FORMATION BATIMENT DURABLE

ENVELOPPE : RÉNOVATION DE LA TOITURE

AUTOMNE 2023

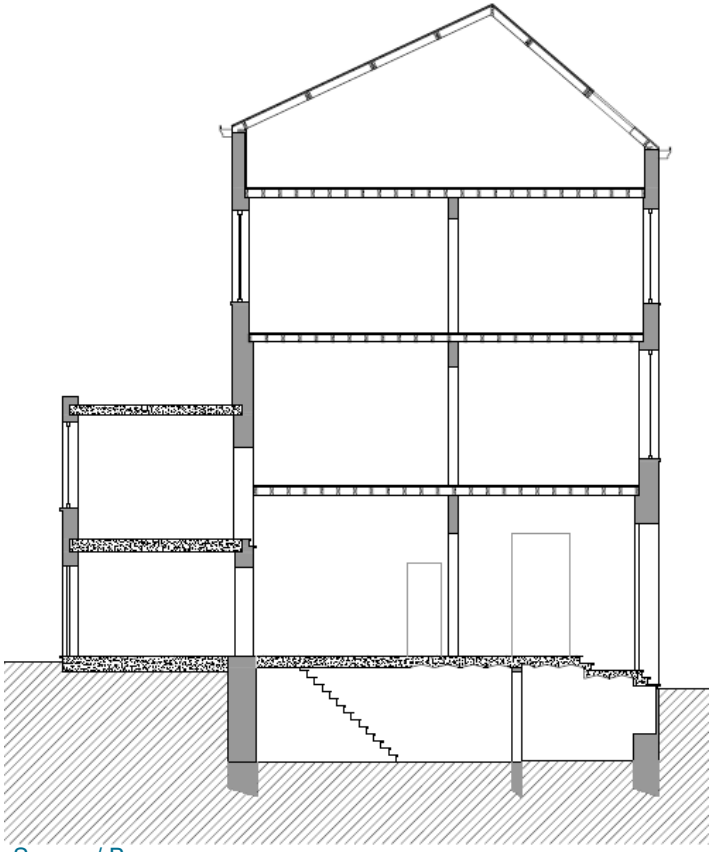
Vocabulaire de la toiture

Camille BAIVIER et Pierre WILLEM

écorce INGÉNIERIE & CONSULTANCE

bruxelles environnement leefmilieu brussel .brussels

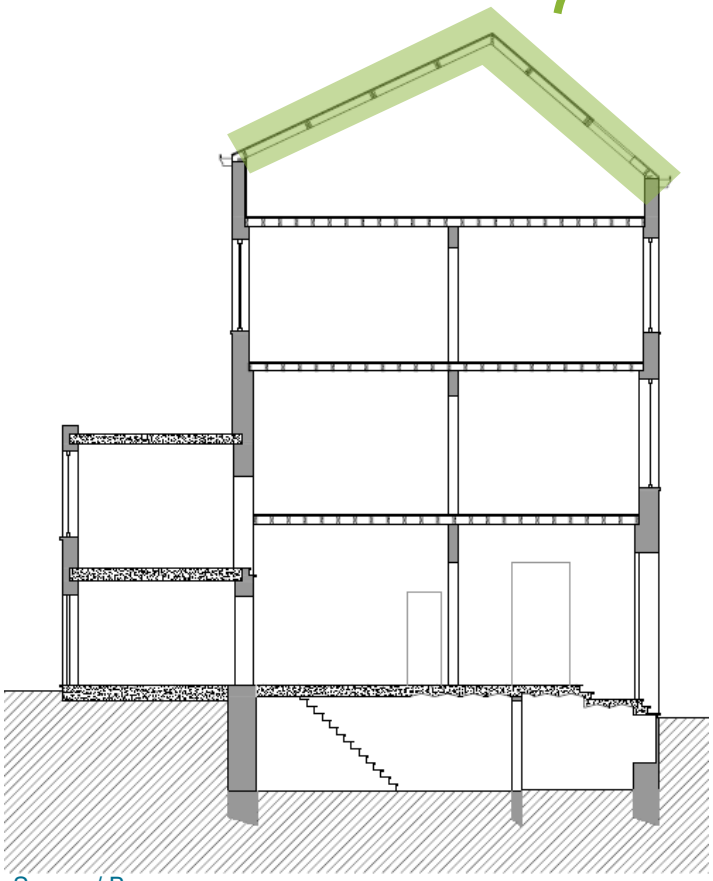
Les grandes familles de toiture



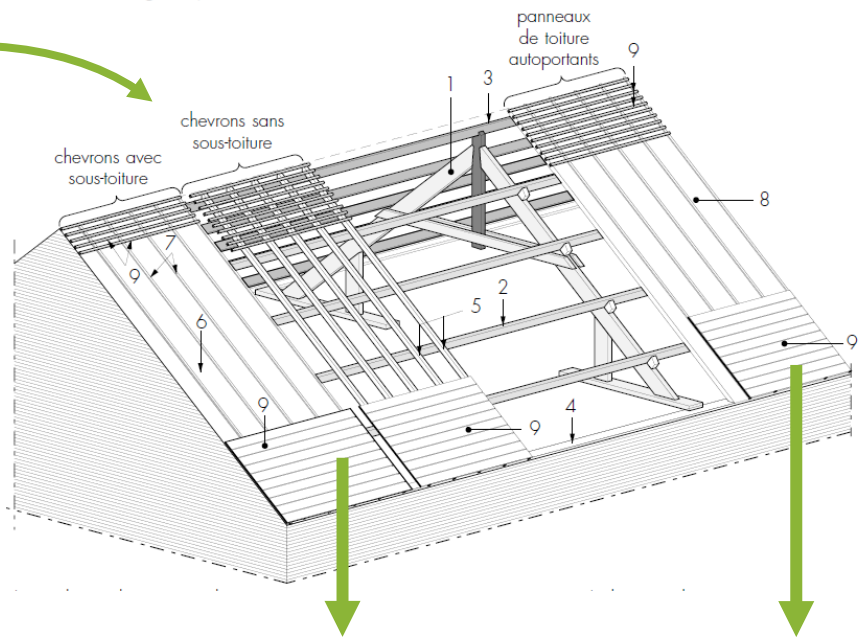
Source / Bron : ecorce

wooclap

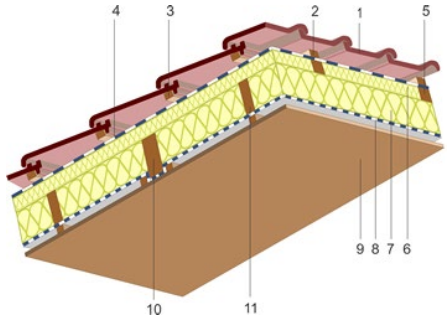
Toiture inclinée



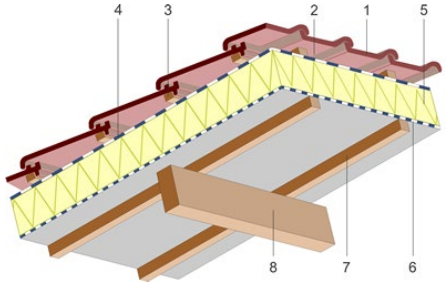
Source / Bron : ecorce



Toiture isolée dans la charpente



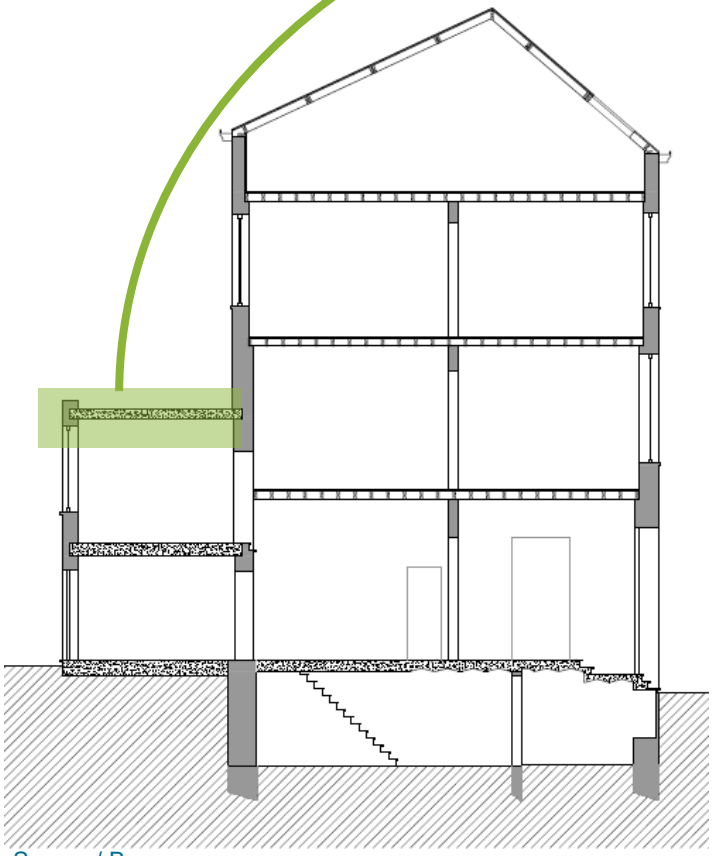
Toiture sarking



Sources / Bronnen : UCL – Architecture et climat

VOCABULAIRE

Toiture plate



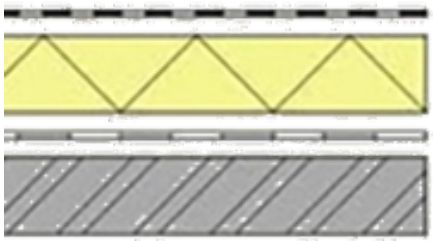
Source / Bron : ecorce

Structure continue

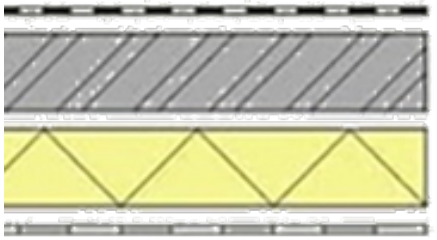
- Béton et dérivé (Dalle, Hourdis, Poutrain entrevous,…)
- Métal : bac acier (isolé ou non)
- Bois : CLT

Position de l'isolant ?

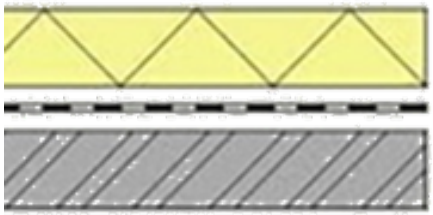
Toiture chaude



Toiture froide



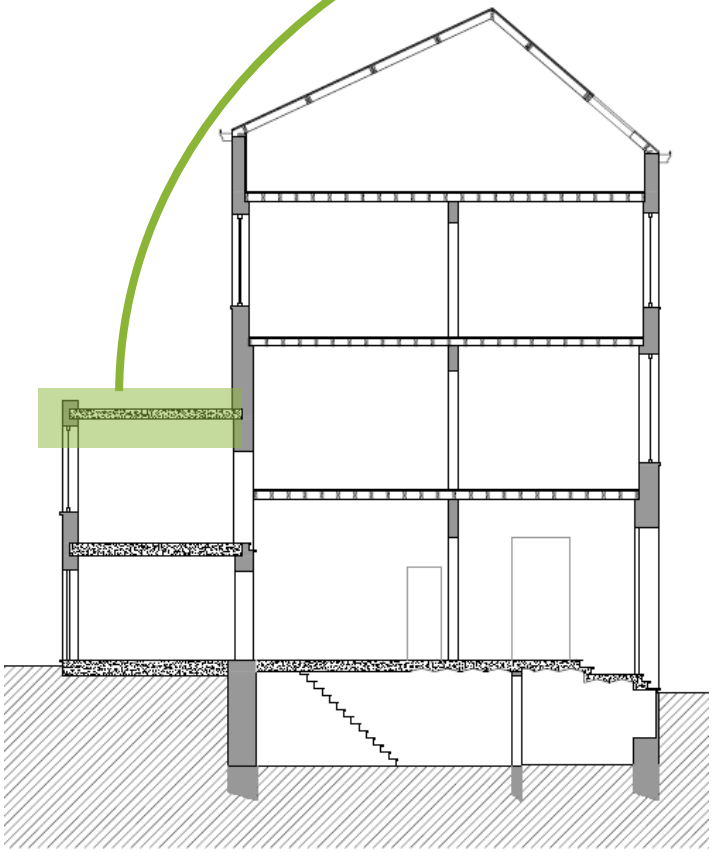
Toiture inversée



Sources / Bronnen : IKO.com

VOCABULAIRE

Toiture plate



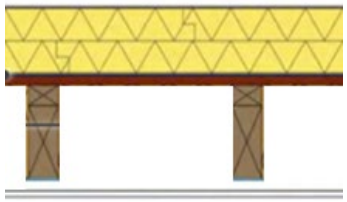
Source / Bron : ecorce

Structure discontinue

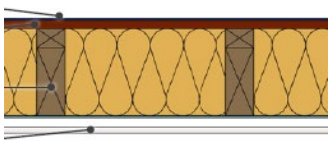
- Métal ou bois (majoritairement)
  - traditionnel (pannes - chevrons)
  - TJI (systèmes plus complexes : âme en acier,…)
  - caissons auto-portants

Position de l'isolant ?

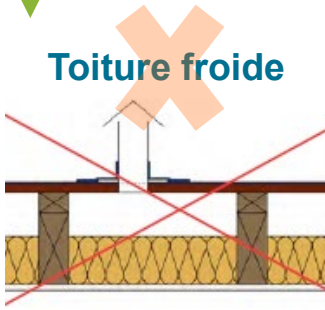
Toiture chaude



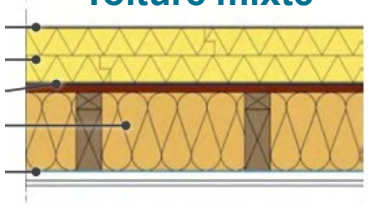
Toiture compacte



Toiture froide

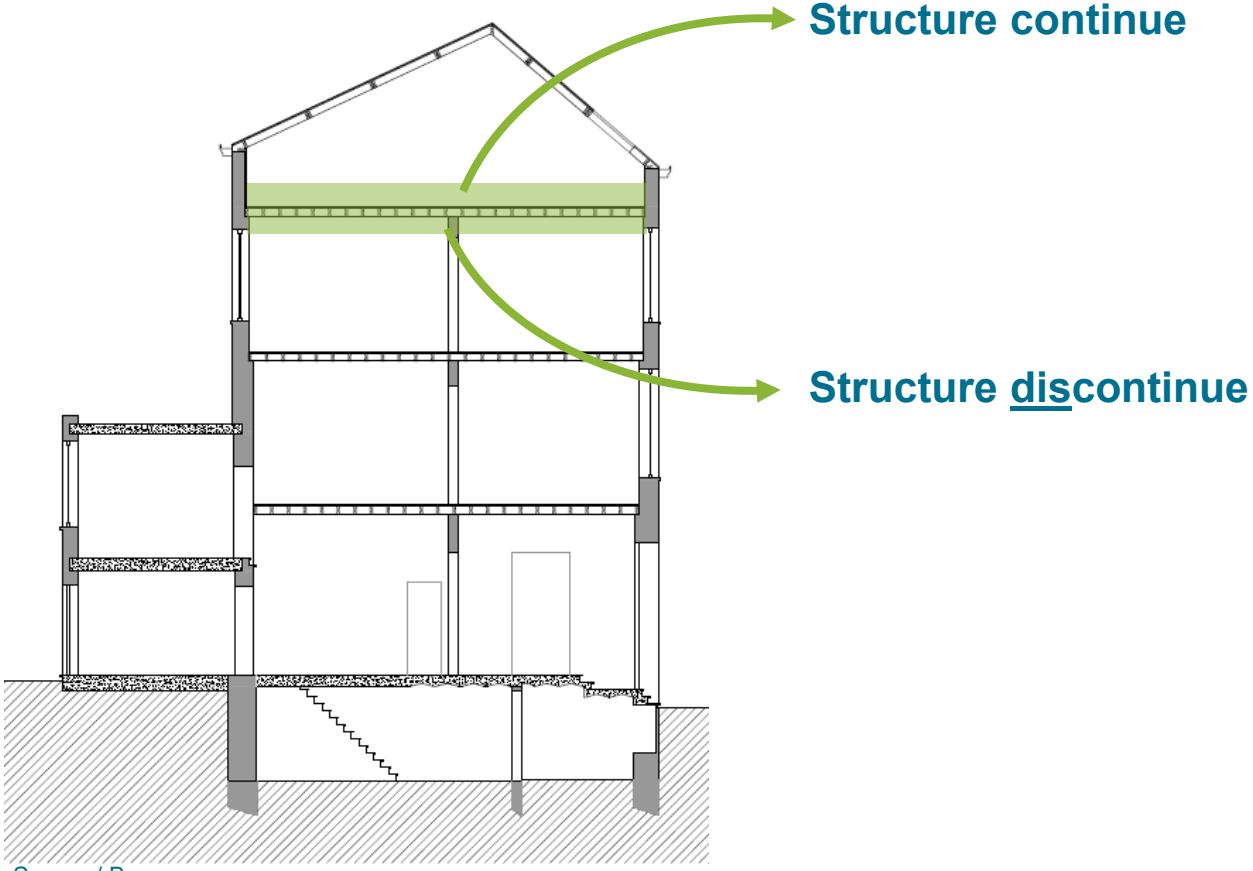


Toiture mixte



Sources / Bronnen : Homegrade

Plancher des combles



Source / Bron : ecorce

FORMATION BATIMENT DURABLE

ENVELOPPE : RÉNOVATION DE LA TOITURE

AUTOMNE 2023

Se protéger de la pluie et du froid

Camille BAIVIER & Pierre WILLEM

écorce INGÉNIERIE & CONSULTANCE

bruxelles environnement leefmilieu brussel .brussels

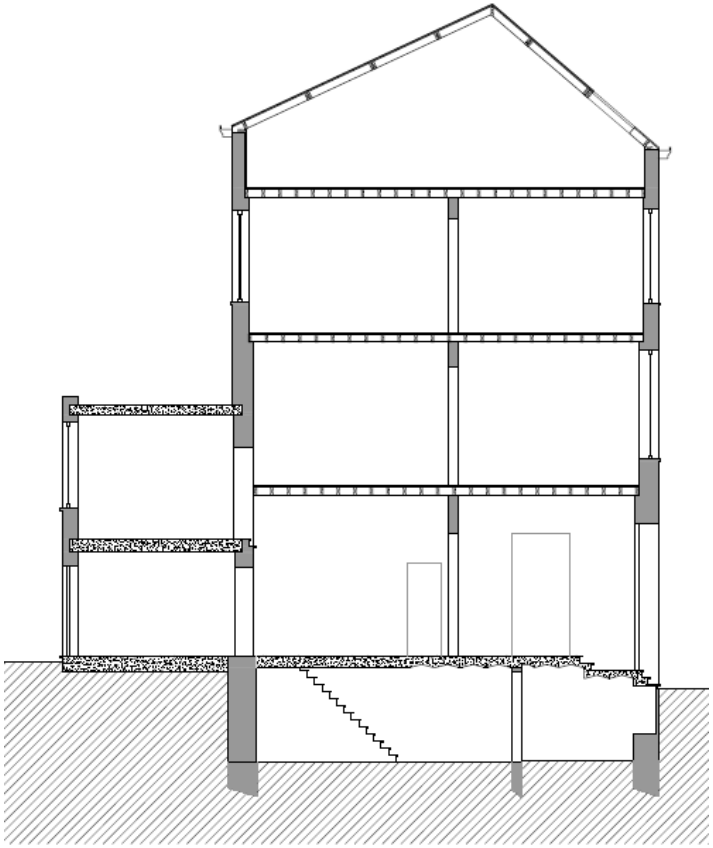
TABLE DES MATIÈRES

APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

APPROCHE PAR FAMILLE

CONCLUSION

ETAPE 1 - Définir le volume protégé



Source / Bron : 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

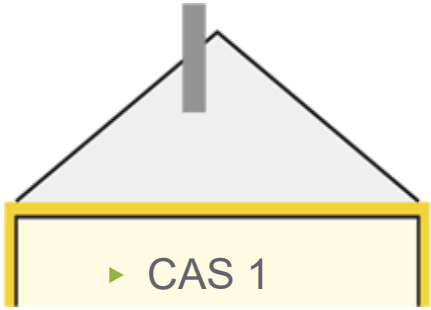
- Le volume protégé doit comprendre au moins tous les espaces chauffés (et/ou refroidis) (en continu ou par intermittence) qui font partie du bâtiment considéré …

⇨ **A quoi ça sert de le définir ?**

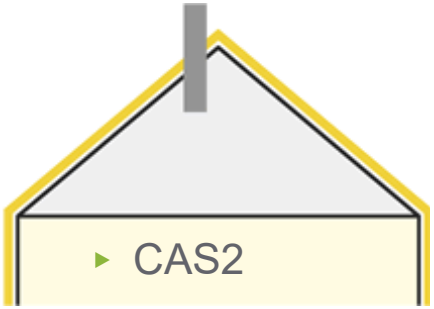
ETAPE 1 - Définir le volume protégé

- Exemple

Source/Bron : www.fond-ecran-image.com



OU

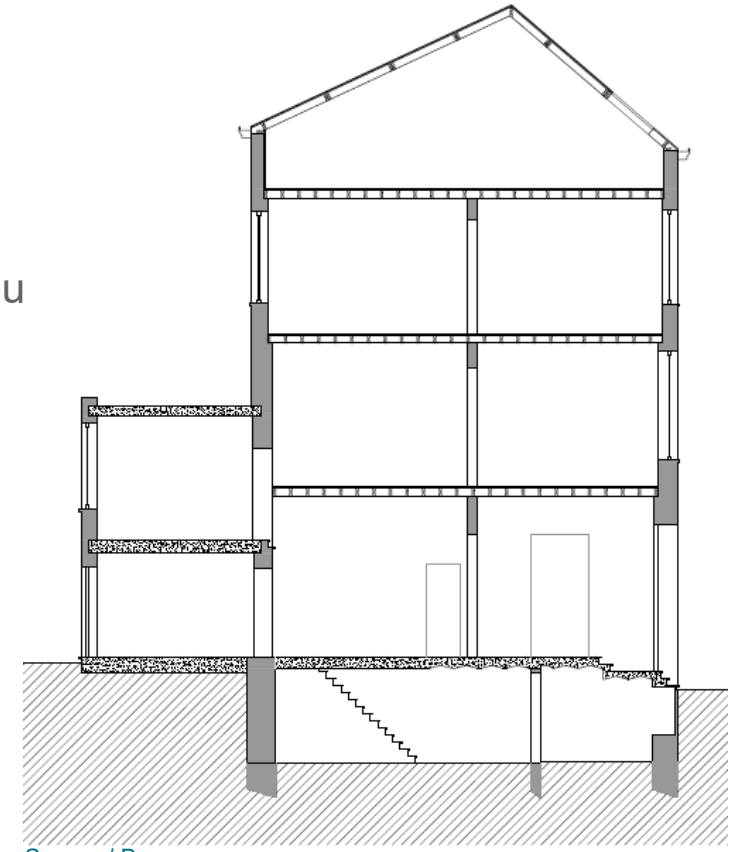


wooclap

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 vapeu
- Pathologies ou plaintes éventuelles?



Source / Bron : 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

TABLE DES MATIÈRES

APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

APPROCHE PAR FAMILLE

CONCLUSION

APPROCHE PAR FAMILLE

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?

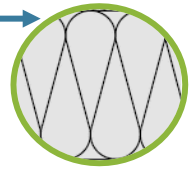


TABLE DES MATIÈRES

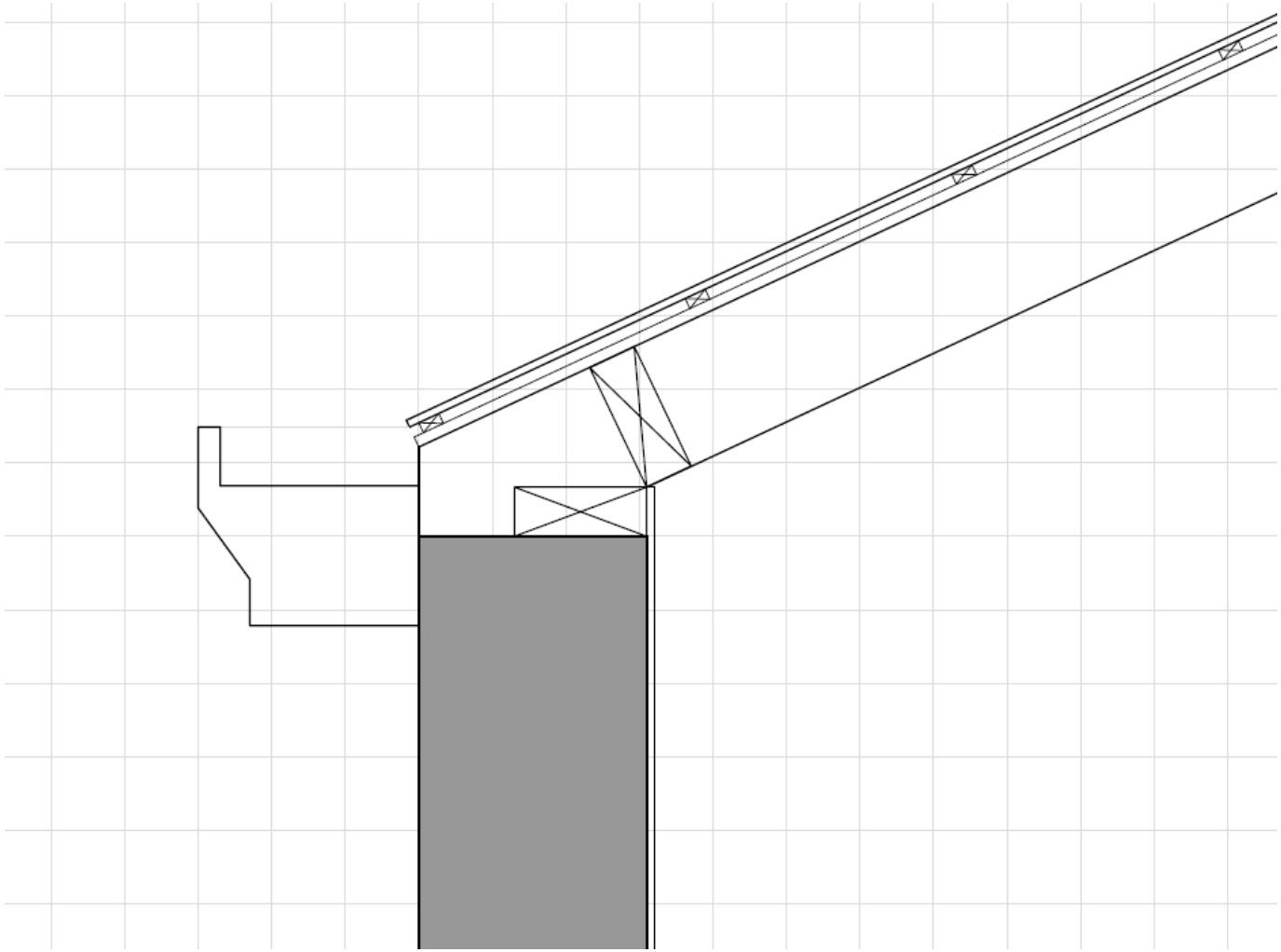
APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

APPROCHE PAR FAMILLE

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

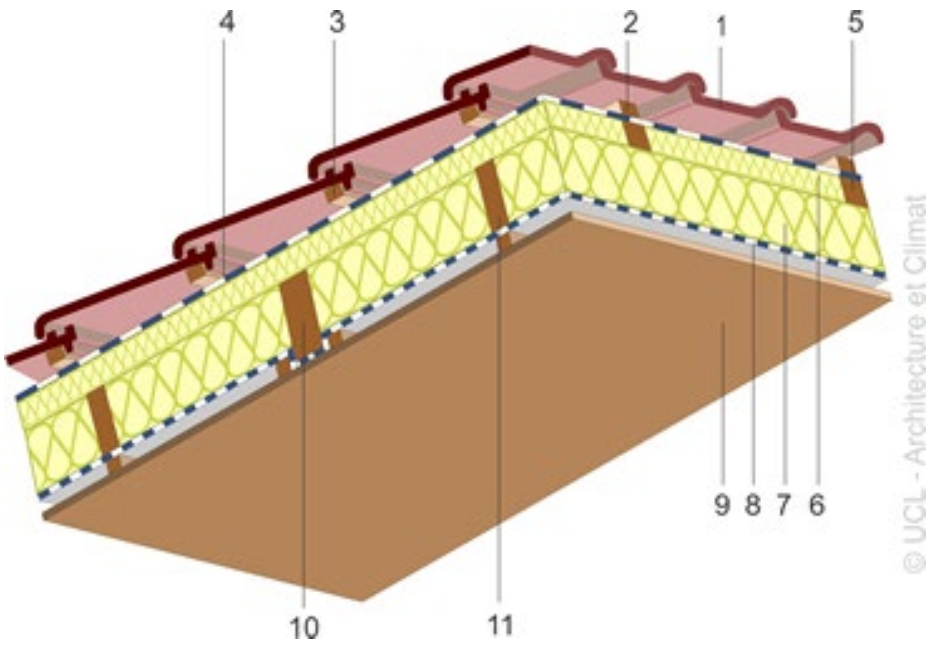
CONCLUSION

TOITURE INCLINÉE



Source / Bron : ecorce

TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE



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

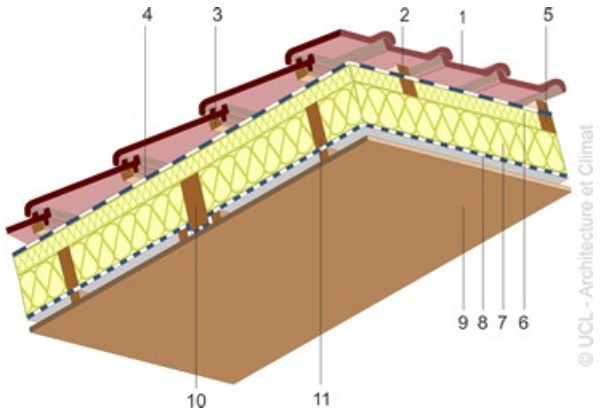
- Nature de la sous-toiture

TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Quizz wooclap

- Quelle est l'exigence PEB de U max pour la toiture?

- A quelle épaisseur d'isolation cela correspond-il?



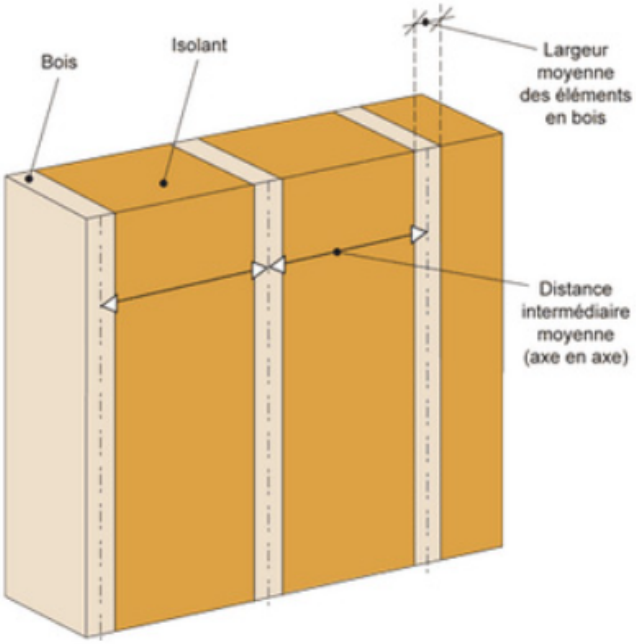
Toiture isolée dans la charpente en laine de bois
Proportion bois 15%
λ_{bois} = 0,13 W/mK
λ_{laine_bois} = 0,038 W/mK

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.



Source / Bron :
Guide PEB RW

Valeurs par défaut

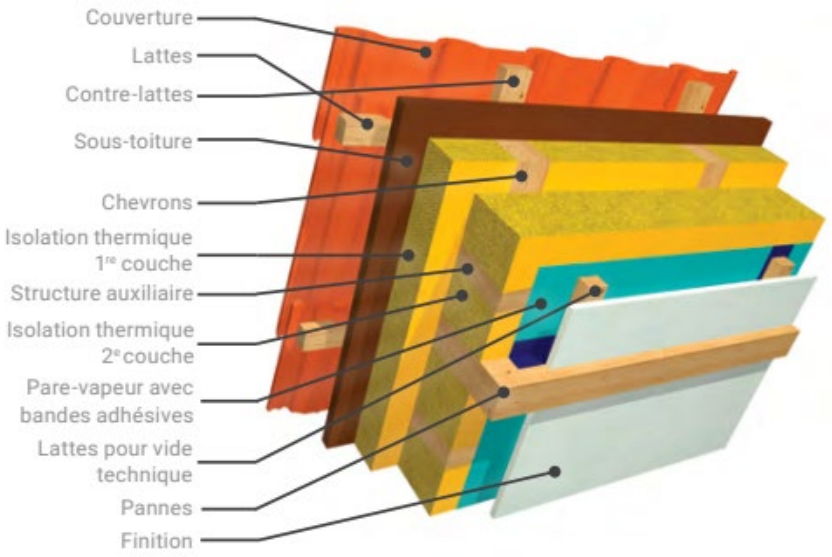
Choisir la fraction de bois correspondant au type de structure :

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

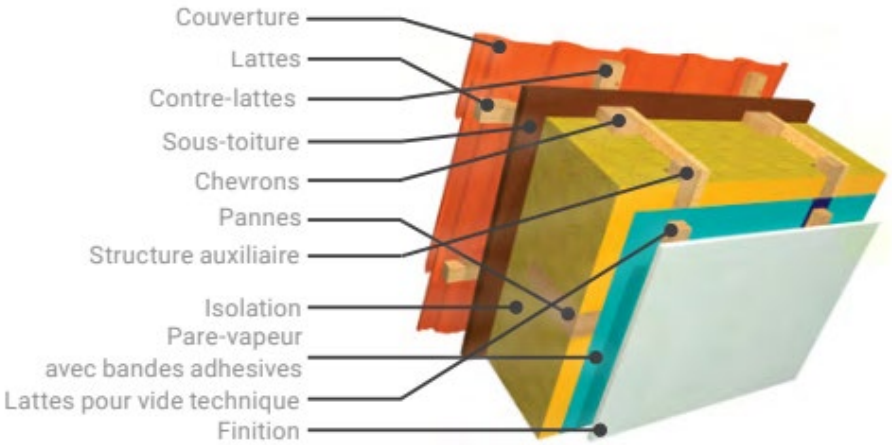
TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Typologies d'isolants

Isolation via matelas souples

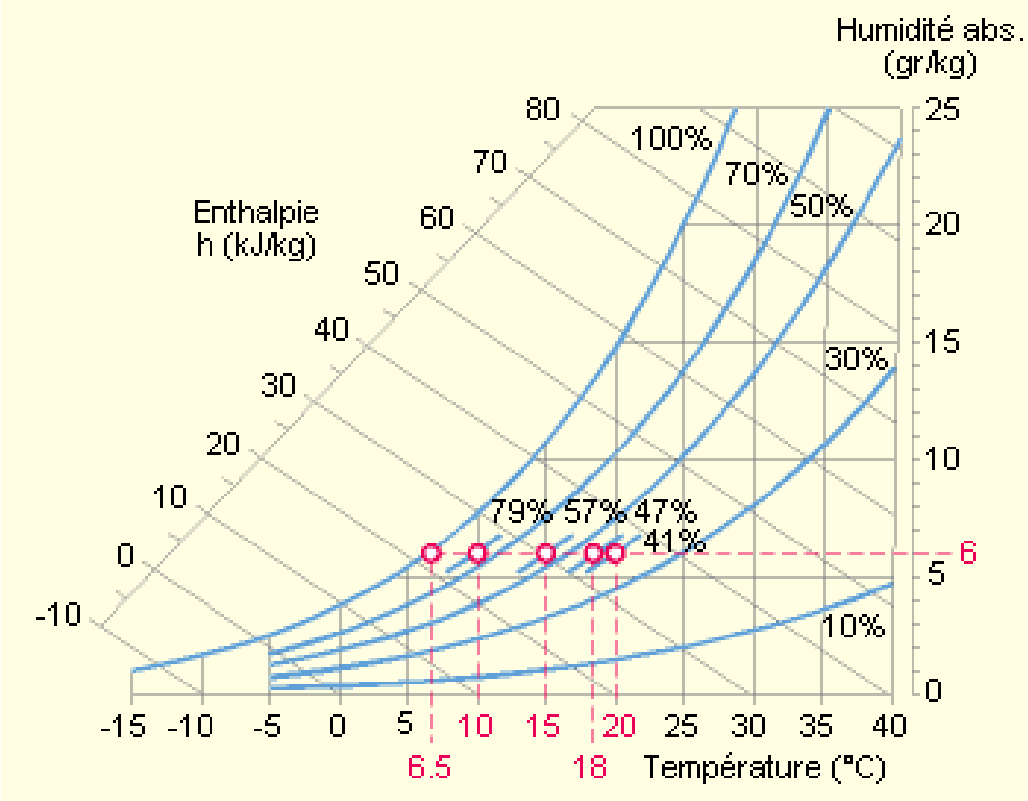


Isolation insufflée, projetée



Sources / Bronnen: Homegrade

TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE



Sourc/Bron : energie+

		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

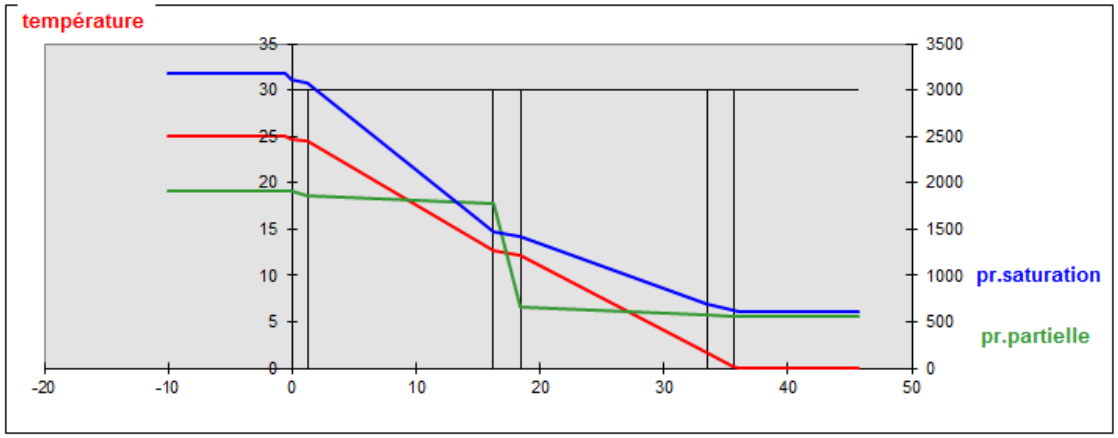
pvx : pression partielle d
psx : pression de saturati

Caractéristiques de la paroi:

	intérieur	épaisseur (m)	lambda (W/mK)	Rx (m2.K/W)	Rtot (m2.K/W)	mu	Zx x 5,4.10⁹	Ztot x 5,4.10⁹	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%	**impossible,condensation !**
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%**	

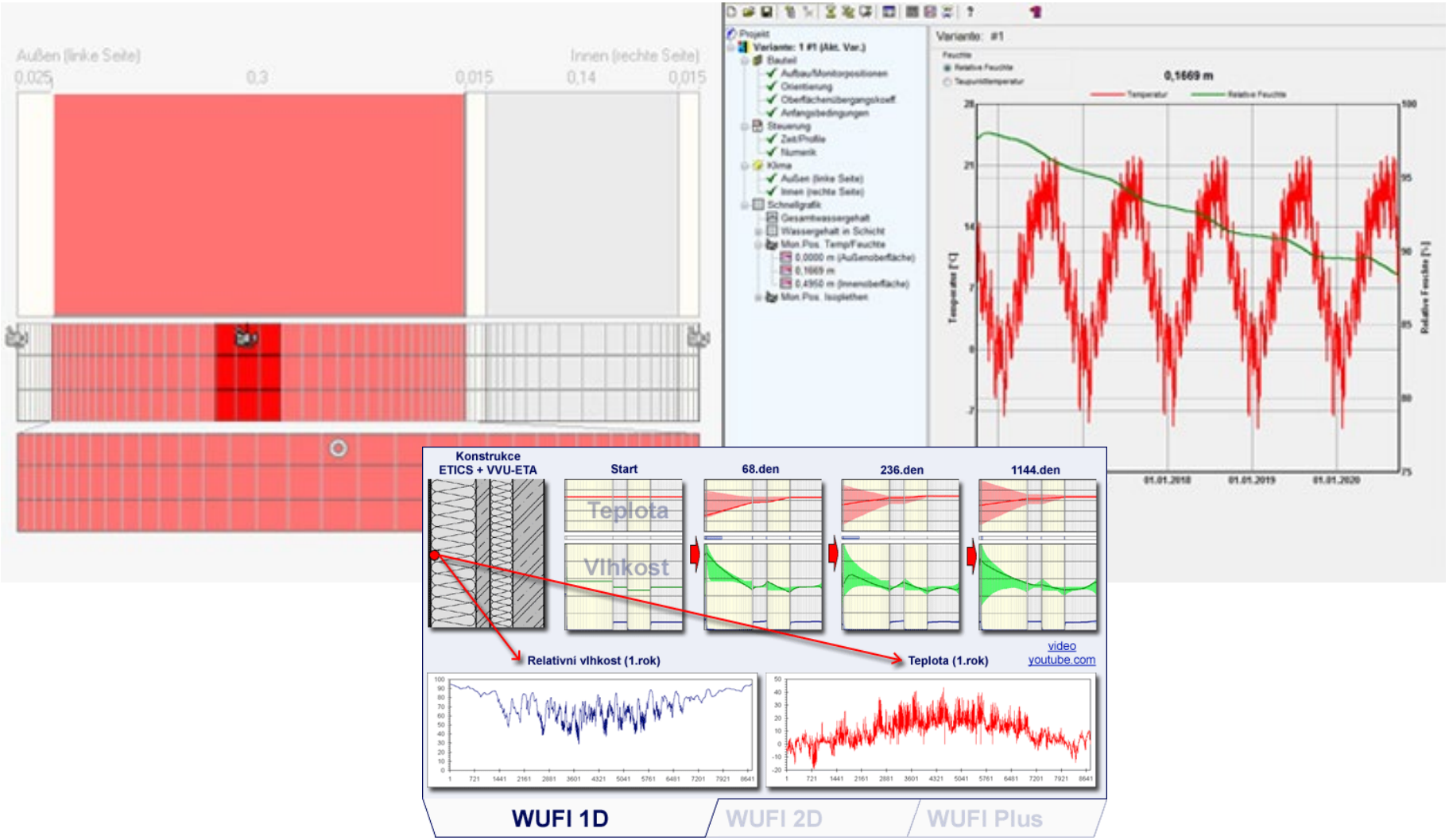
k paroi **0,11** W/m2.K **Flux vap** **7,0E-08** kg / m2.s
flux chal. **2,8** W/m2 1,7026 **6,1** gr / m2.jour
0,4729

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)



TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

SIMULATION DYNAMIQUE



Sourc/Brone : WUFI©

TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Isolants

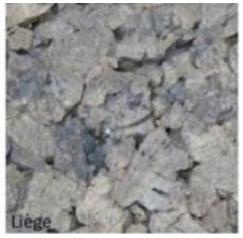
	Densité	Epaisseur	Masse par m²	Isolation	Inertie				Humidité		
	ρ	d	m	λ	C	ρC	Diffusivité	Effusivité	μ sec	μ hum.	A
	kg/m³	m	kg/m²	W/mK	J/kgK	kJ/m³K	m²/s	J/m²Ks½	/	/	kg/m²s½
ISOLANTS A BASE MINERALE											
Panneau de laine de roche	100	0,09	9	0,035	1030	103,00	0,34	60,04	2	1	[0]
Panneau de laine de 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 polyuréthanne	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

Laine de verre

Polystyrène extrudé

Cellulose

Fibres de bois


Liège

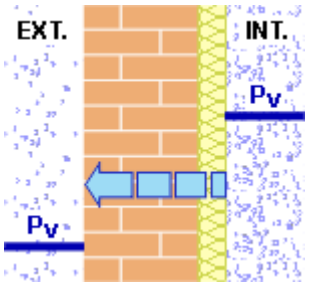
Chaux-chanvre

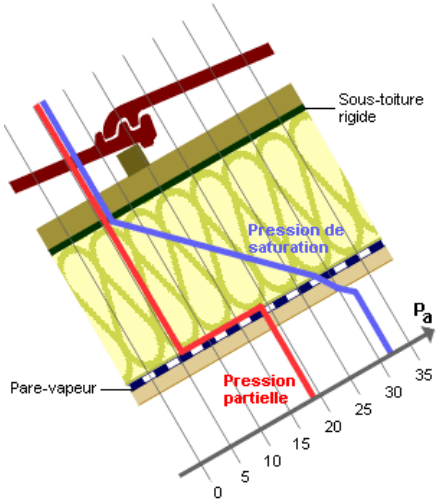
Source / Bron : architecture et climat

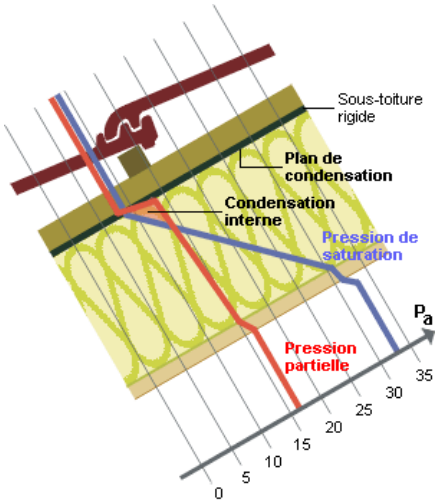
TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Pare-vapeur ? Sous-toiture ?

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







Source /Bron : energie+

TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

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

TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Points d’attention en rénovation?

TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Points d'attention en rénovation?

- EXEMPLE – situation existante

Sources / Bronnen : ecorce

TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Points d'attention en rénovation?

- EXEMPLE – nœuds constructifs

Source: écorce

Sources / Bronnen : ecorce

TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Points d'attention en rénovation?

- EXEMPLE – nœuds constructifs

Source / Bron : CSTC

TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Points d'attention en rénovation?

- EXEMPLE – nœuds constructifs

Source / Bron : écorce

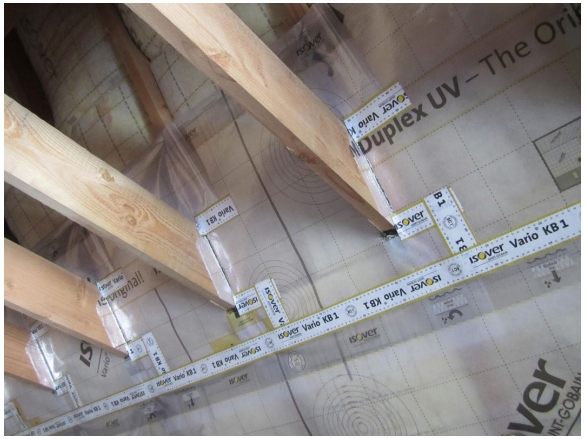
TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Points d'attention en rénovation?

- EXEMPLE – étanchéité à l'air

Source.Bron : ISOVER

Source.Bron : Doerken.com



Source.Bron : Livios

TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Points d'attention en rénovation?

- EXEMPLE – étanchéité à l'air

Sources / .Bronnen : ecorce

TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Points d'attention en rénovation?

- EXEMPLE – Etanchéité à l'eau

Source.Bron : futura Sciences et Batirama

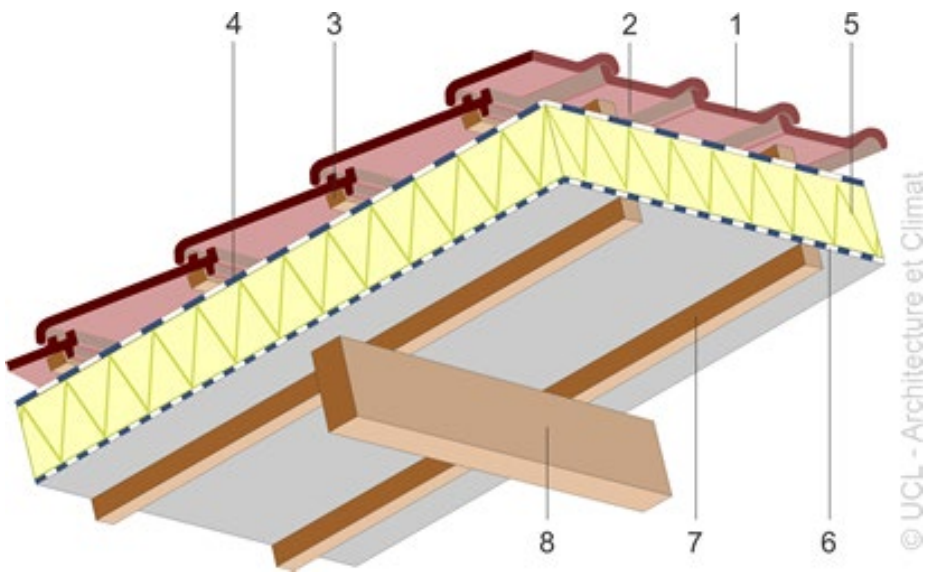
TOITURE ISOLÉE DANS LA CHARPENTE

Points d'attention en rénovation?

- EXEMPLE – Etanchéité à l'eau

Source.Bron : ecorce

TOITURE SARKING



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

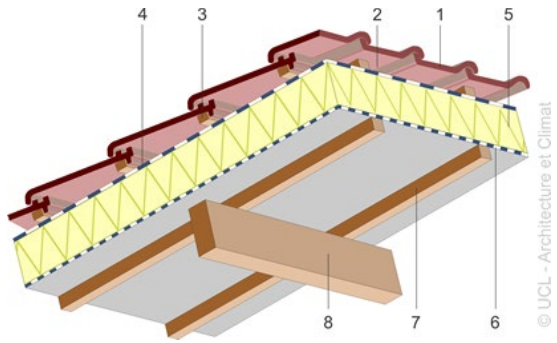
- ATG fabricant

TOITURE SARKING

Quizz wooclap

- Quelle est l'exigence PEB de U max pour la toiture?

- A quelle épaisseur d'isolation cela correspond-il?



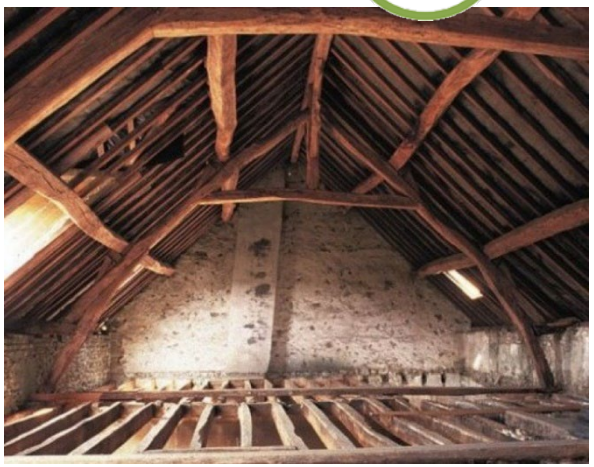
Toiture sarking en PUR
λ_{PUR} = 0,024 W/mK

TOITURE SARKING

Points d’attention en rénovation?

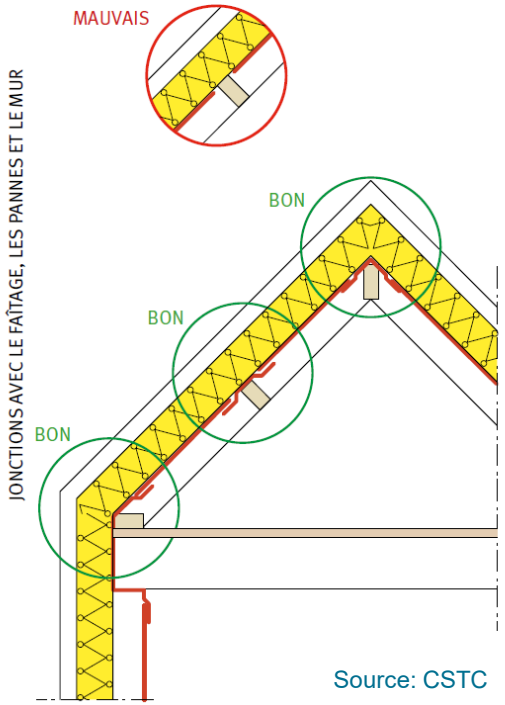
Points d'attention en rénovation?

- Conserver une charpente apparente



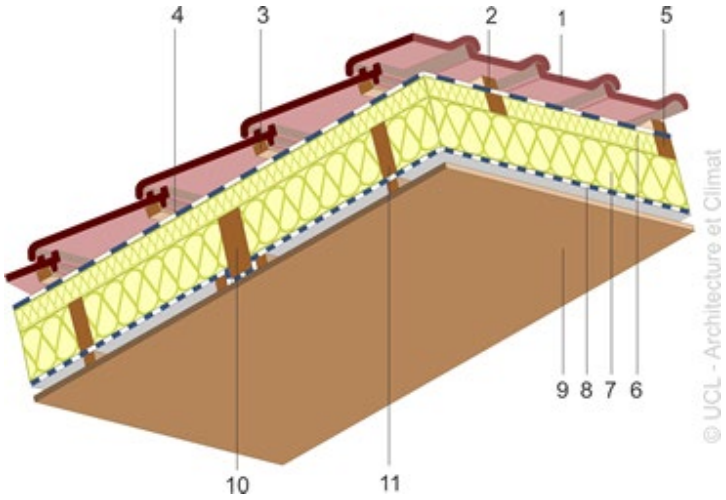
Source: ecorce

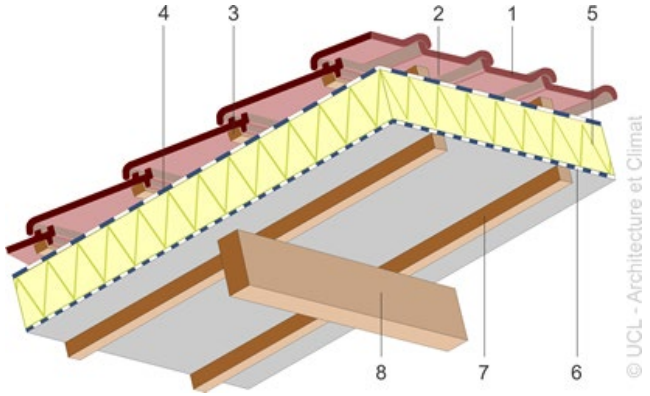
Source: CSTC



Source: CSTC

ET QUAND DE L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?

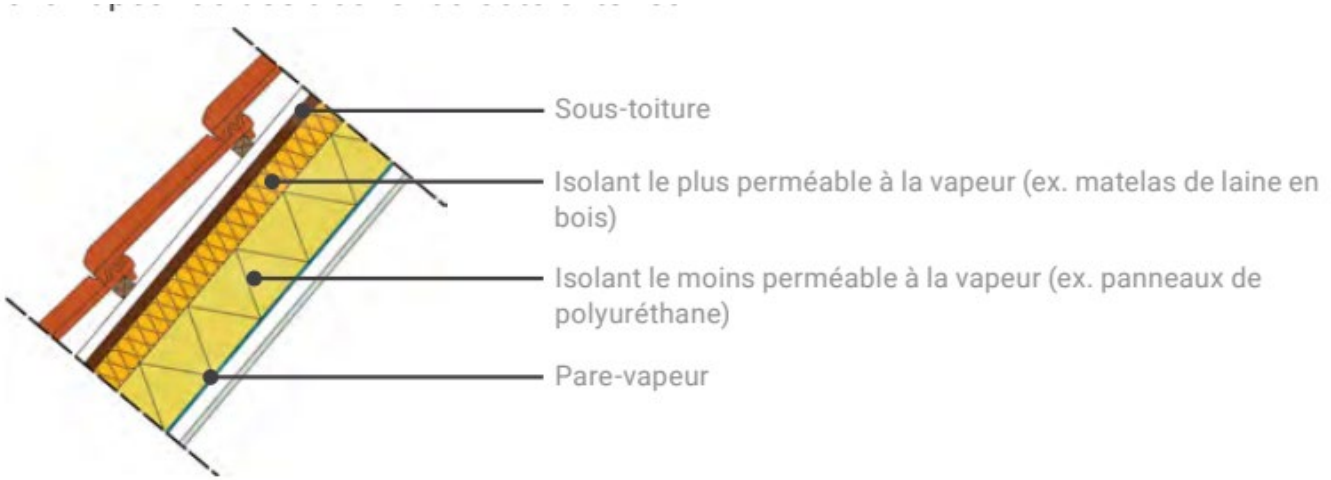




ET QUAND DE L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?

Combinaisons d'isolants

- Isolants ouverts/fermés à la DVE



Source: Homegrade

ET QUAND DE L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?

Combinaisons d'isolants

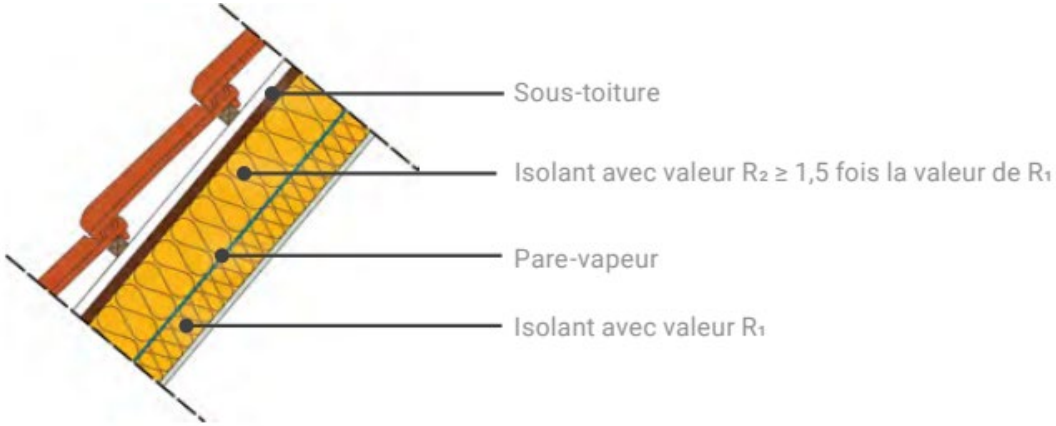
- Isolants ouverts/fermés à la DVE

Source: Homegrade

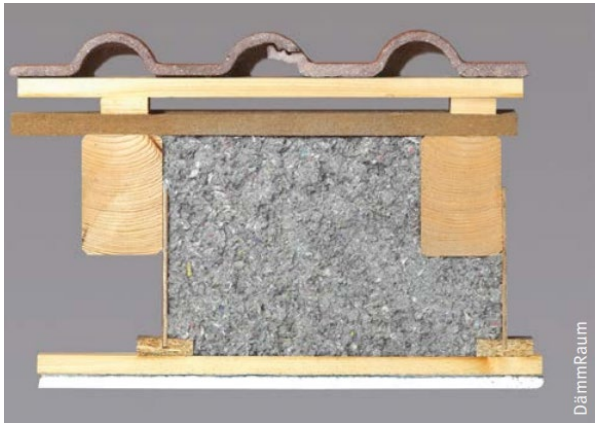
ET QUAND DE L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?

En rénovation

- Augmenter l'épaisseur d'isolation



Source: Homegrade



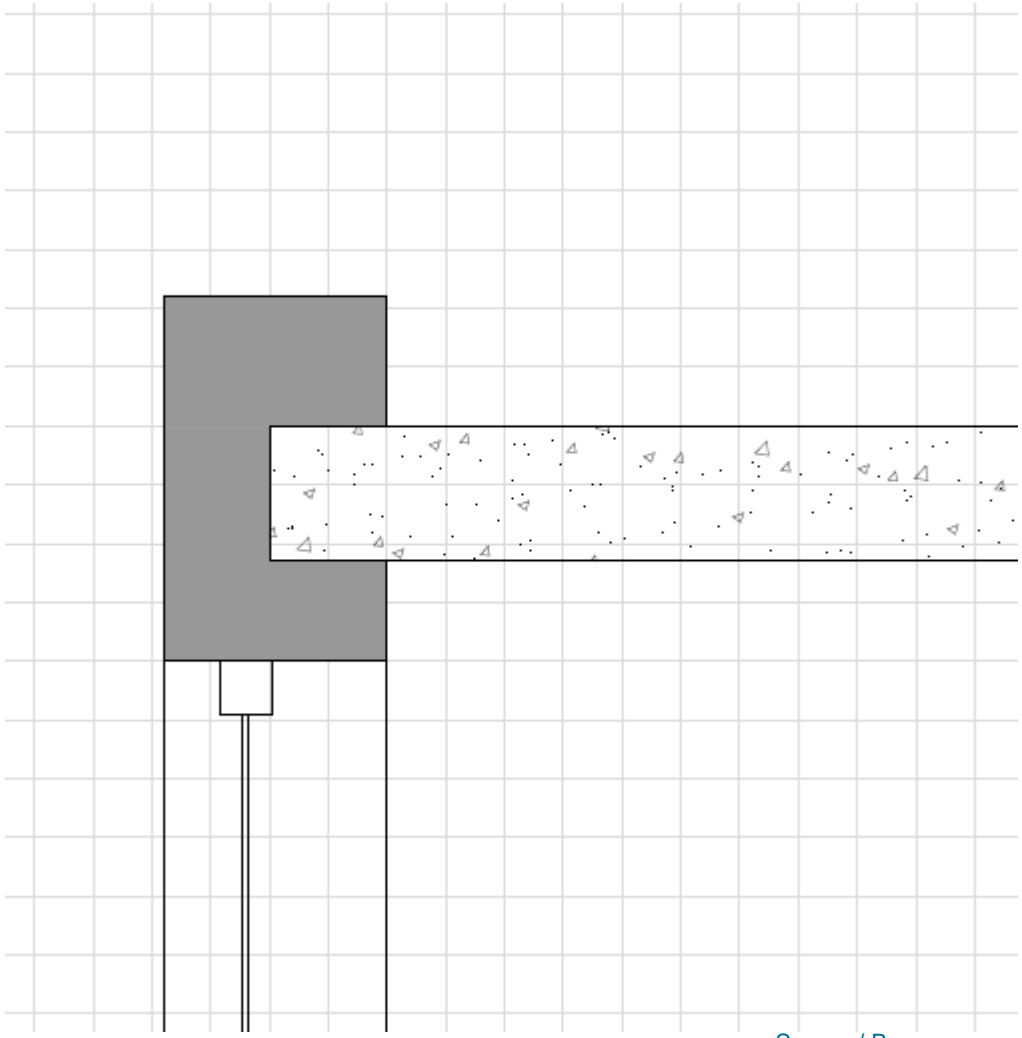
Source: Matgreen

APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

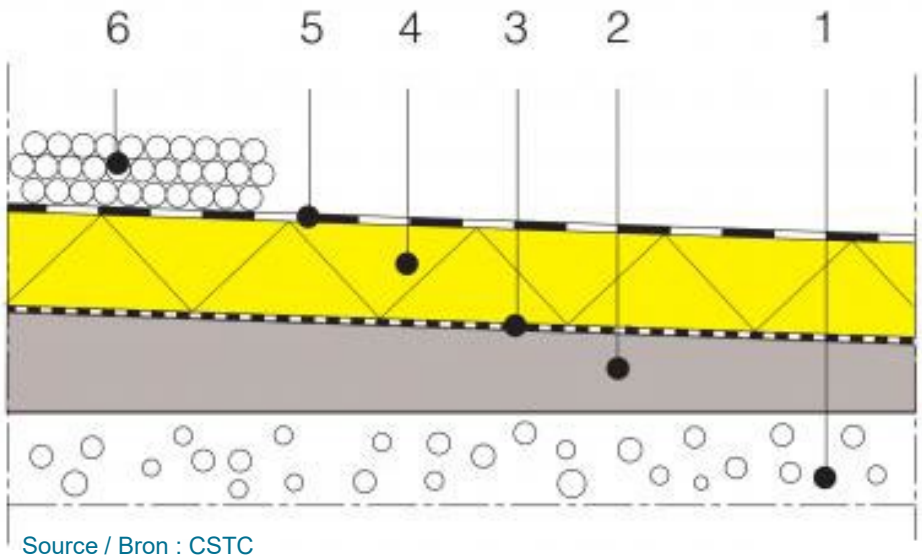
APPROCHE PAR FAMILLE

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

TOITURE PLATE – STRUCTURE CONTINUE



Source / Bron : ecorce



Source / Bron : CSTC

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?

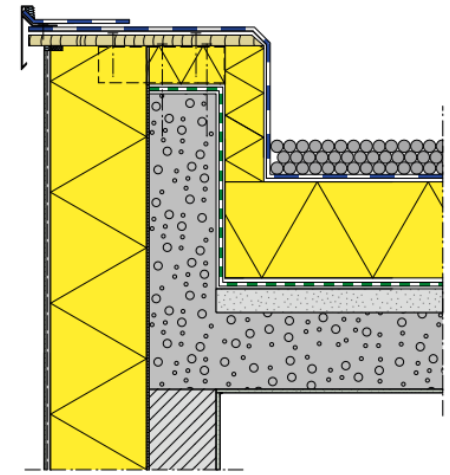
- Poussée de l'acrotère des toitures plates isolées à l'aide de panneaux PU
  - Causes:

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

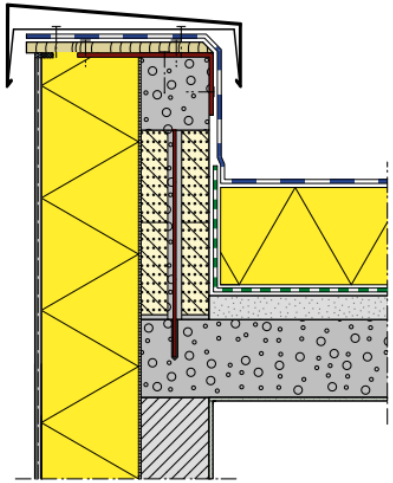
⇨ **Ancrer solidement l'acrotère**

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

Pour en savoir plus:
CSTC Contact mars-avril 22



2 Acrotère en béton solidaire au support.



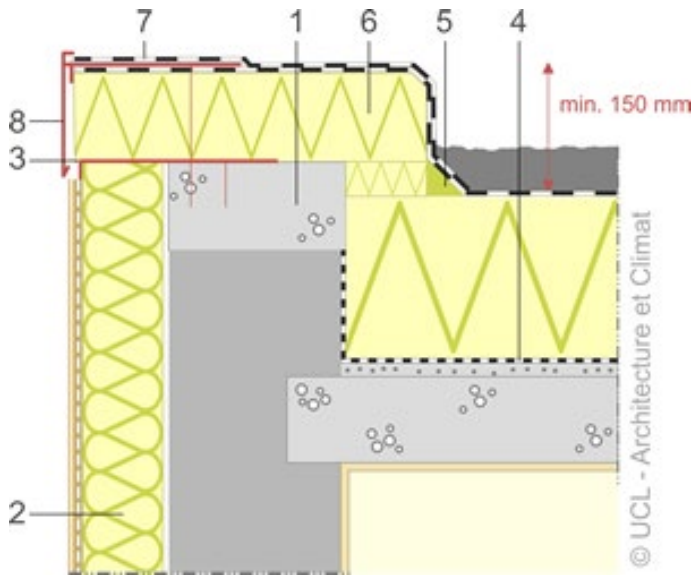
3 Acrotère en béton cellulaire ancré mécaniquement au support.

Source: CSTC

Points d'attention en rénovation?

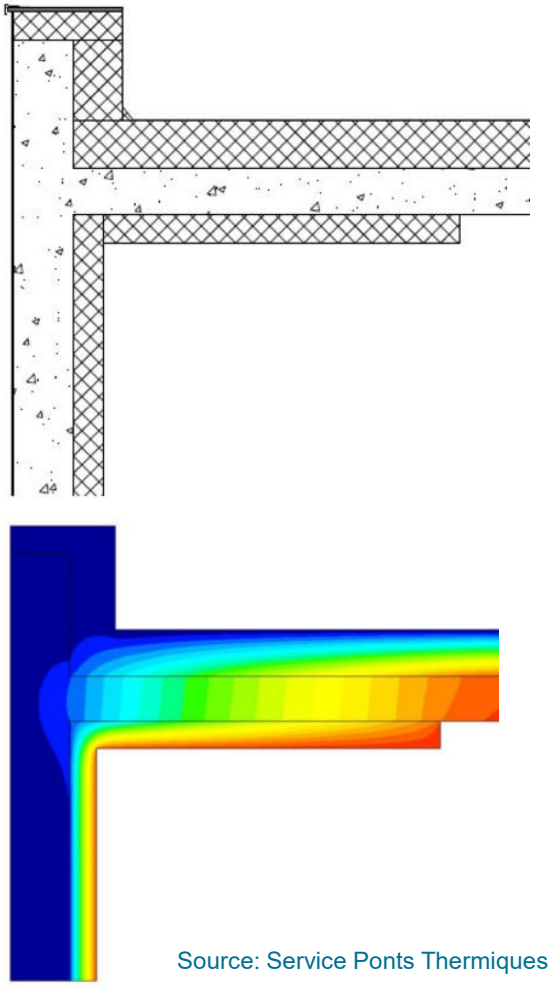
- Acrotère existante conservée

Contourner l'acrotère (+ éventuellement la rehausser)



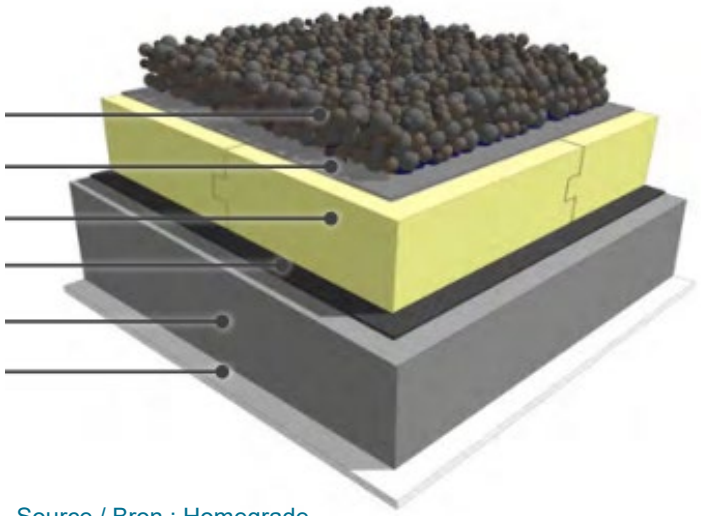
Source: Energie +

Chemin de moindre résistance ≥ 1m



Source: Service Ponts Thermiques

TOITURE INVERSÉE



Source / Bron : Homegrade

Etanchéité à l'eau

Isolation

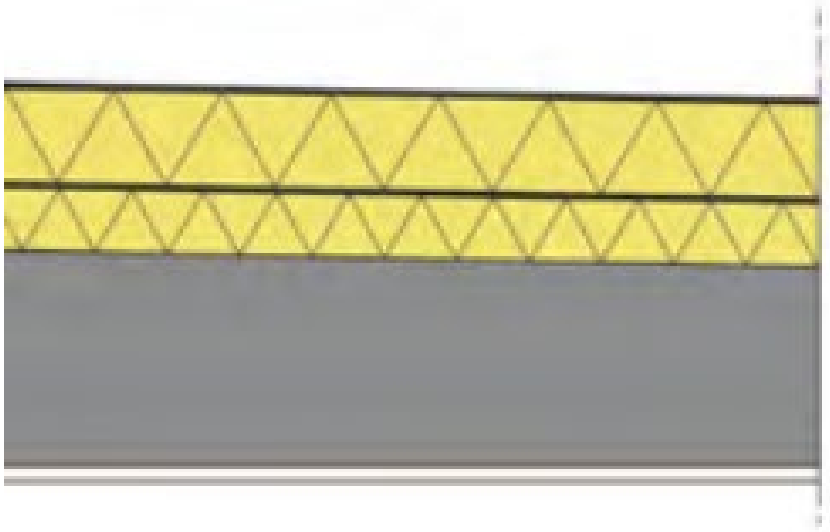
Etanchéité à l'air

Diffusion de vapeur d'eau

TOITURE INVERSÉE

Points d’attention en rénovation?

ET QUAND DE L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?



Source: Homegrade

ET QUAND DE L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?

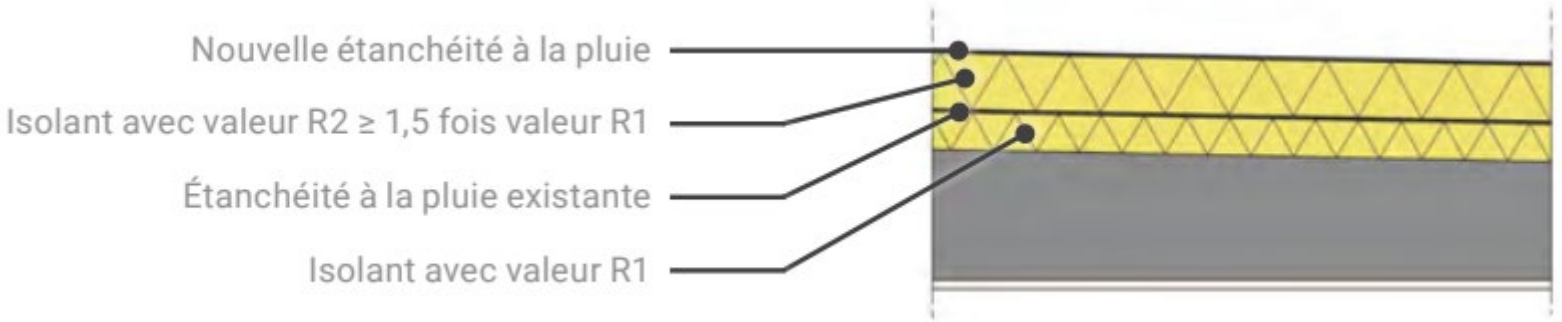
Toiture chaude existante – option 1

- 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

ET QUAND DE L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?

Toiture chaude existante – option 2

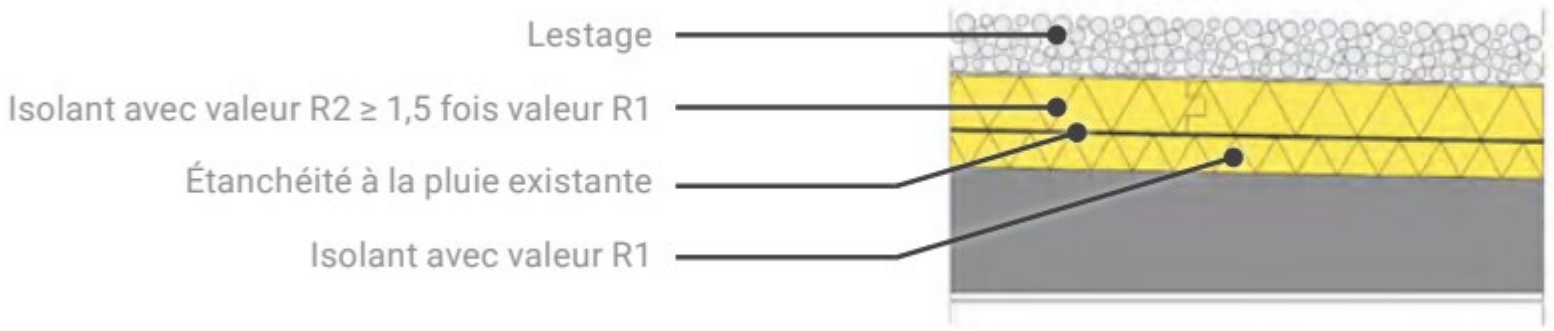
- Structure en béton
- Présence d'un pare-vapeur?

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

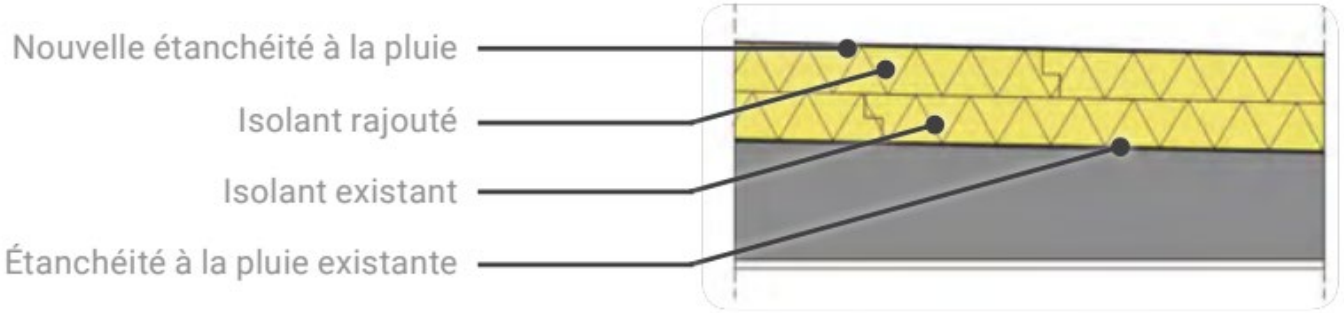
ET QUAND DE L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?

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**

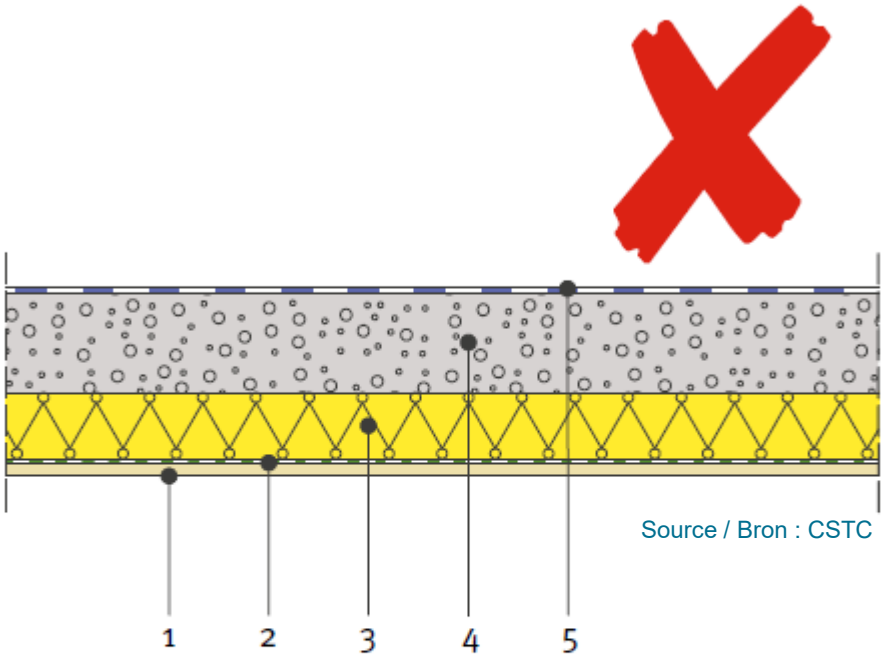


Source: Homegrade

ET QUAND DE L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?

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.



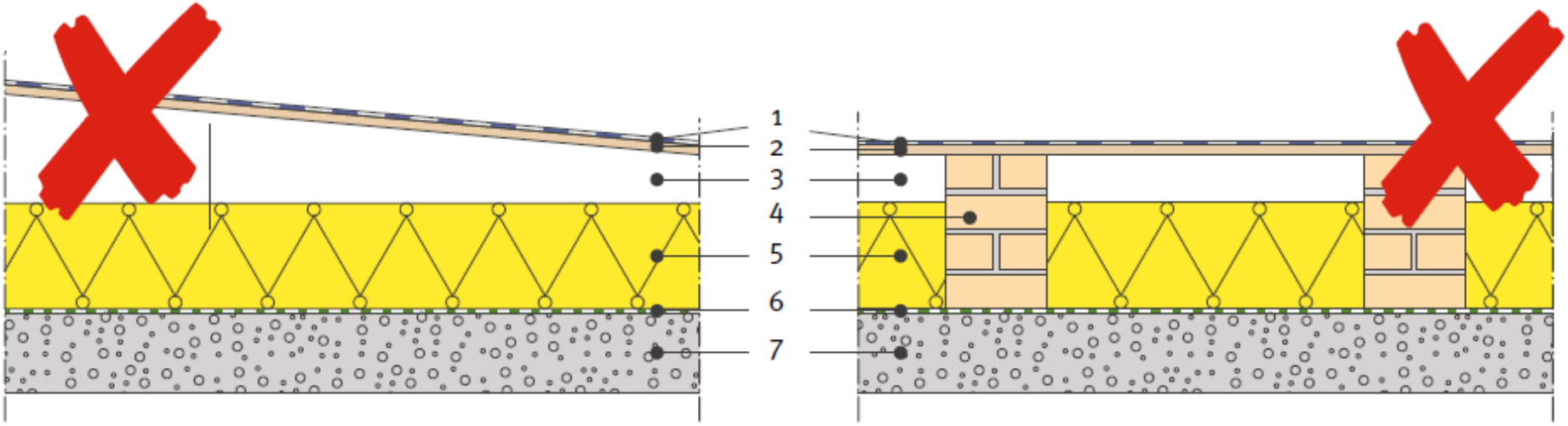
Source / Bron : CSTC

1. Finition intérieure
2. Pare-vapeur
3. Isolation
4. Support de toiture
5. Étanchéité

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

ET QUAND DE L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?

Toiture froide lourde



Source / Bron : CSTC

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

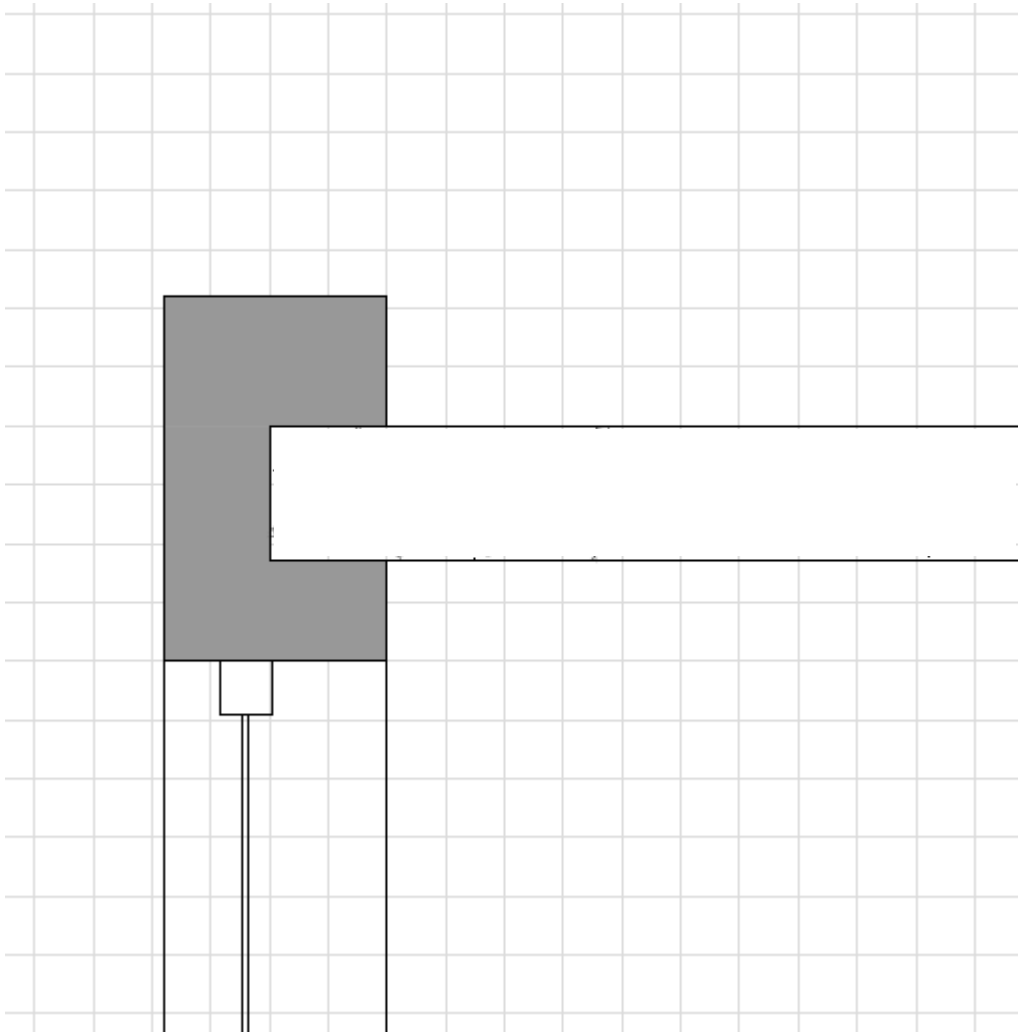
Fig. 29 Toiture froide lourde (techniquement inacceptable).

APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

APPROCHE PAR FAMILLE

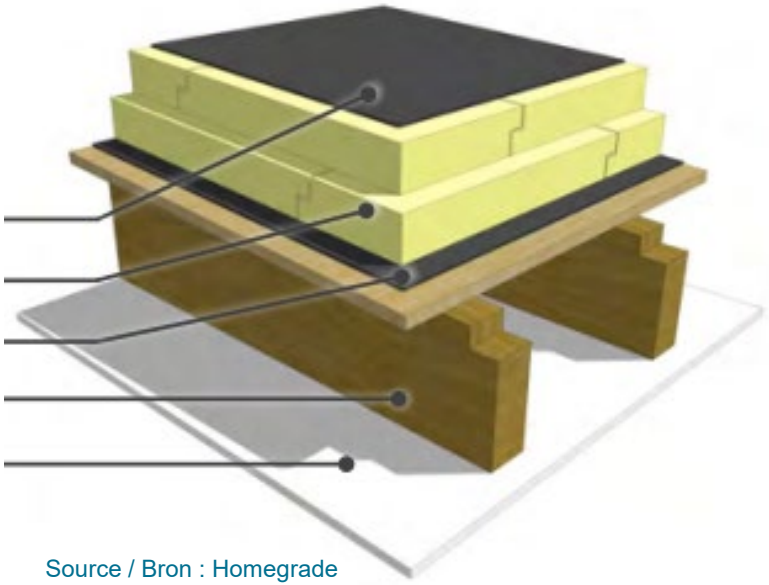
- Toiture inclinée
- Toiture plate à structure continue
- **Toiture plate** à structure discontinue
- Plancher des combles

TOITURE PLATE – STRUCTURE DISCONTINUE



Source / Bron : ecorce

TOITURE CHAUDE



Source / Bron : Homegrade

Etanchéité à l'eau

Isolation

Etanchéité à l'air

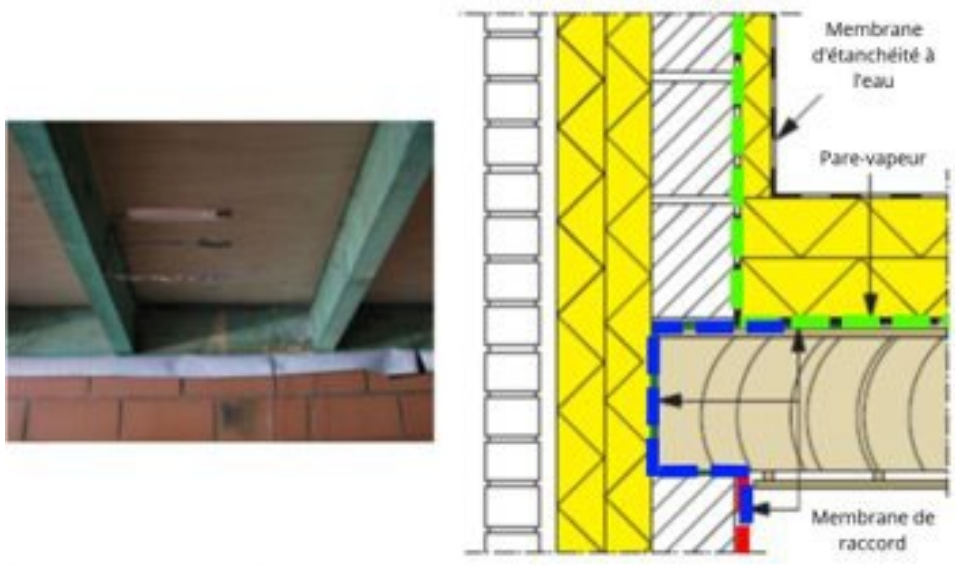
- Type/état du support

Diffusion de vapeur d'eau

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

Points d'attention en rénovation?

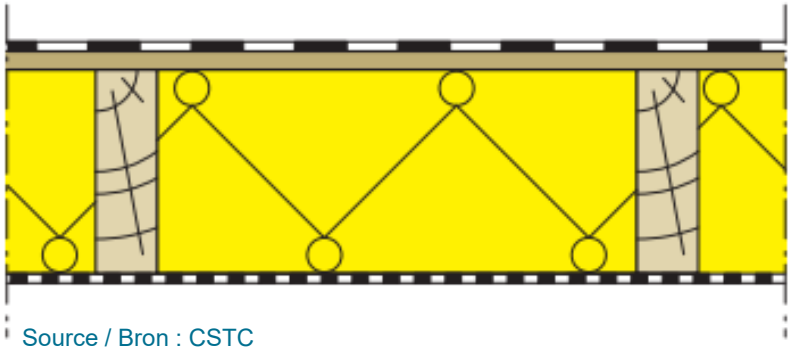
- EXEMPLE



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 / Bron : Raccord mur/toiture plate (bois) (Buildwise – CSTC-Contact 2012/1 (n° 33)

TOITURE COMPACTE



Source / Bron : CSTC

Etanchéité à l'eau

Isolation

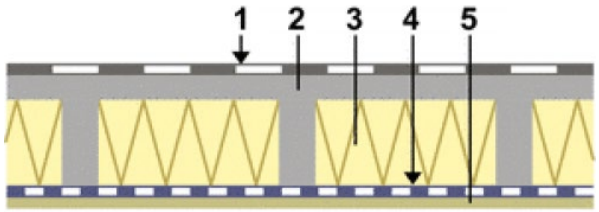
Etanchéité à l'air

Diffusion de vapeur d'eau

- Environnements intérieur et extérieur
- Sécurité de conception

Diffusion vapeur d'eau

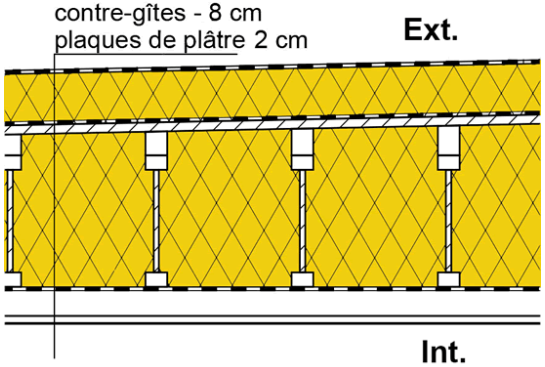
- $P_{vap.int} > P_{vap.ext}$ → migration de vapeur de l'int. vers l'ext.
- Comportement simple

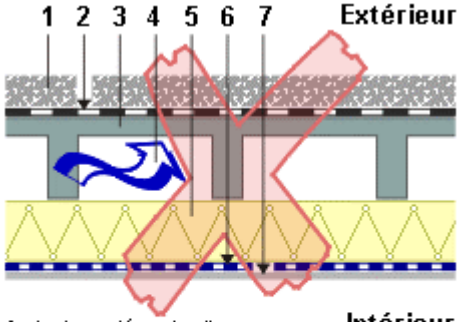


Source / Bron : Energie+

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

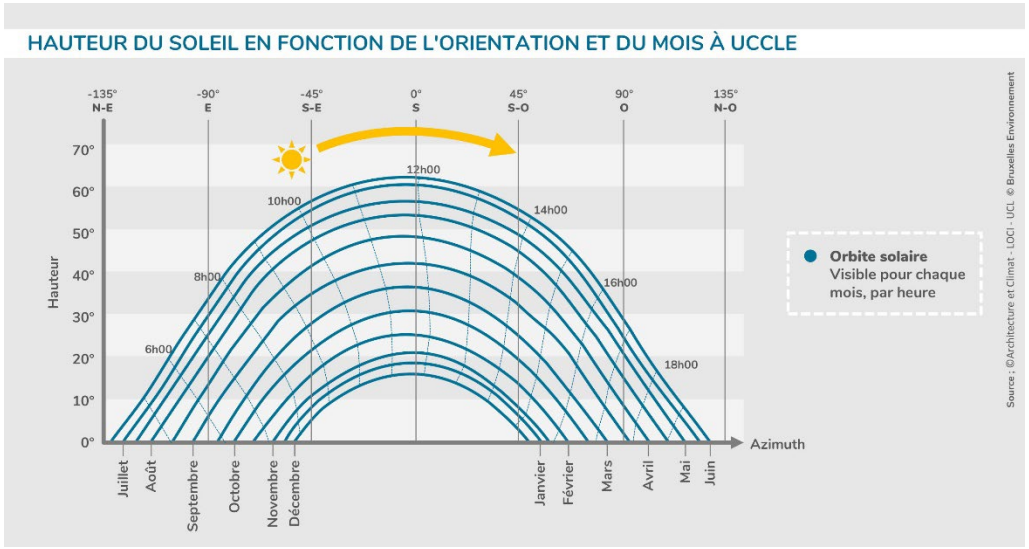
epdm
fibre de bois 14 cm
pare-vapeur
voligeage
calles de pente 0 à 15 cm
gîtes en I 36 cm
pare-vapeur db+
contre-gîtes - 8 cm
plaques de plâtre 2 cm



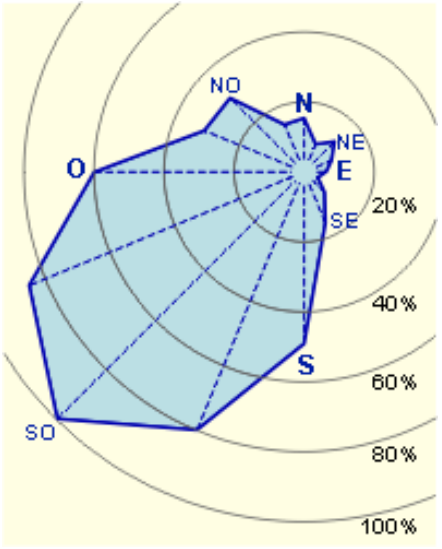


1 : lestage (éventuel)
2 : membrane d'étanchéité
3 : support
4 : lame d'air ventilée
5 : isolant
6 : pare-vapeur étanche à l'air
7 : plafond

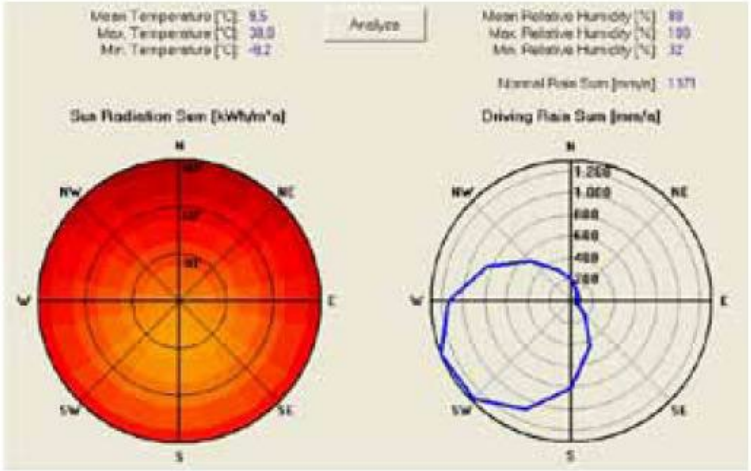
TOITURE COMPACTE



Source / Bron : Guide Batiment Durable



Source / Bron : energie+



Source / Bron : WUFI ©

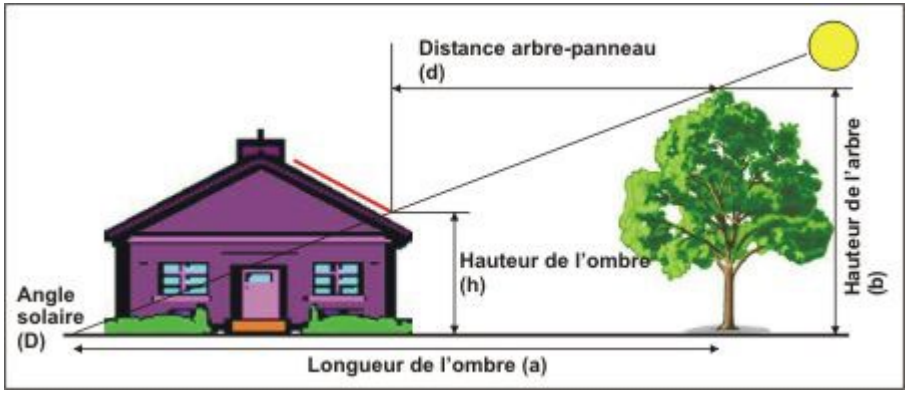
Analyse de l'environnement direct

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

Source / Bron : Guide Batiment Durable

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

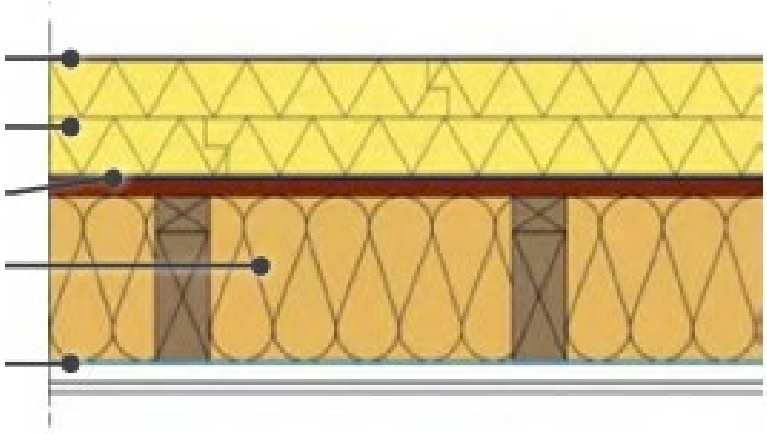
Source / Bron : SMA France



Source / Bron : eclecticsite.fr

Points d’attention en rénovation?

TOITURE MIXTE



Etanchéité à l'eau

Isolation

- Combinaison d'isolants

Etanchéité à l'air

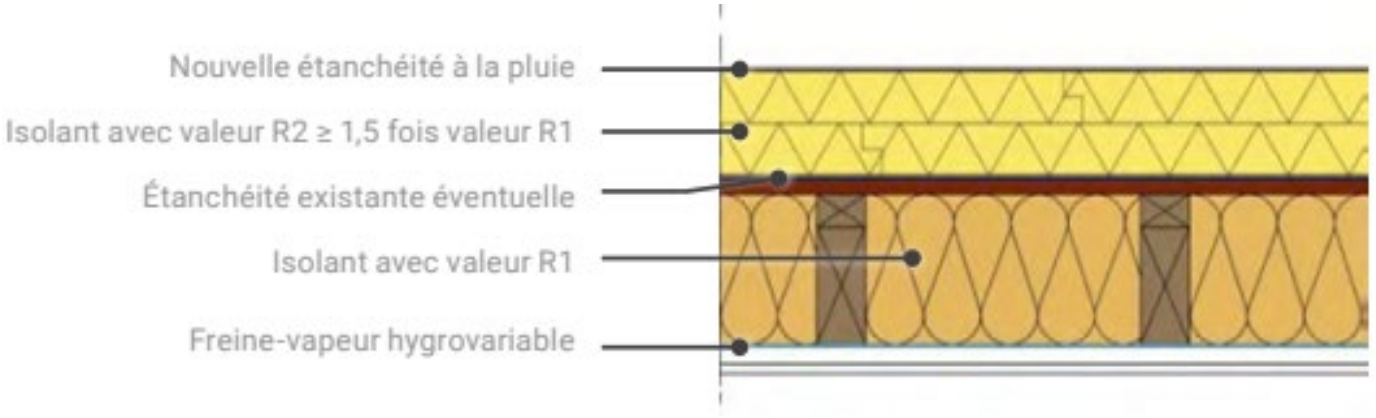
Diffusion de vapeur d'eau

TOITURE MIXTE

Isolation sur et dans la charpente

- Toiture mixte
  - Compromis entre toiture chaude et compacte
  - Condition sur la résistance thermique minimale de l'isolant supérieur

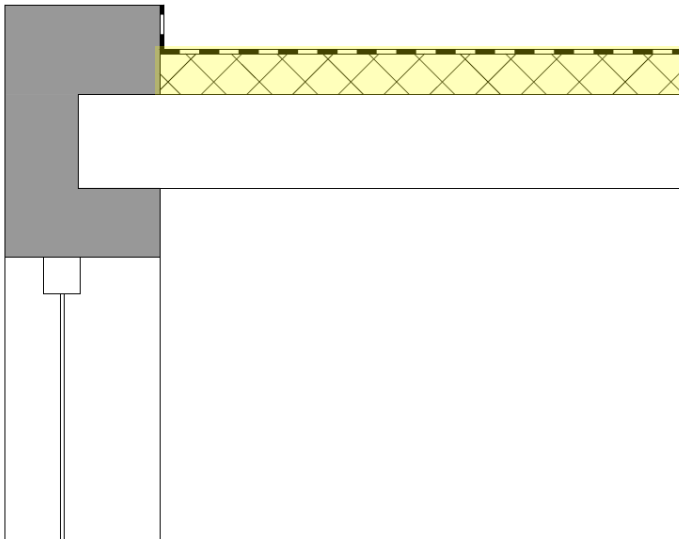
Diffusion de vapeur d'eau



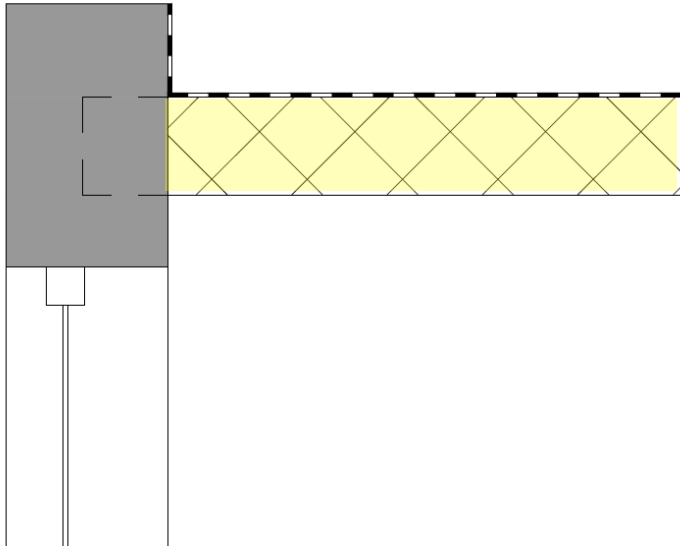
Source: Homegrade

Points d’attention en rénovation?

ET QUAND L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?



Source / Bron : ecorce

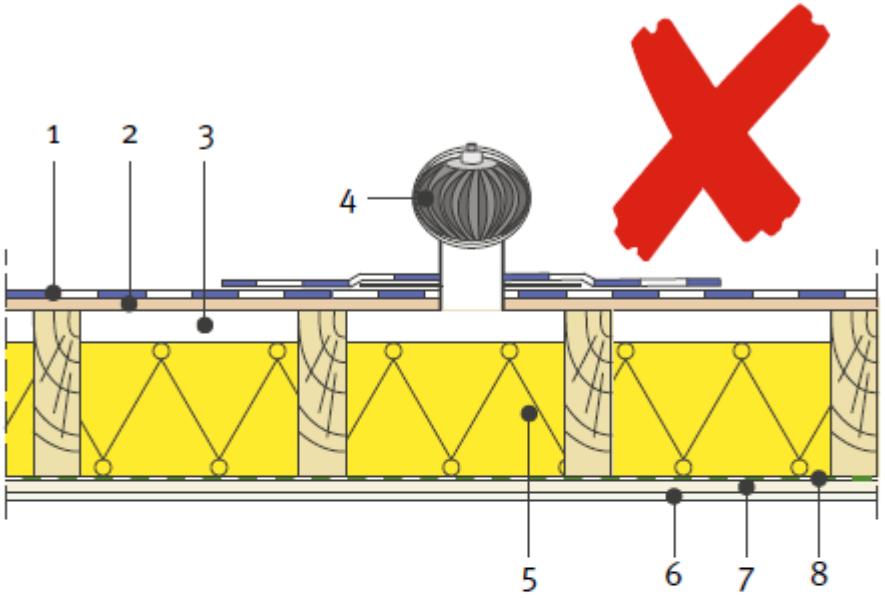


Source / Bron : ecorce

ET QUAND L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?

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. Lame d'air ventilée
4. Conduit de ventilation
5. Isolation
6. Finition intérieure
7. Lattage
8. Pare-vapeur éventuel

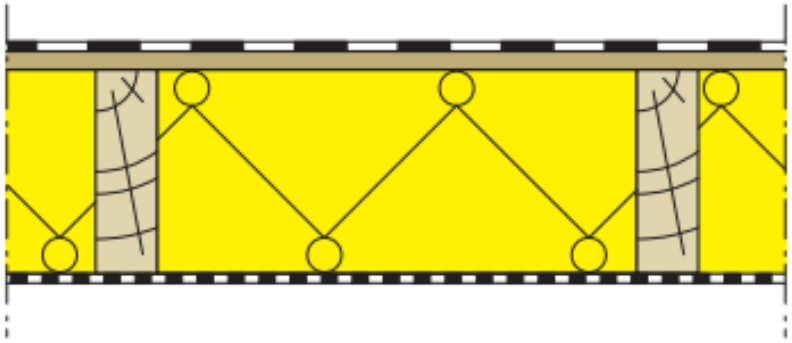
Fig. 27 Toiture froide (techniquement inacceptable).

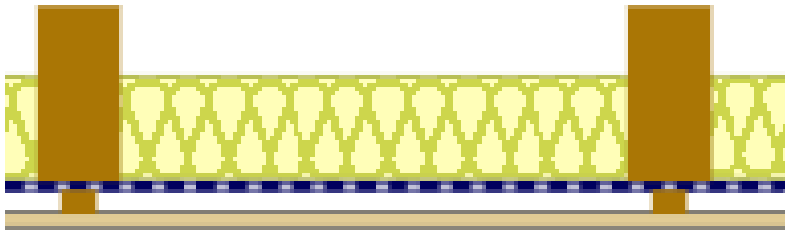
APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES

APPROCHE PAR FAMILLE

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

PLANCHER DES COMBLES





Etanchéité à l'eau

Isolation

- Modes d'isolation

Etanchéité à l'air

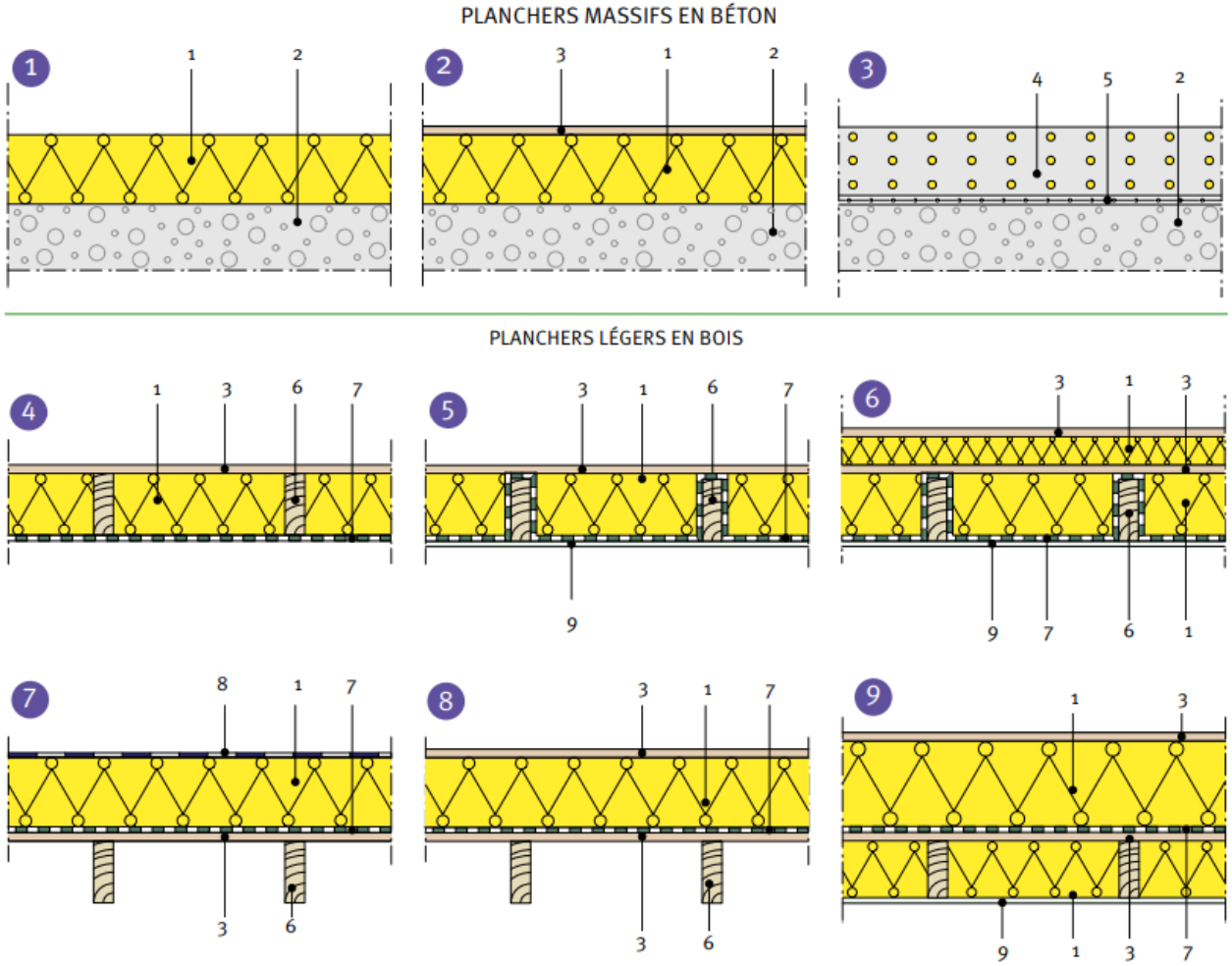
- Techniques / traversées

Diffusion de vapeur d'eau

- Ventilation des combles ?

Modes d'isolation

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



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)

PLANCHER DES COMBLES

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.								

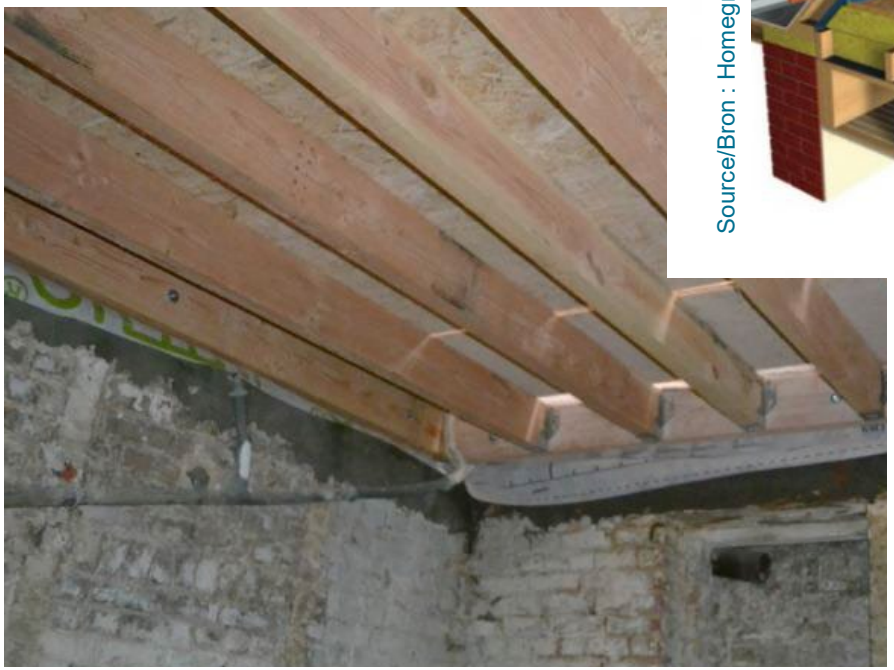
PLANCHER DES COMBLES

Points d’attention en rénovation?

PLANCHER DES COMBLES

Points d'attention en rénovation?

- EXEMPLE



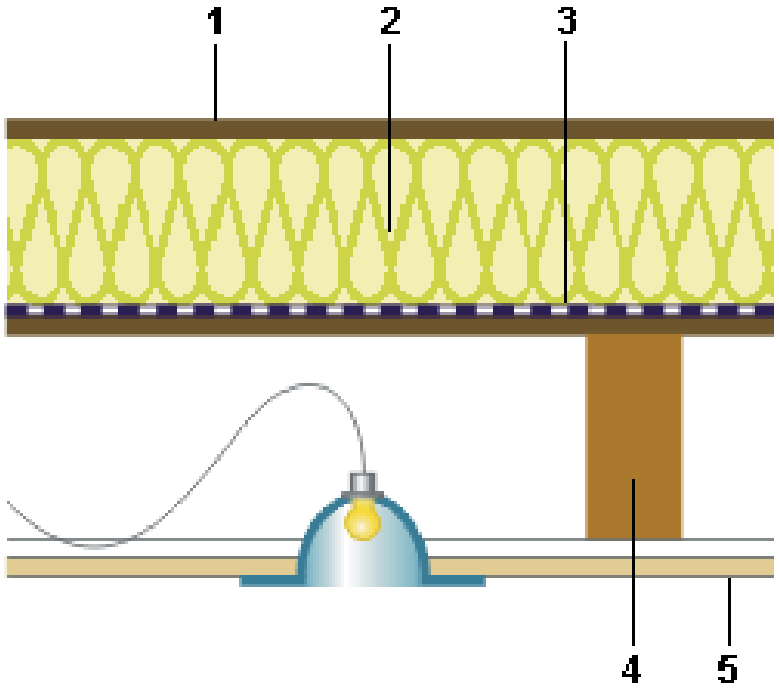
Source/Bron : J. Kessler

Source/Bron : Homegrade

PLANCHER DES COMBLES

Points d'attention en rénovation?

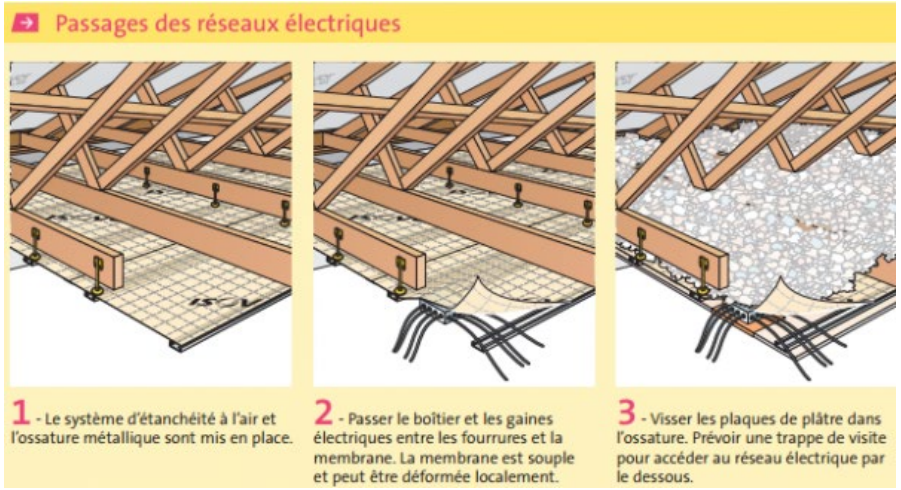
- EXEMPLE



Points d'attention en rénovation?

- EXEMPLE

Source/Bron : thermoopoint.com



Source/Bron : forumconstruire.com

ET QUAND L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?

Exemple

Sources / Bronnen : ecorce

ET QUAND L'ISOLANT EST DÉJÀ PRÉSENT?

Exemple

Sources / Bronnen : ecorce

TABLE DES MATIÈRES

APPROCHE COMMUNE AUX DIFFÉRENTES FAMILLES
APPROCHE PAR FAMILLE
CONCLUSION

CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'EXPOSÉ

- Dans un bâtiment non isolé, la toiture représente une part importante des déperditions (≈ 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!**

CONTACT

Camille BAIVIER & Pierre WILLEM

Architecte et ingénieur projet

écorce sa

+ 32 4 226 91 60

info@ecorce.be

MERCI POUR VOTRE ATTENTION