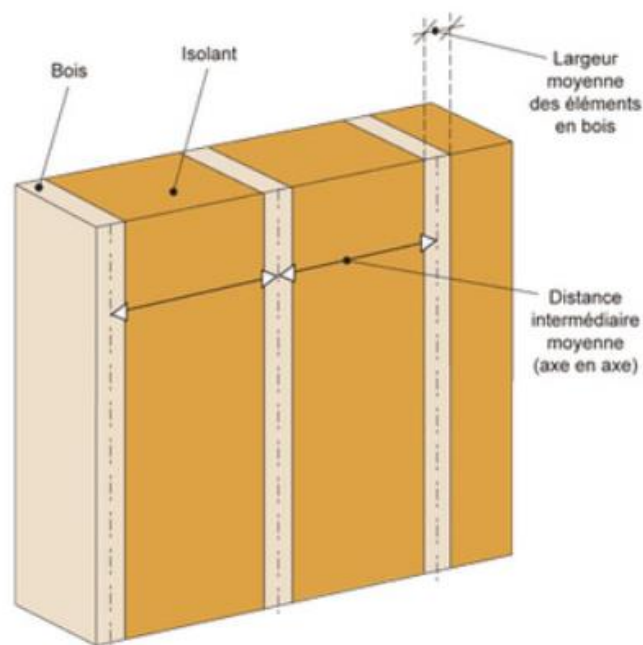


Impact de la structure

► Fraction de bois

$$\text{Fraction bois} = \frac{\text{largeur moyenne des éléments en bois}}{\text{distance intermédiaire moyenne}}$$

En présence d'entretoises, la fraction de bois est augmentée de 0,01.



Valeurs par défaut

Choisir la fraction de bois correspondant au type de structure :

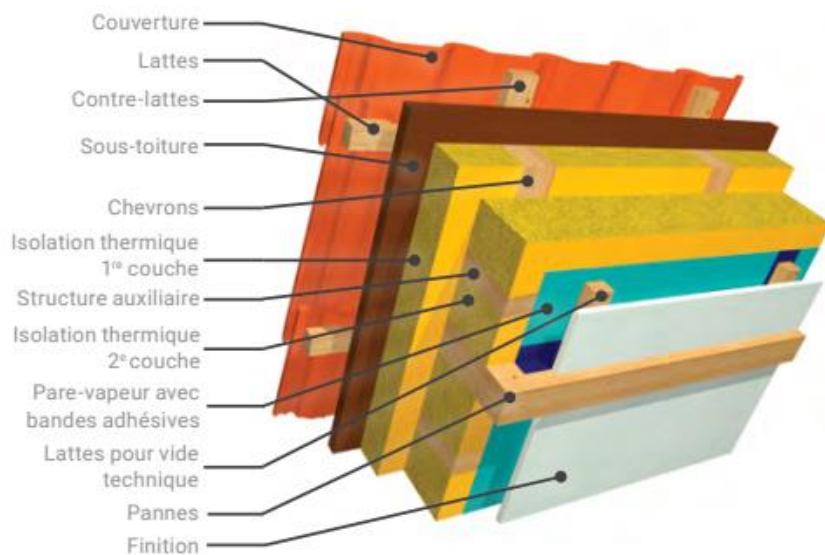
- 0,11 pour une isolation entre pannes
- 0,20 pour une isolation entre chevrons
- 0,12 pour une isolation entre fermettes
- 0,11 pour un plancher isolé
- 0,15 pour une paroi isolée à ossature

Source :
Guide PEB RW

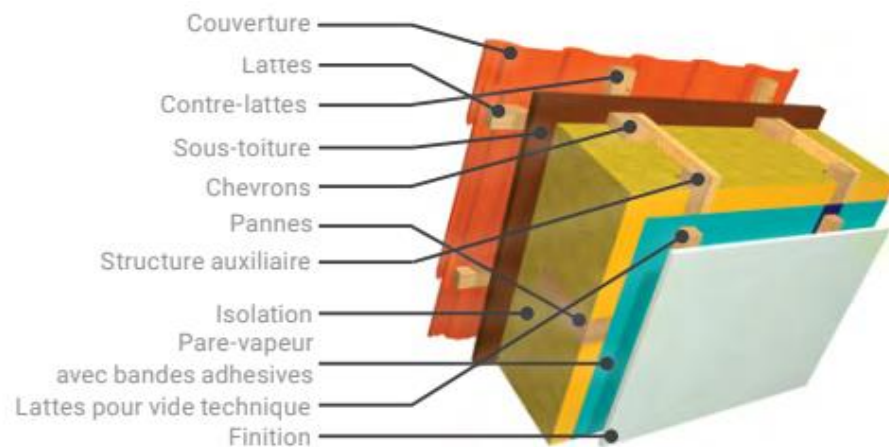


Typologies d'isolants

Isolation via matelas souples

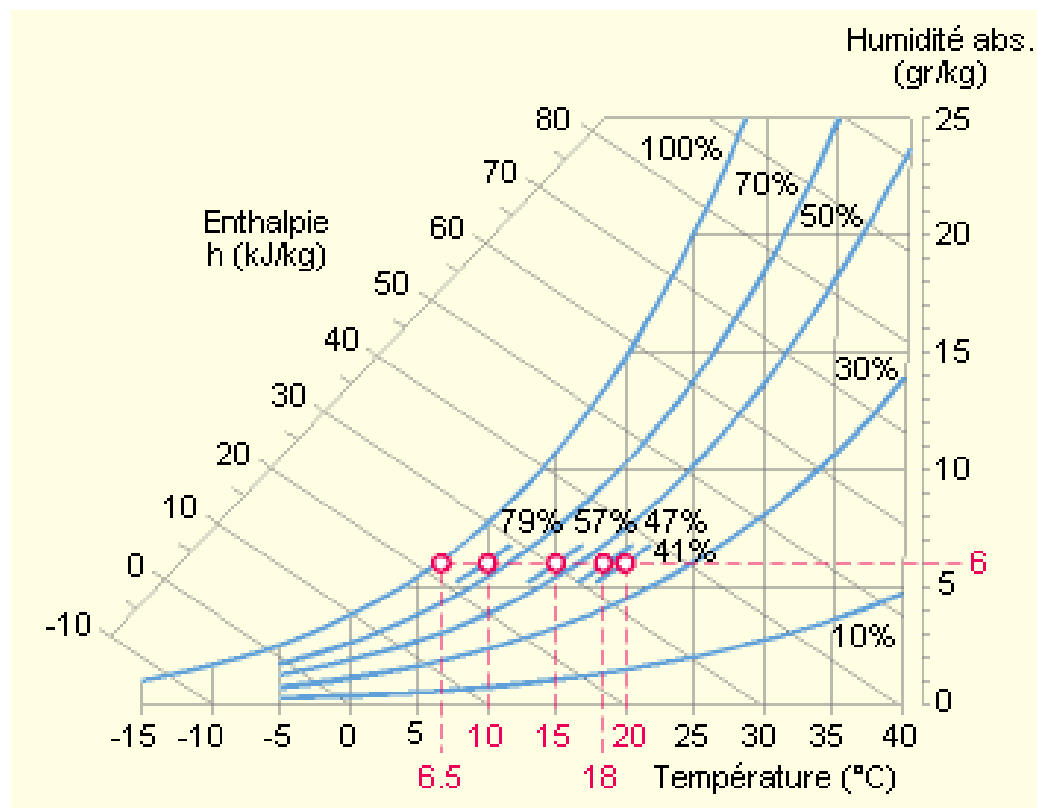


Isolation insufflée, projetée



Sources : Homegrade





		Température [°C]	Humidité absolue [g _{eau} /kg _{airsec}]	Humidité relative [%]	Remarques
A	automne (matin)	6,5	6	100	brouillard ou pluie
B	automne	10	6	79	brouillard ou brume
C	chauffé à	15	6	57	
D	chauffé à	18	6	47	
E	chauffé à	20	6	41	





SIMULATION STATIQUE : Glaser (fréquent)

Données de calcul:

Ri	Ti	HRi	pi	Re	Te	HRe	pe
0,125	25	60	1905	0,043	0	90	552

pvx : pression partielle d'

psx : pression de saturati

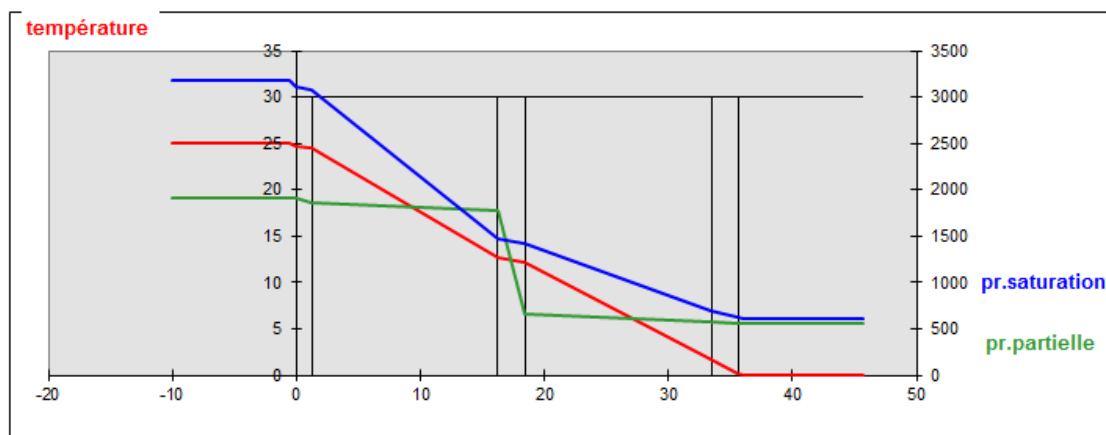
Caractéristiques de la paroi:

intérieur	épaisseur (m)	lambda (W/mK)	Rx (m2 K/W)	Rtot (m2 K/W)	mu	Zx $\times 5,4 \cdot 10^9$	Ztot $\times 5,4 \cdot 10^9$	T°x (°C)	pvx (Pa)	psx (Pa)	HR (%)
Ri			0,13	0,13				25	1905	3174	60%
1 Plaque plâtre	0,0125	0,2	0,06	0,19	8,3	0,1038	0,1038	24,6	1905	3108	61%
2 Laine de lin	0,15	0,036	4,17	4,35	1,5	0,225	0,33	24,5	1865	3076	61%
3 OSB	0,022	0,12	0,18	4,54	134	2,948	3,28	12,7	1780	1476	121%
4 Cellulose	0,15	0,04	3,75	8,29	1,5	0,225	3,50	12,2	662	1427	46%
5 Cellit	0,022	0,04	0,55	8,84	2,9	0,0638	3,57	1,7	576	692	83%
Re			0,04	8,88				0,1	552	619	89%
extérieur								0	552	613	90%

impossible, condensation !

k paroi 0,11 W/m2.K
flux chal. 2,8 W/m2
Flux vap 7,0E-08 kg / m2.s
6,1 gr / m2.jour
0,4729

Remarque: les valeurs indiquées pour les pressions de saturation sont légèrement différentes de celles données par le diagramme de l'air humide (formule mathématique approchée)







► Isolants

Densité	Epaisseur	Masse par m ²	Isolation	Inertie					Humidité		
ρ	d	m	λ	C	ρC	Diffusivité	Effusivité	μ sec	μ hum.	A	
kg/m ³	m	kg/m ²	W/mK	J/kgK	kJ/m ³ K	m ² /s	J/m ² Ks ^{1/2}	/	/	kg/m ² s ^{1/2}	

ISOLANTS A BASE MINERALE

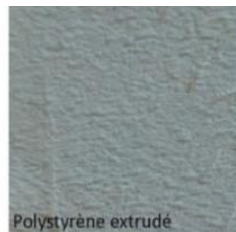
Panneau de laine de roche	100	0,09	9	0,035	1030	103,00	0,34	60,04	2	1	[0]
Panneau de laine de verre	50	0,09	4,5	0,035	1030	51,50	0,68	42,46	2	1	[0]
Panneau de verre cellulaire	110	0,10	11	0,040	1000	110,00	0,36	66,33	[∞]	[∞]	[0]
Panneau de silicate de calcium	270	0,18	48,6	0,070	1000	270,00	0,26	137,48	3	1	1,2

ISOLANTS A BASE SYNTHETIQUE

Panneau de polystyrène expansé (EPS)	25	0,09	2,25	0,035	1450	36,25	0,97	35,62	100	40	[0]
Panneau de polystyrène extrudé (XPS)	38	0,08	3,04	0,032	1450	55,10	0,58	41,99	200	80	[0]
Panneau de polyuréthane	30	0,06	1,8	0,023	1400	42,00	0,55	31,08	100	30	[0]

ISOLANTS A BASE DE FIBRES NATURELLES

Cellulose en vrac	40	0,11	4,4	0,041	2150	86,00	0,48	59,38	2	1	0,3
Matelas souple de cellulose	50	0,10	5	0,040	2150	107,50	0,37	65,57	2	1	0,3
Matelas souple de fibres de bois	75	0,10	7,5	0,038	2100	157,50	0,24	77,36	5	3	
Panneau rigide de fibres de bois	160	0,10	16	0,040	2100	336,00	0,12	115,93	5	3	0,007
Panneau de liège	120	0,10	12	0,040	1600	192,00	0,21	87,64	30	5	[0]
Panneau semi-rigide de fibres de chanvre	30	0,10	3	0,040	1600	48,00	0,83	43,82	2	1	
Mélange chaux-chanvre	440	0,28	123,2	0,110	1560	686,40	0,16	274,78	5	3	0,07

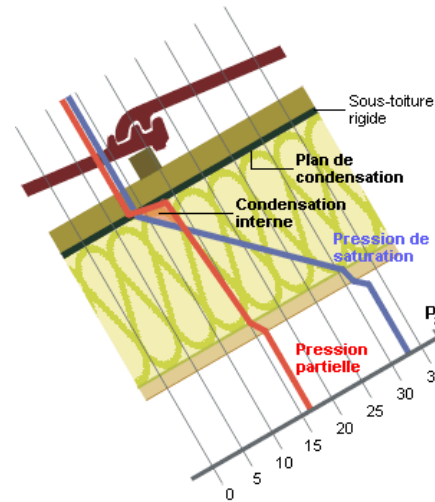
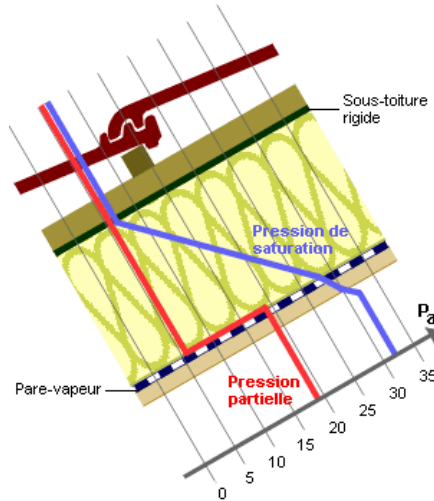
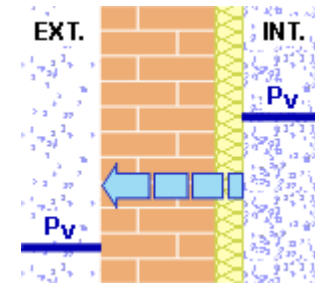


Source : architecture et climat



Pare-vapeur ? Sous-toiture ?

- ▶ $P_{\text{vap.int}} > P_{\text{vap.ext}}$ → migration de vapeur de l'int. vers l'ext.
- ▶ Comportement simple





Source : <https://conseils-thermiques.org/contenu/laine-de-bois.php>





Points d'attention en rénovation?





Points d'attention en rénovation?

- ▶ EXEMPLE – situation existante



Sources : ecorce



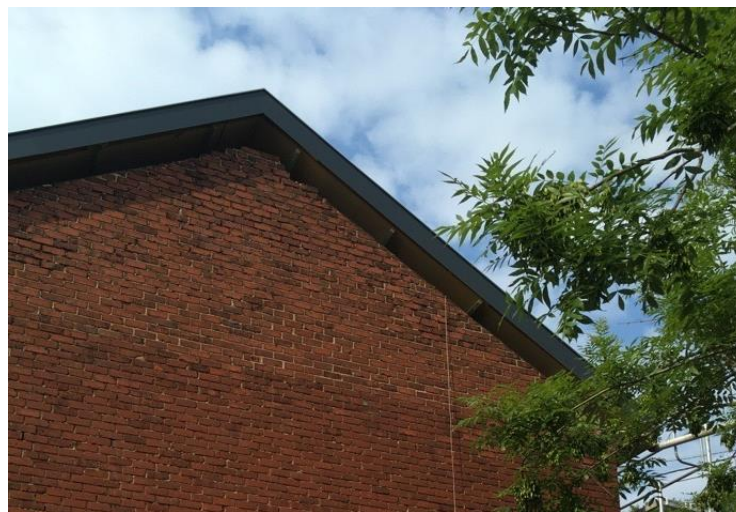


Points d'attention en rénovation?

- EXEMPLE – nœuds constructifs



Source : écorce



Source : écorce





Points d'attention en rénovation?

- ▶ EXEMPLE – nœuds constructifs



Source : Buildwise





Points d'attention en rénovation?

- ▶ EXEMPLE – nœuds constructifs



Source : écorce





Points d'attention en rénovation?

- EXEMPLE – étanchéité à l'air



Source : ISOVER



Source : Doerken.com



Source : Livios





Points d'attention en rénovation?

- ▶ EXEMPLE – étanchéité à l'air



Sources : ecorce





Points d'attention en rénovation?

- ▶ EXEMPLE – Etanchéité à l'eau



Source. : futura Sciences et Batirama





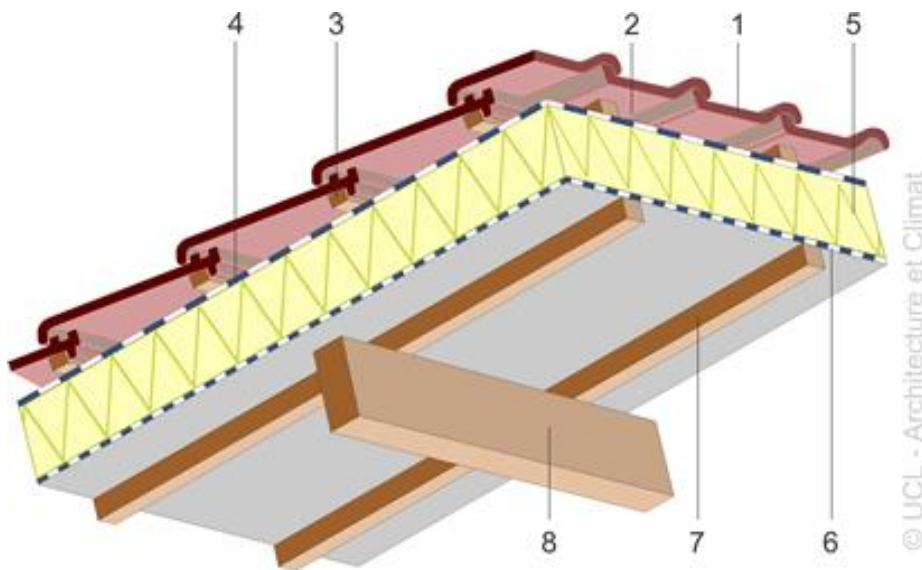
Points d'attention en rénovation?

- ▶ EXEMPLE – Etanchéité à l'eau



Source : ecorce





Etanchéité à l'eau

Isolation

- Performance de la paroi
- Combinaison d'isolants

Etanchéité à l'air

- Jonctions en pied de toiture et mur de refend

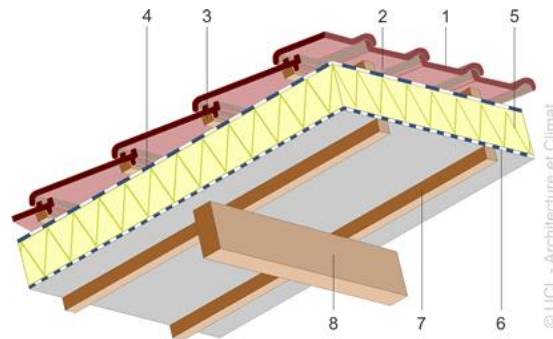
Diffusion de vapeur d'eau

- ATG fabricant



Quizz **wooclap**

- ▶ Quelle est l'exigence PEB de U max pour la toiture?
- ▶ A quelle épaisseur d'isolation cela correspond-il?



Toiture sarking en PUR

$\lambda_{\text{PUR}} = 0,024 \text{ W/mK}$





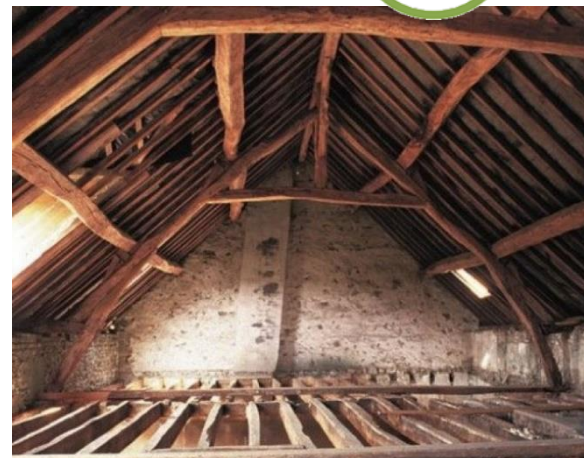
Points d'attention en rénovation?





Points d'attention en rénovation?

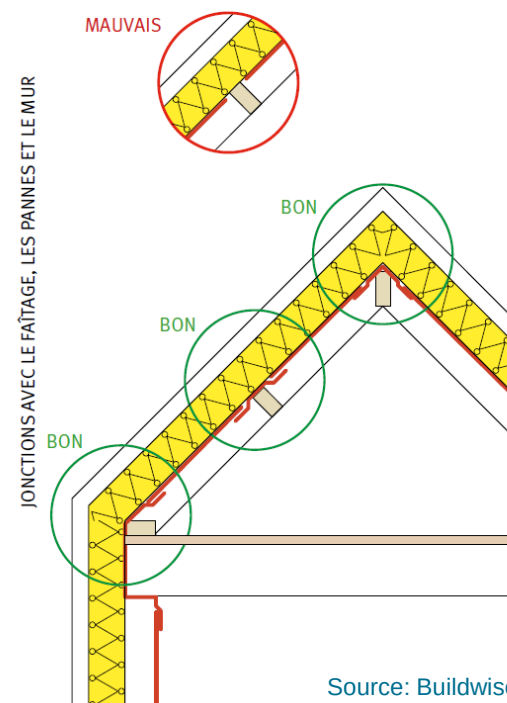
- Conserver une charpente apparente



Source: ecorce

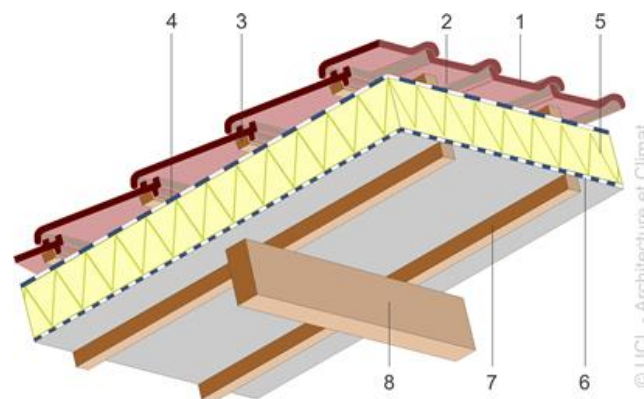
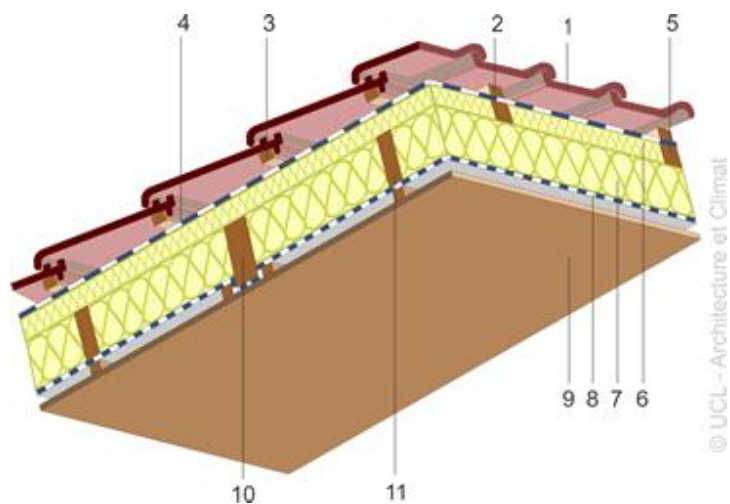
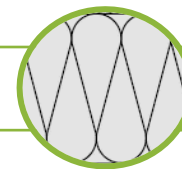


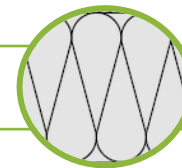
Source: Buildwise



Source: Buildwise

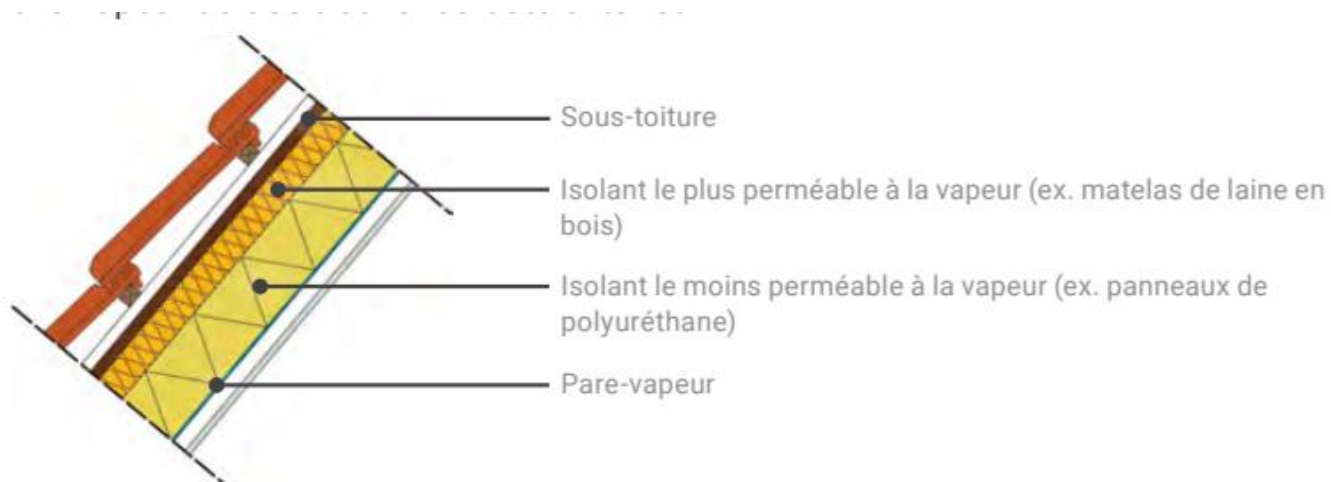






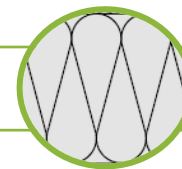
Combinaisons d'isolants

- Isolants ouverts/fermés à la DVE



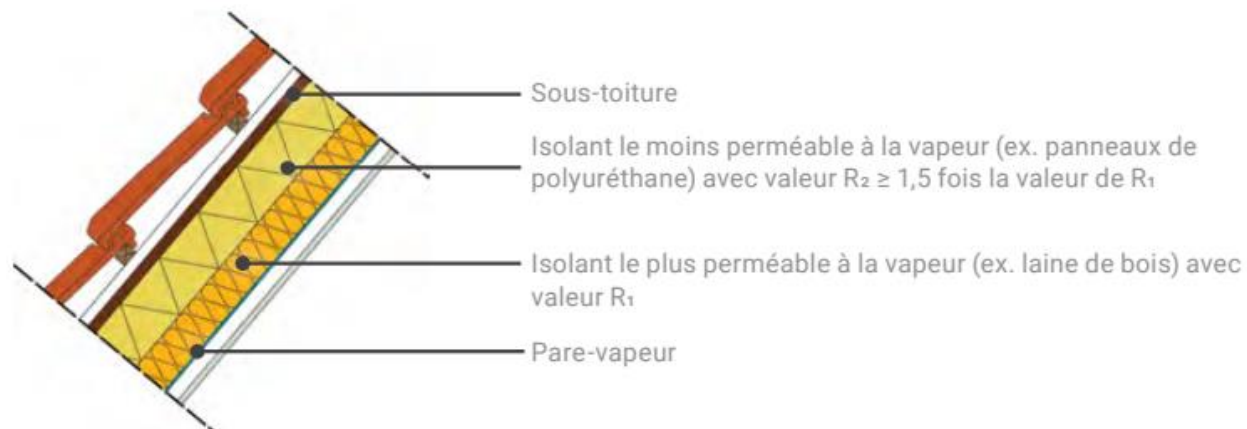
Source: Homegrade





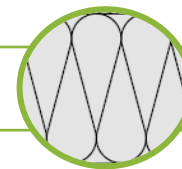
Combinaisons d'isolants

- Isolants ouverts/fermés à la DVE



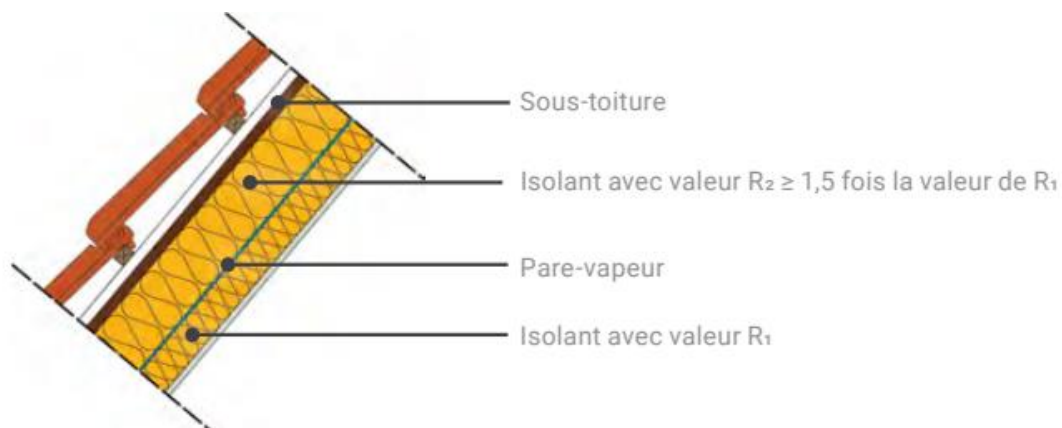
Source: Homegrade





En rénovation

- Augmenter l'épaisseur d'isolation



Source: Homegrade



Source: Matgreen

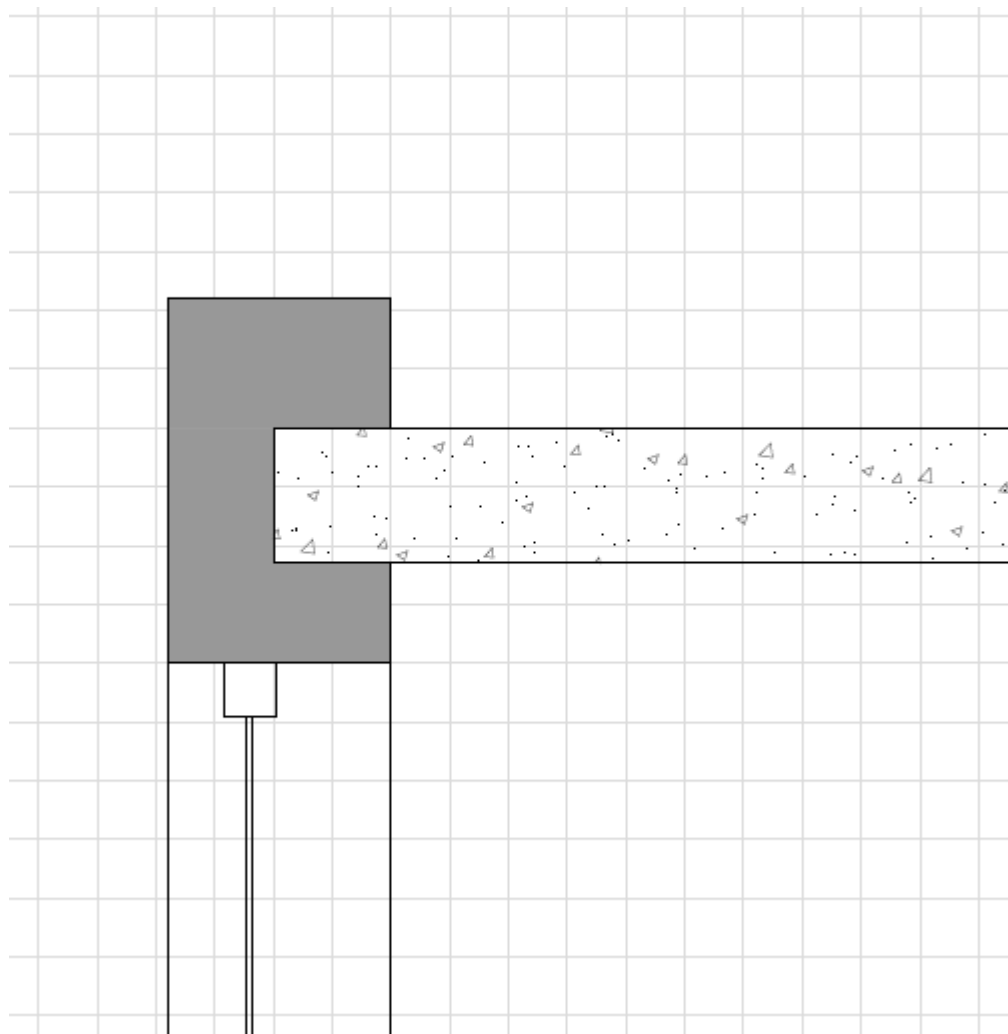


APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

APPROCHE PAR FAMILLE

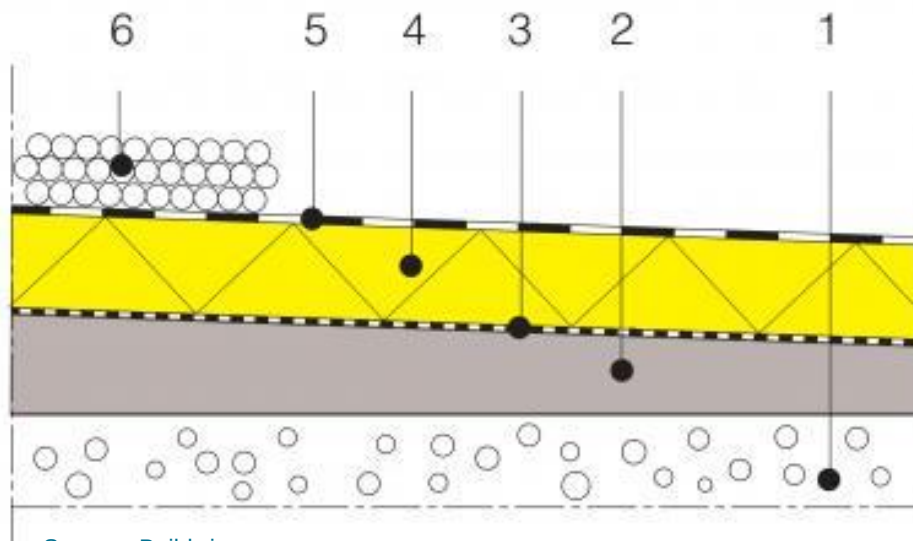
- ▶ Toiture inclinée
- ▶ **Toiture plate** à structure continue
- ▶ Toiture plate à structure discontinue
- ▶ Plancher des combles





Source : ecorce





Source : Buildwise

Etanchéité à l'eau

Isolation

Etanchéité à l'air

- Type/état du support

Diffusion de vapeur d'eau

- En rénovation, état de l'étanchéité à l'eau existante





Points d'attention en rénovation?





Points d'attention en rénovation?

- Poussée de l'acrotère des toitures plates isolées à l'aide de panneaux PU

- Causes:

Variations dimensionnelles des panneaux PU (fonction du type)
Manque de « rigidité » des acrotères en bloc de béton cellulaire ou en ossature.

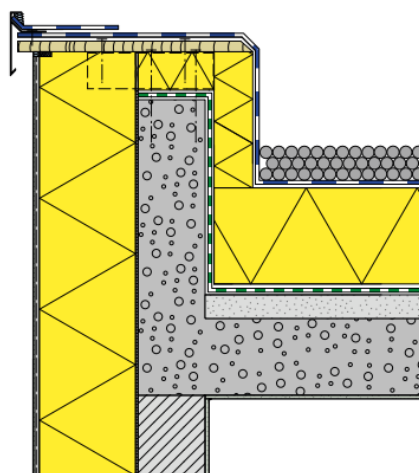
⇒ **Ancrer solidement l'acrotère**

⇒ **Et/ou bande souple de désolidarisation périphérique**

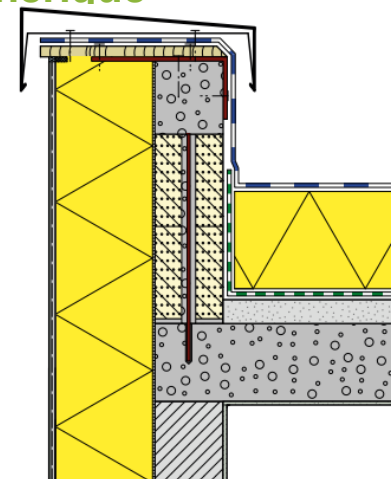


Pour en savoir plus:

CSTC Contact mars-avril 22



2 Acrotère en béton solidaire au support.



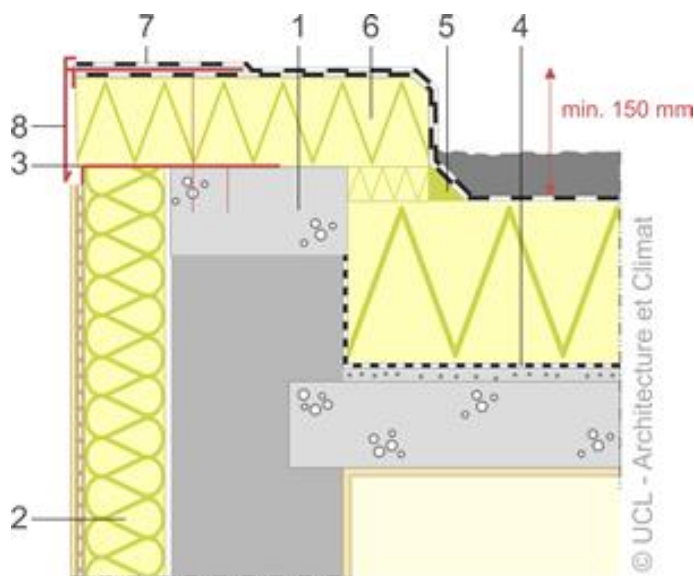
3 Acrotère en béton cellulaire ancré mécaniquement au support.



Points d'attention en rénovation?

- Acrotère existante conservée

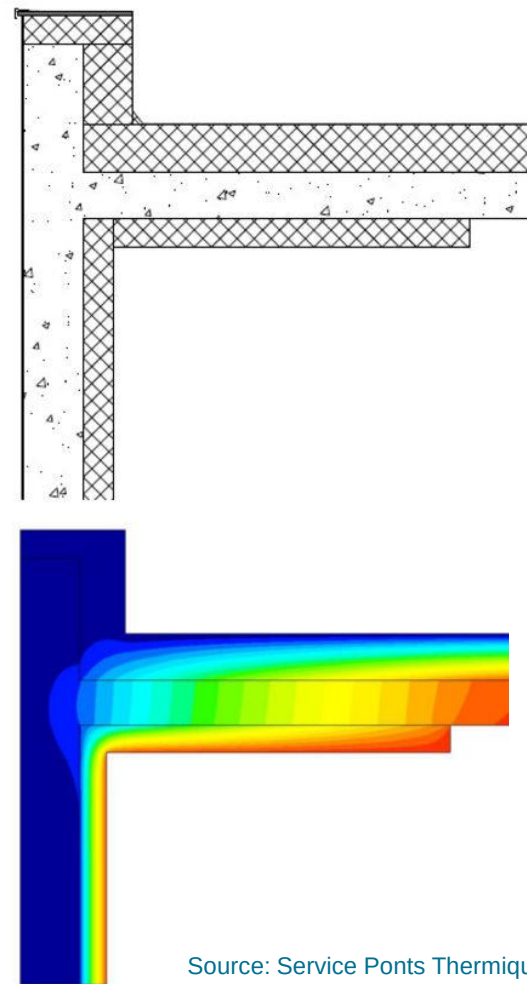
**Contourner l'acrotère
(+ éventuellement la rehausser)**



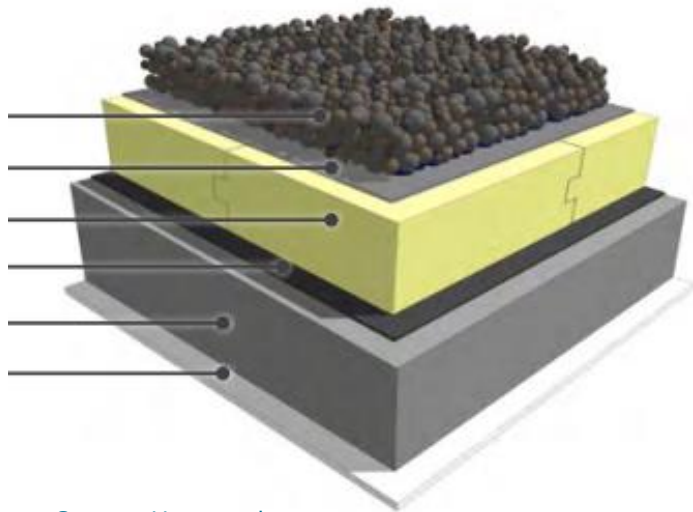
Source: Energie +



Chemin de moindre résistance $\geq 1m$



Source: Service Ponts Thermiques



Source : Homegrade

Etanchéité à l'eau

Isolation

Etanchéité à l'air

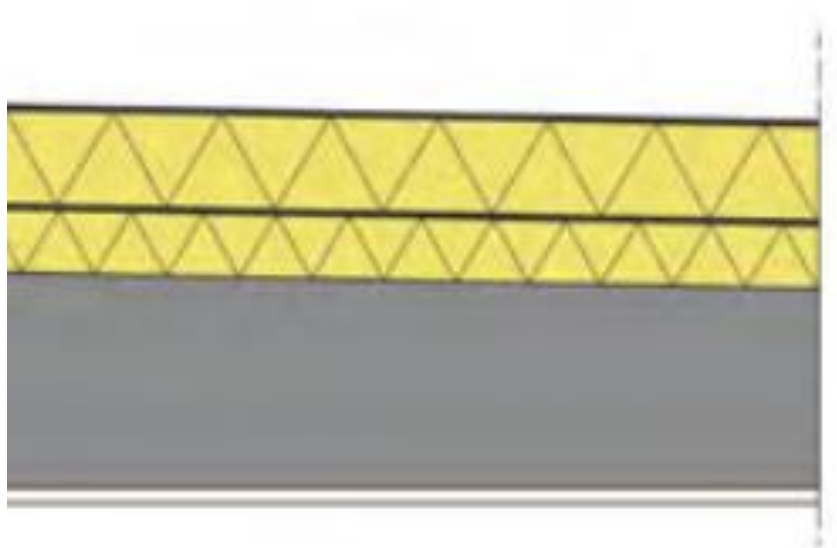
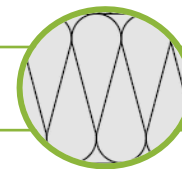
Diffusion de vapeur d'eau





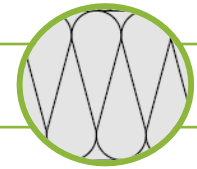
Points d'attention en rénovation?





Source: Homegrade





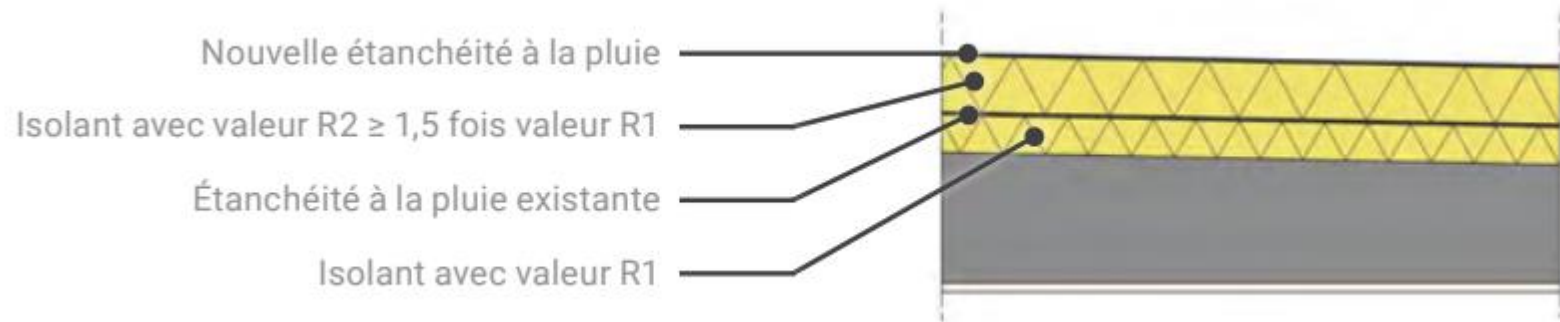
Toiture chaude existante – option 1

- ▶ Structure en béton
- ▶ Présence d'un pare-vapeur?

Oui: Pas de restrictions sur l'épaisseur du nouvel isolant

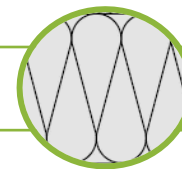
Non/ je ne sais pas: Epaisseur minimale à respecter

⇒ **Ajout d'une nouvelle couche d'isolation + nouvelle étanchéité**



Source: Homegrade





Toiture chaude existante – option 2

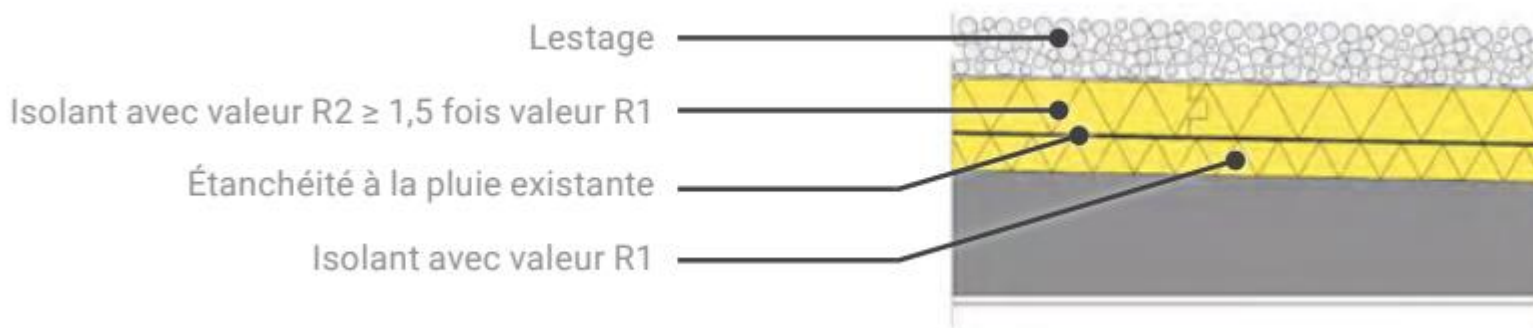
- ▶ Structure en béton
- ▶ Présence d'un pare-vapeur?

Oui: Pas de restrictions sur l'épaisseur du nouvel isolant

Non/ je ne sais pas: Epaisseur minimale à respecter

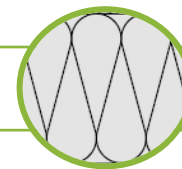
⇒ **Ajout d'une nouvelle couche d'isolation en toiture inversée**

⇒ **Toiture « duo » / « combinée »**



Source: Homegrade



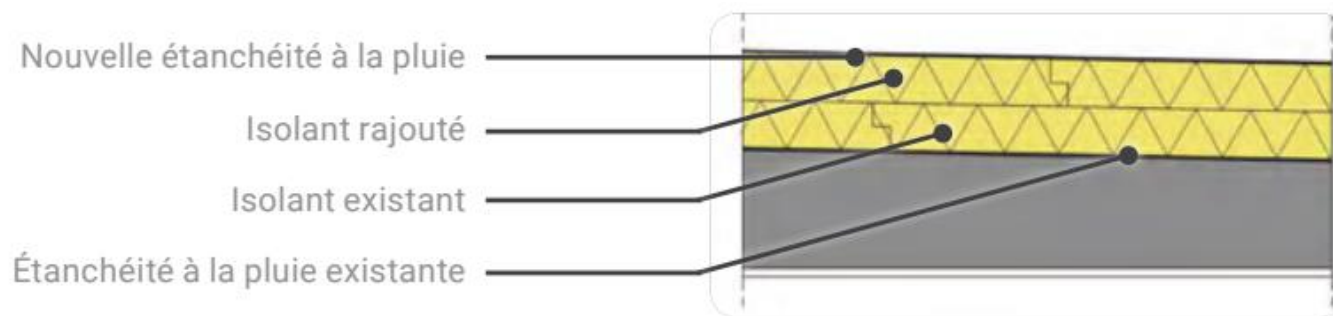


Toiture inversée existante

- Structure en béton

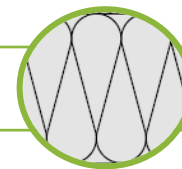
⇒ **Ajout d'une nouvelle couche d'isolation**

⇒ **Possibilité d'ajout d'une nouvelle étanchéité pour transformer en toiture chaude**



Source: Homegrade





Toiture à isolation sous le support

- Définition complète > voir NIT 280
- Extrait
 - l'isolation se trouve à la face inférieure du support de toiture
 - De ce fait, le pare-vapeur doit être appliqué du côté intérieur de la toiture, sous l'isolation thermique.

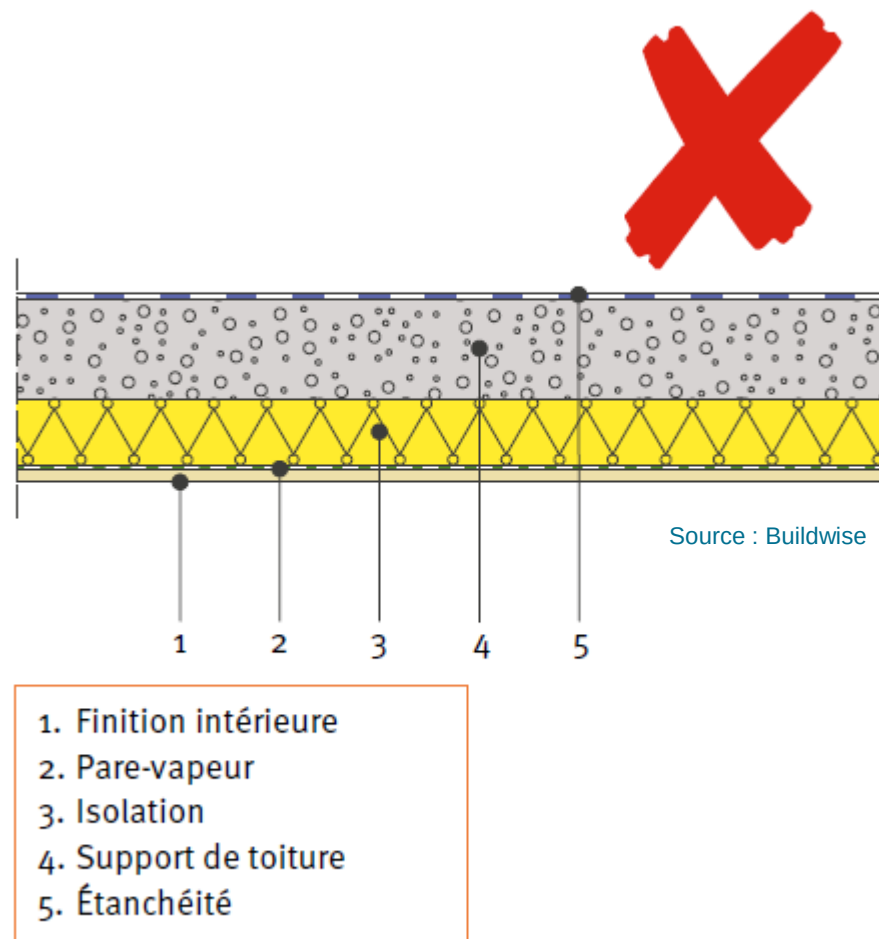
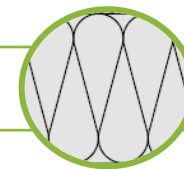
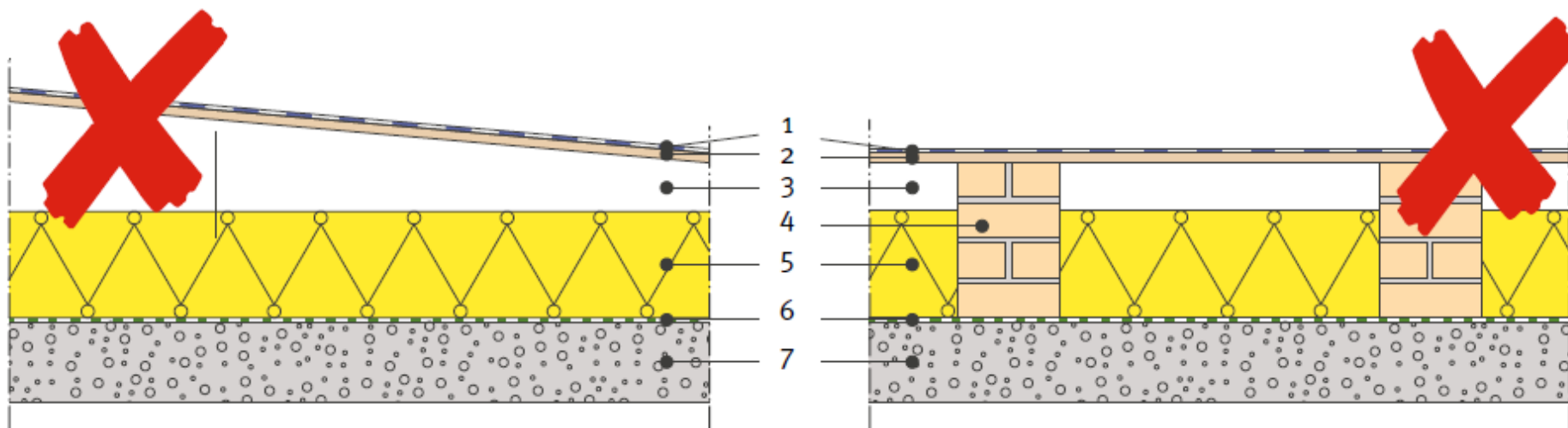


Fig. 24 Isolation sous le support de toiture (à déconseiller).





Toiture froide lourde



Source : Buildwise

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| 1. Étanchéité | 5. Isolation |
| 2. Support de l'étanchéité | 6. Pare-vapeur éventuel |
| 3. Vide ventilé | 7. Support de toiture |
| 4. Maçonnerie | |

Fig. 29 Toiture froide lourde (techniquement inacceptable).

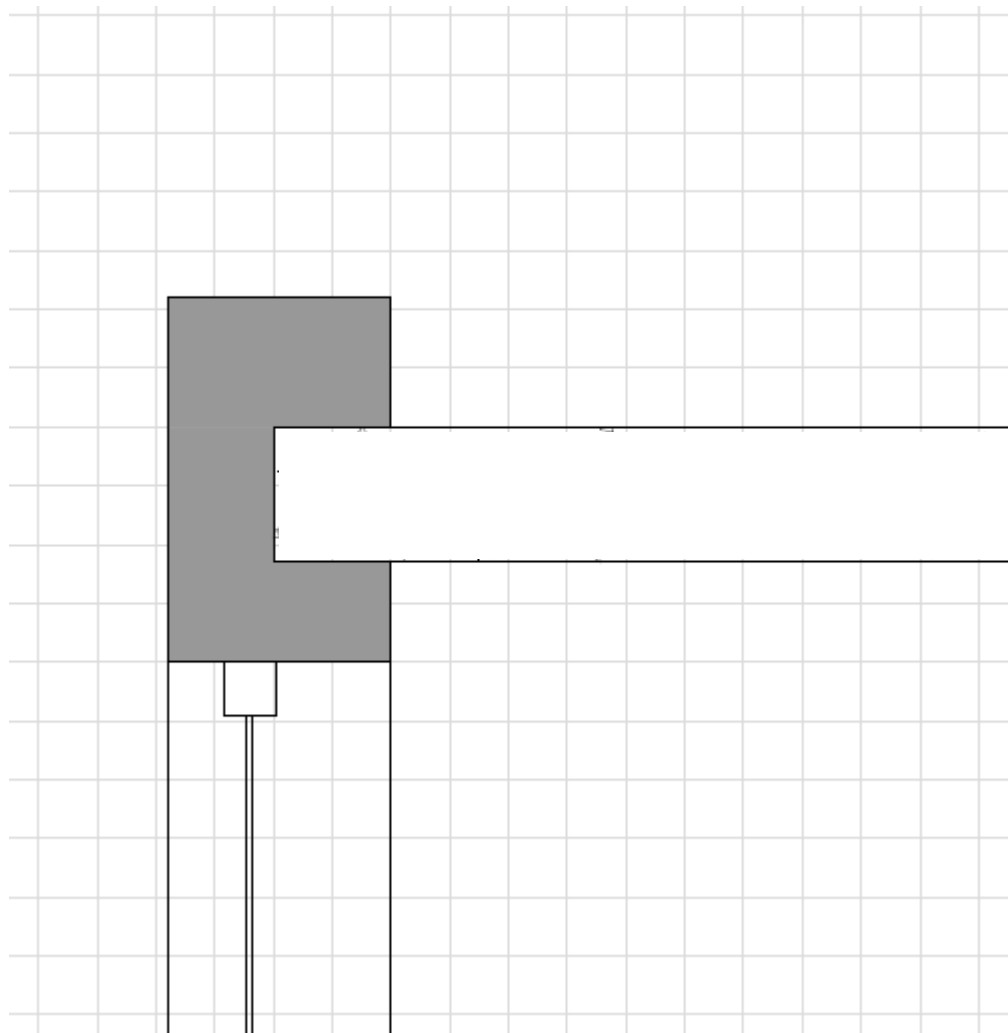


APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

APPROCHE PAR FAMILLE

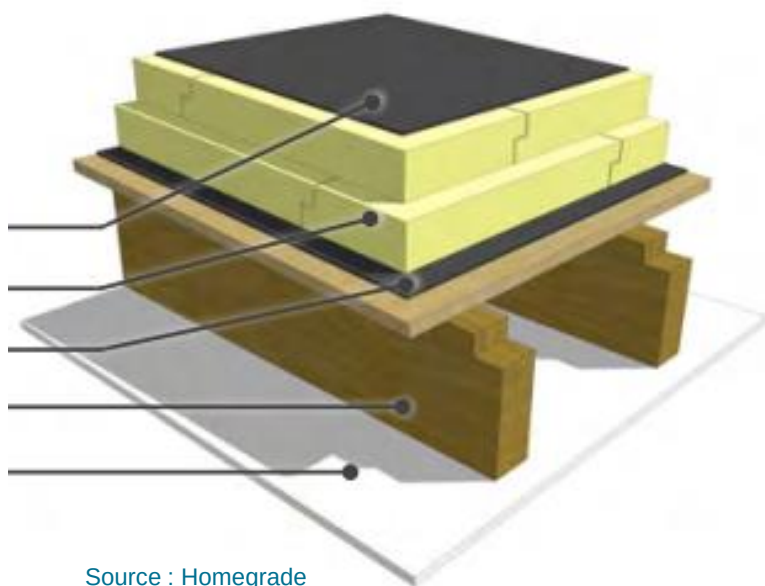
- ▶ Toiture inclinée
- ▶ Toiture plate à structure continue
- ▶ **Toiture plate à structure discontinue**
- ▶ Plancher des combles





Source : ecorce





Source : Homegrade

Etanchéité à l'eau

Isolation

Etanchéité à l'air

- Type/état du support

Diffusion de vapeur d'eau

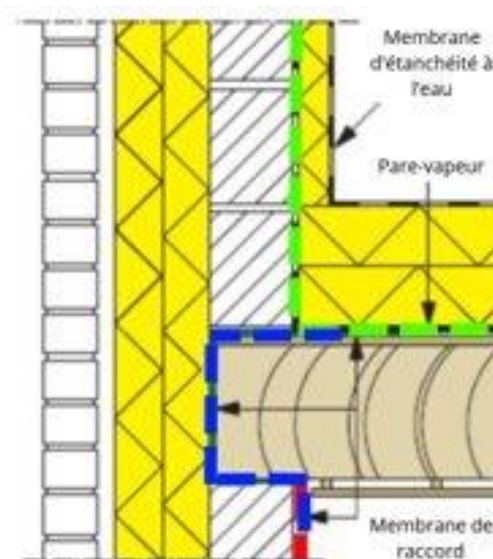
- En rénovation, état de l'étanchéité à l'eau existante





Points d'attention en rénovation?

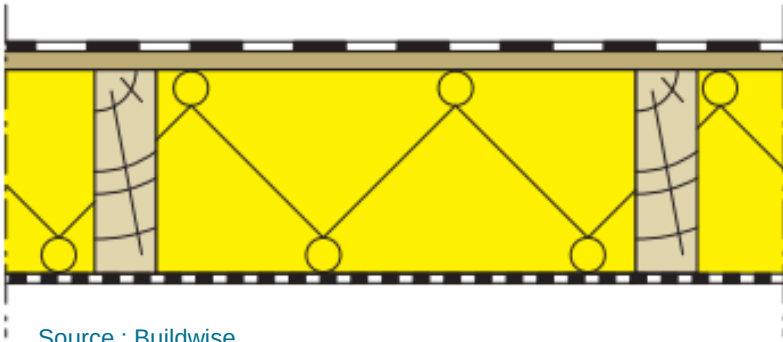
► EXEMPLE



Pose d'une membrane dans le cas de poutres appuyées sur la maçonnerie (les entretoises en bois séparant les poutres peuvent éventuellement être remplacées par une maçonnerie)

Source : Raccord mur/toiture plate (bois)
([Buildwise](#) – CSTC-Contact 2012/1 (n° 33))





Source : Buildwise

Etanchéité à l'eau

Isolation

Etanchéité à l'air

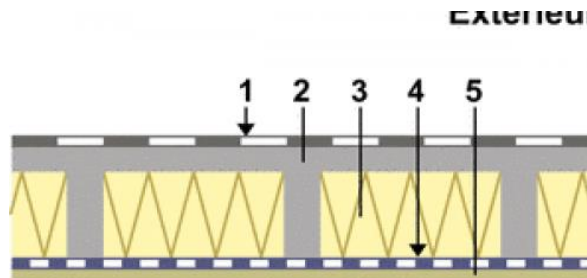
Diffusion de vapeur d'eau

- ▶ Environnements intérieur et extérieur
- ▶ Sécurité de conception



Diffusion vapeur d'eau

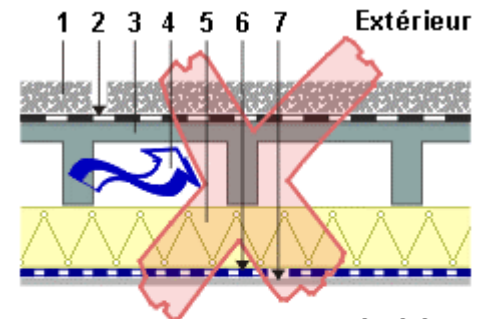
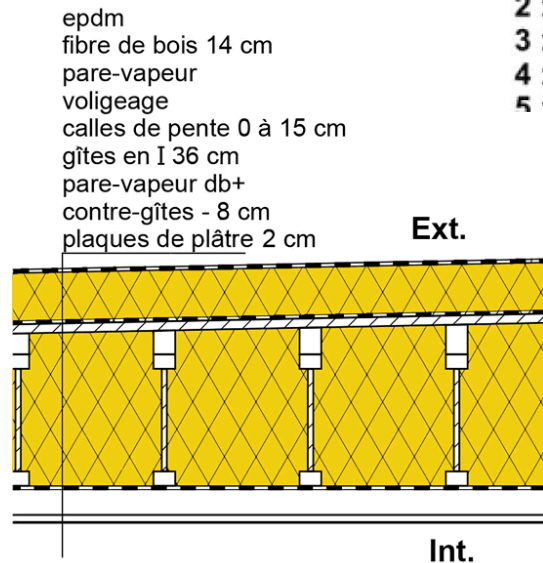
- ▶ $P_{\text{vap.int}} > P_{\text{vap.ext}} \rightarrow$ migration de vapeur de l'int. vers l'ext.
- ▶ Comportement simple



Source : Energie+

- 1 : membrane d'étanchéité
- 2 : support
- 3 : isolant
- 4 : pare-vapeur étanche à l'air
- 5 : plafond

Intérieur

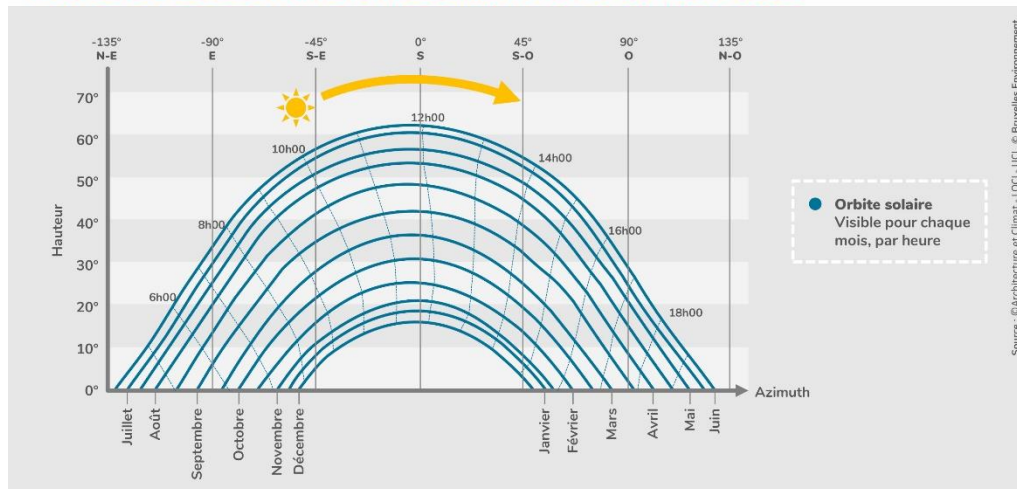


- 1 : lestage (éventuel)
- 2 : membrane d'étanchéité
- 3 : support
- 4 : lame d'air ventilée
- 5 : isolant
- 6 : pare-vapeur étanche à l'air
- 7 : plafond

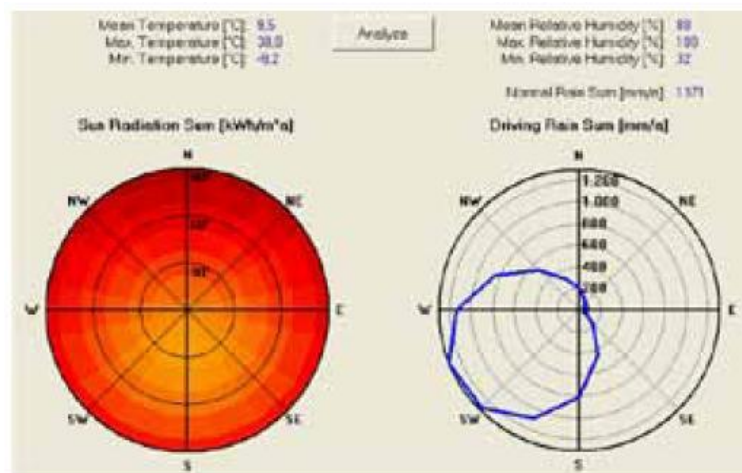
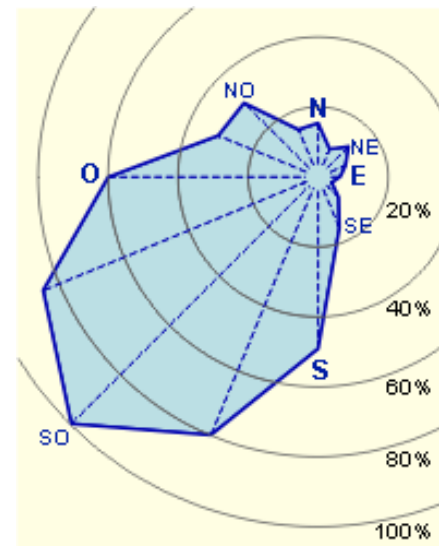
Intérieur



HAUTEUR DU SOLEIL EN FONCTION DE L'ORIENTATION ET DU MOIS À UCCLE



Source : Guide Batiment Durable



Analyse de l'environnement direct

- ▶ hauteur du bâtiment
- ▶ vis-à-vis (végétation, existant ou... futur !,...)
- ▶ Techniques en toiture



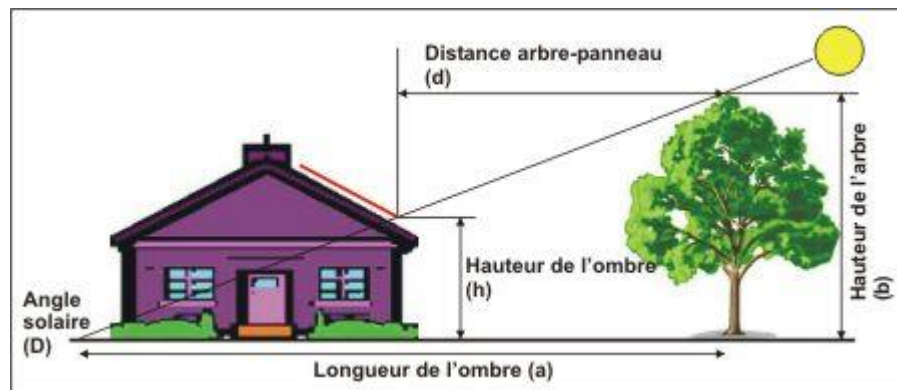
Source : Guide Batiment Durable



Source : <https://conseils-thermiques.org/contenu/laine-de-bois.php>



Source : SMA France



Source : eclecticsite.fr





Points d'attention en rénovation?



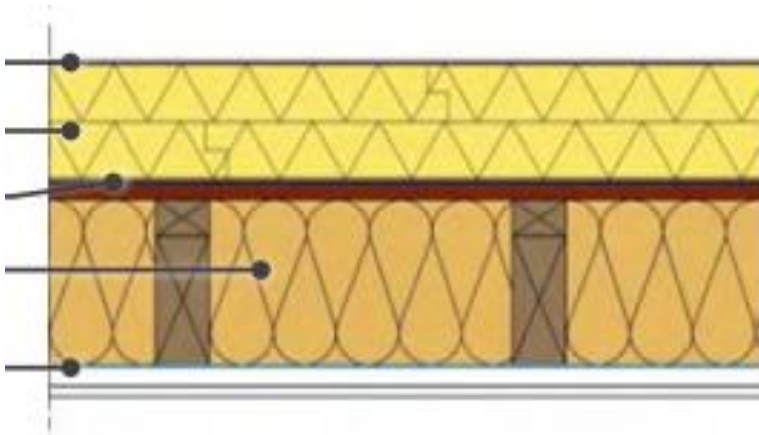
Etanchéité à l'eau

Isolation

- Combinaison d'isolants

Etanchéité à l'air

Diffusion de vapeur d'eau



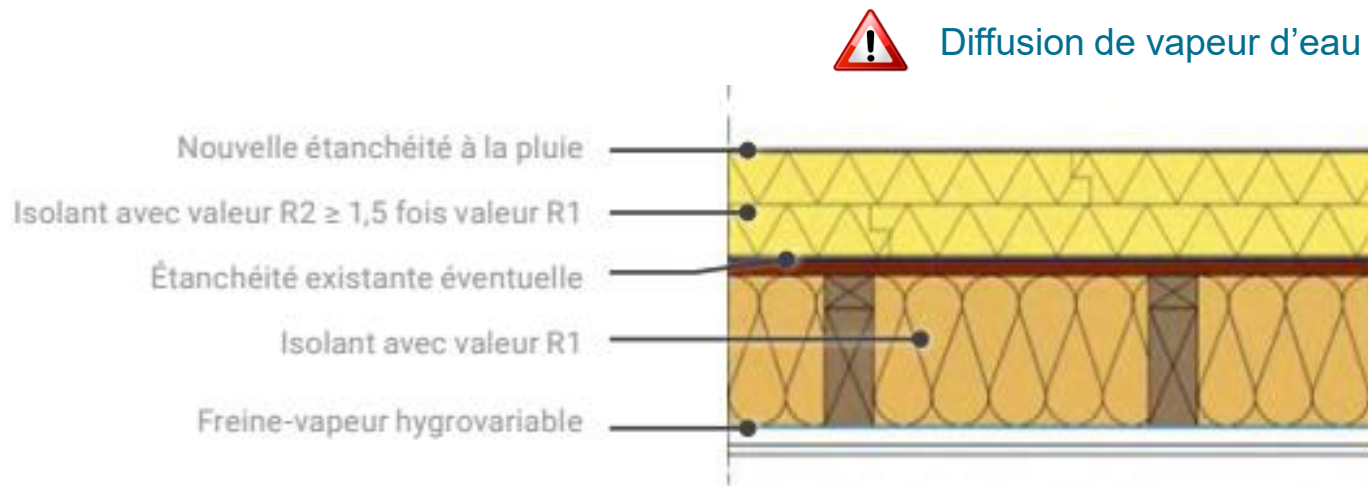
Isolation sur et dans la charpente

- Toiture mixte

- Compromis entre toiture chaude et compacte



- Condition sur la résistance thermique minimale de l'isolant supérieur



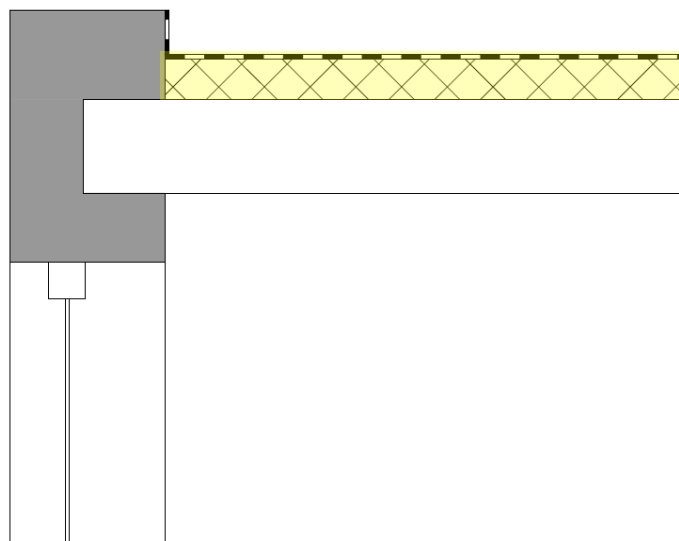
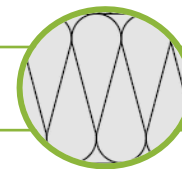
Source: Homegrade



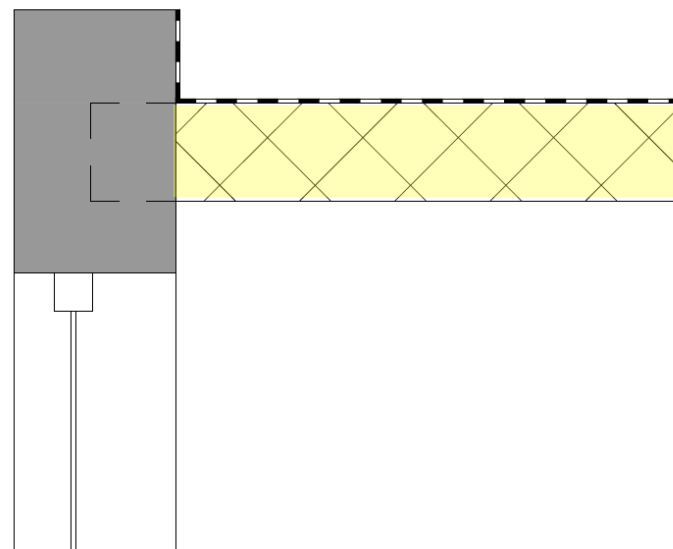


Points d'attention en rénovation?



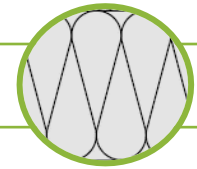


Source : ecorce



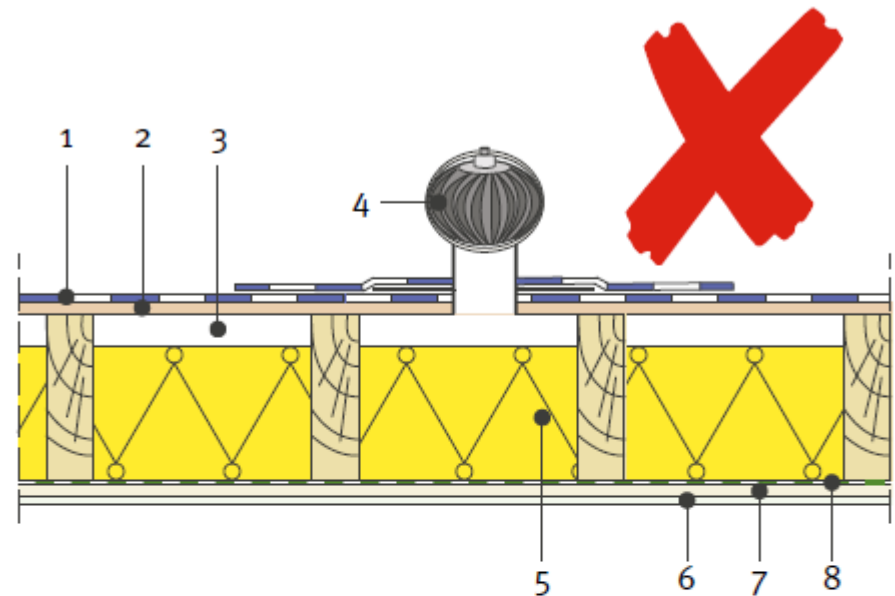
Source : ecorce





Toiture froide

- Définition complète > voir NIT 280
- Extrait
 - l'isolation se trouve sous le support de l'étanchéité
 - les deux couches sont séparées par un espace ventilé par de l'air extérieur



1. Étanchéité
2. Support de toiture
3. Lamelle d'air ventilée
4. Conduit de ventilation
5. Isolation
6. Finition intérieure
7. Lattage
8. Pare-vapeur éventuel

Fig. 27 Toiture froide (techniquement inacceptable).

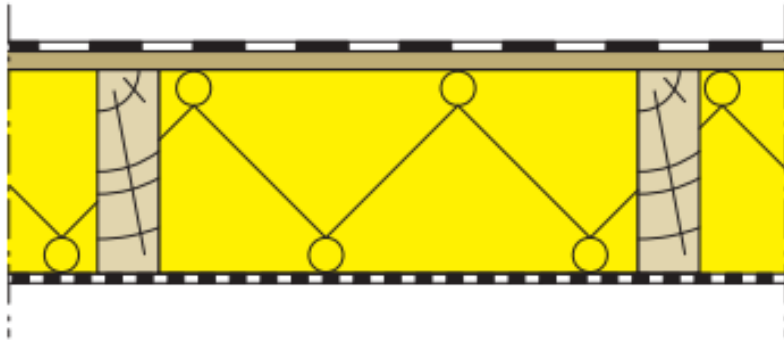


APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

APPROCHE PAR FAMILLE

- ▶ Toiture inclinée
- ▶ Toiture plate à structure continue
- ▶ Toiture plate à structure discontinue
- ▶ **Plancher des combles**





Etanchéité à l'eau

Isolation

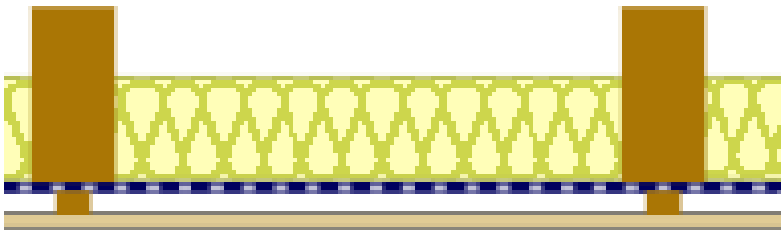
- Modes d'isolation

Etanchéité à l'air

- Techniques / traversées

Diffusion de vapeur d'eau

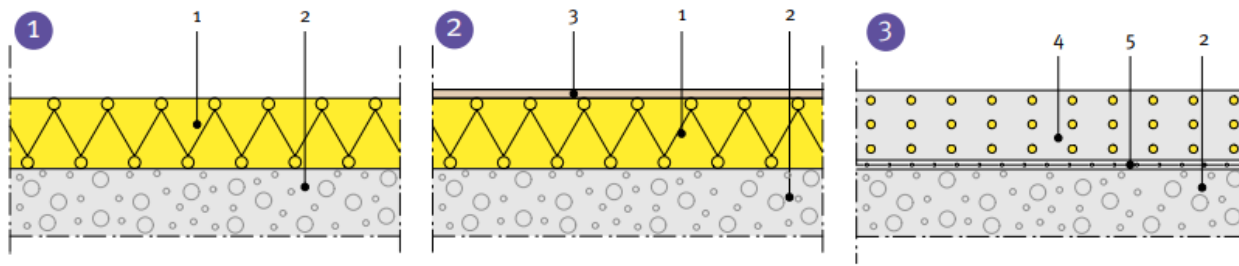
- Ventilation des combles ?



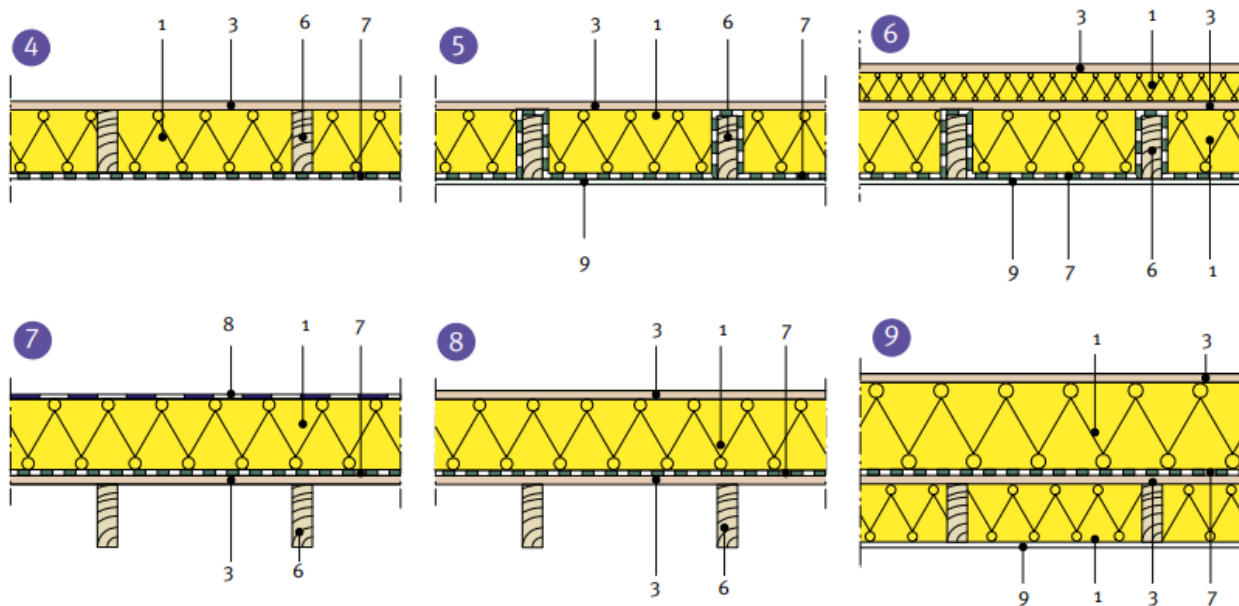
Modes d'isolation

- Matelas d'isolation souple, isolation insufflée, panneaux rigides...

PLANCHERS MASSIFS EN BÉTON



PLANCHERS LÉGERS EN BOIS



1. Isolation
2. Dalle de béton
3. Panneaux en bois
4. Chape isolante
5. Armature
6. Solives
7. Membrane d'étanchéité à l'air et à la vapeur
8. Membrane perméable à la vapeur destinée à empêcher les flux d'air au-dessus et au travers de l'isolation
9. Plafond du local inférieur (postisolation)



<https://energieplus-lesite.be/concevoir/isolation2/concevoir-isolation-plancher-combles/choisir-le-pare-vapeur-cas-d-un-comble-perdu/>

Sous-toiture :	Classe de climat intérieur	Tuiles en terre cuite, ardoises synthétiques, tôles ondulées.			Ardoises naturelles, tuiles en béton ou en métal			Bardeaux bitumés sur voliges		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Aucune	I	–	–	–	–	–	–			
	II, III	–	–	E1	–	E1	E1			
Capillaire	I	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	II, III	–	–	E1	–	–	E1	–	E2	E2
Non capillaire en bandes	I	–	–	–	–	–	–			
	II, III	–	E1	E1	–	E1	E1			
Non capillaire continue	I	–	–	–	–	–	–			
	II, III	–	E2	E2	–	E2	E2			
	IV	A examiner au cas par cas.								





Points d'attention en rénovation?





Points d'attention en rénovation?

► EXEMPLE



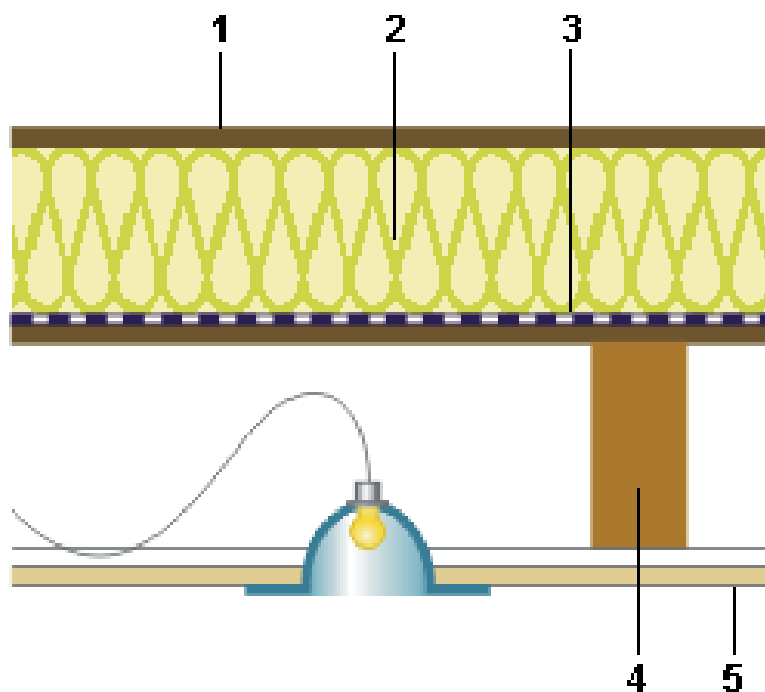
Source : Homegrade





Points d'attention en rénovation?

► EXEMPLE





Points d'attention en rénovation?

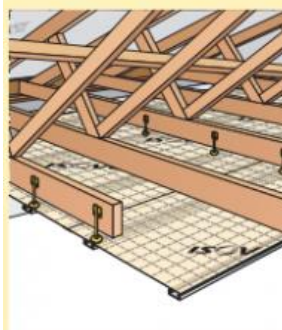
► EXEMPLE



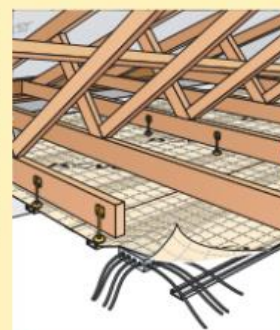
Source : thermoopoint.com



Passages des réseaux électriques



1 - Le système d'étanchéité à l'air et l'ossature métallique sont mis en place.



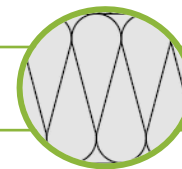
2 - Passer le boîtier et les gaines électriques entre les fourrures et la membrane. La membrane est souple et peut être déformée localement.



3 - Visser les plaques de plâtre dans l'ossature. Prévoir une trappe de visite pour accéder au réseau électrique par le dessous.

Source/Bron : forumconstruire.com



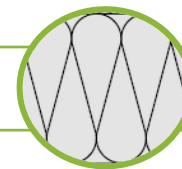


Example



Source : ecorce





Exemple



Sources : ecorce



APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

APPROCHE PAR FAMILLE

CONCLUSION





- ▶ Dans un bâtiment non isolé, la toiture représente une part importante des déperditions ($\approx$ 25 à 30% des pertes totales)

⇒ **Agir sur la toiture = priorité haute**

- ▶ Le futur complexe de toiture doit être pensé dans sa globalité
 - Isolation
 - Etanchéité à l'eau et à l'air
 - Diffusion de vapeur d'eau
- ▶ En rénovation, la prise en considération de la composition existante est déterminante (nature de l'étanchéité à l'eau, présence d'un isolant, ...)
- ▶ La rénovation est idéalement à inscrire dans une réflexion globale :
 - Nœuds constructifs
 - Phasage
 - Autres considérations?

⇒ **Voir Journée 2!**



Julie RENAUX & Pierre WILLEM

Ingénieurs projet

écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

