

La toiture compacte

Problématique des toitures plates

Les toitures plates sont, du côté extérieur, toujours munies d'une membrane souple d'étanchéité à l'eau (plus souple) qui agit fortement comme freine-vapeur (avec une valeur μ_d de minimum 15m jusqu'à quelques centaines de mètres). En période froide, la différence de température entre extérieur et intérieur provoque un phénomène de diffusion de vapeur, du chaud vers le froid. L'imperméabilité à la vapeur de la membrane d'étanchéité à la pluie retient l'humidité contre la face intérieure du plancher de toiture. Ceci contrairement aux toits en pente où on a le choix de travailler avec une sous-toiture ouverte à la vapeur par laquelle peut s'échapper éventuellement l'humidité présente dans le toit. C'est pourquoi il faut accorder suffisamment d'attention à la régulation hygrométrique en cas de construction de toitures plates.

Traditionnellement, on distingue 3 types de constructions de toitures plates: la toiture chaude, le toit inversé et la toiture froide. Chaque type de toit réagit différemment avec l'humidité qui provient de l'environnement intérieur.

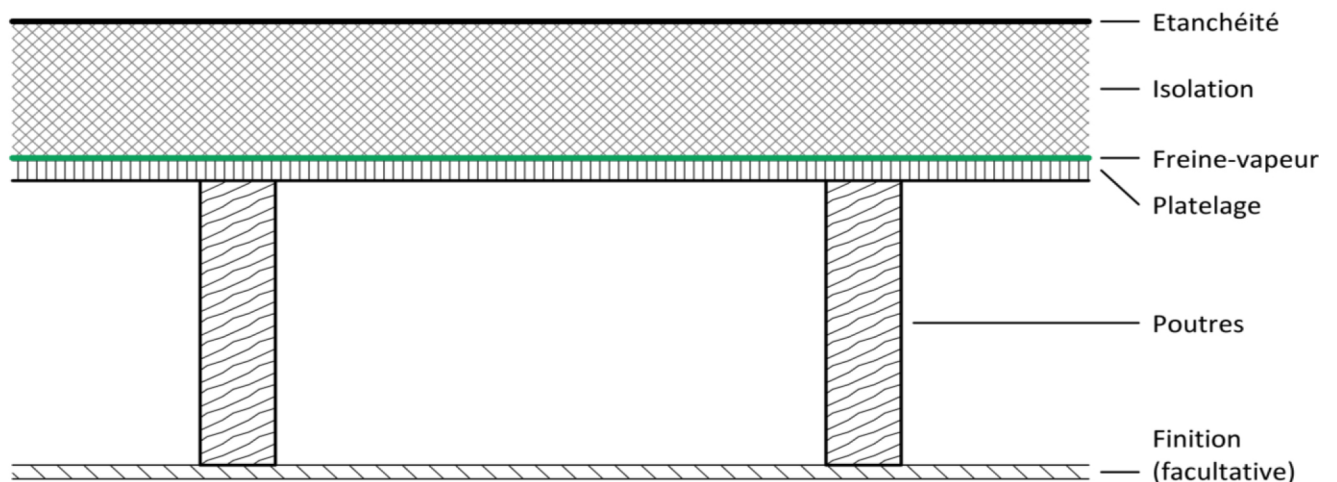


Schéma 1: Toiture chaude. Sur le plancher de toiture est posé un pare-vapeur, lequel supporte l'isolation et le revêtement de la toiture. Les avantages de la toiture chaude comportent le fait que le freine-vapeur peut être placé sur un support continu et qu'une trop grande teneur en humidité dans l'isolation ne peut pas facilement occasionner de dégâts dans la structure portante.

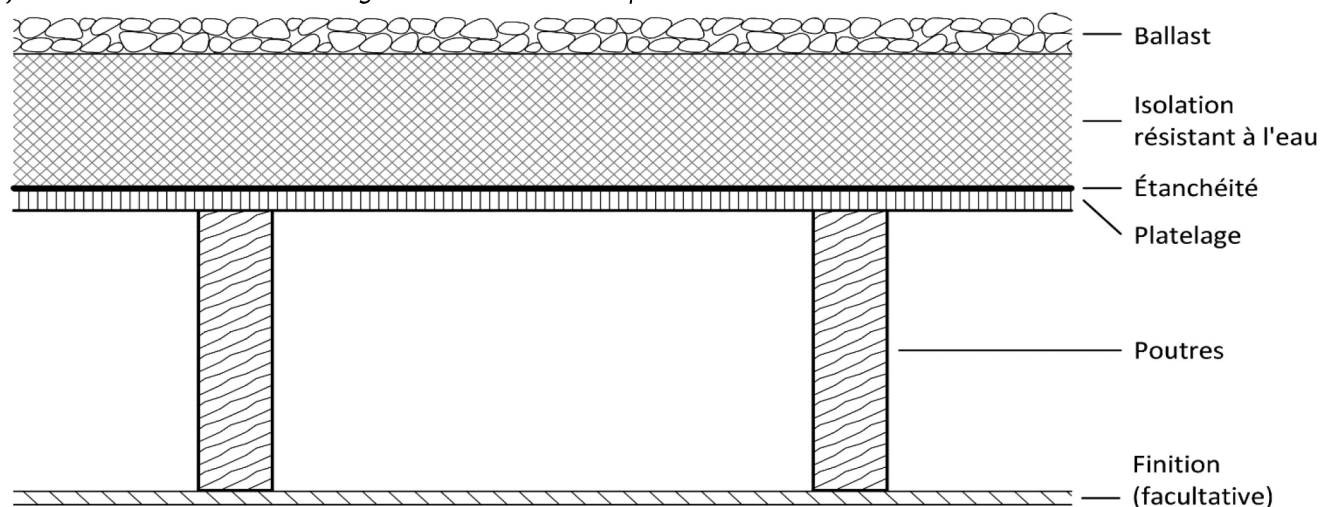


Schéma 2: Le toit inversé. Ce type de toit est principalement utilisé pour la rénovation. Ce type est moins efficace que la toiture chaude, parce que l'isolation peut être mouillée par la pluie.

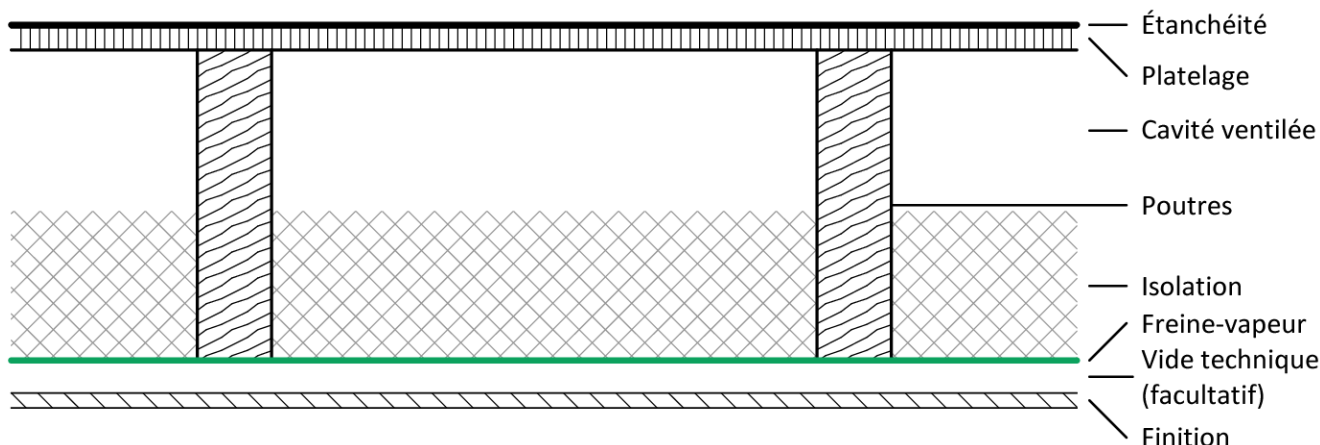


Schéma 3: La toiture froide : le freine-vapeur est placé sous la structure portante et l'isolation entre les poutres de support. Il y a un vide ventilé avec l'air extérieur entre l'isolation et le plancher de toiture. La toiture froide est fortement déconseillée en Belgique car ce type de toit a souvent mené par le passé à des dégâts aux bâtiments dus à la condensation contre le plancher de toiture.

Ce texte traite d'un **quatrième type** de construction de toiture plate : **la toiture compacte**.

La toiture compacte: principe de fonctionnement général

La toiture compacte est un quatrième type de toiture dans lequel le freine-vapeur est placé sous la structure portante en bois et où l'espace entre plancher de toit, freine-vapeur et poutres de support est entièrement rempli avec de l'isolant (voir schéma). Une différence importante avec la toiture froide réside dans le fait qu'il n'y a pas de vide (ventilé) entre le frein-vapeur et l'isolant. Par conséquent, il y aura moins facilement de convection d'air dans l'isolation.

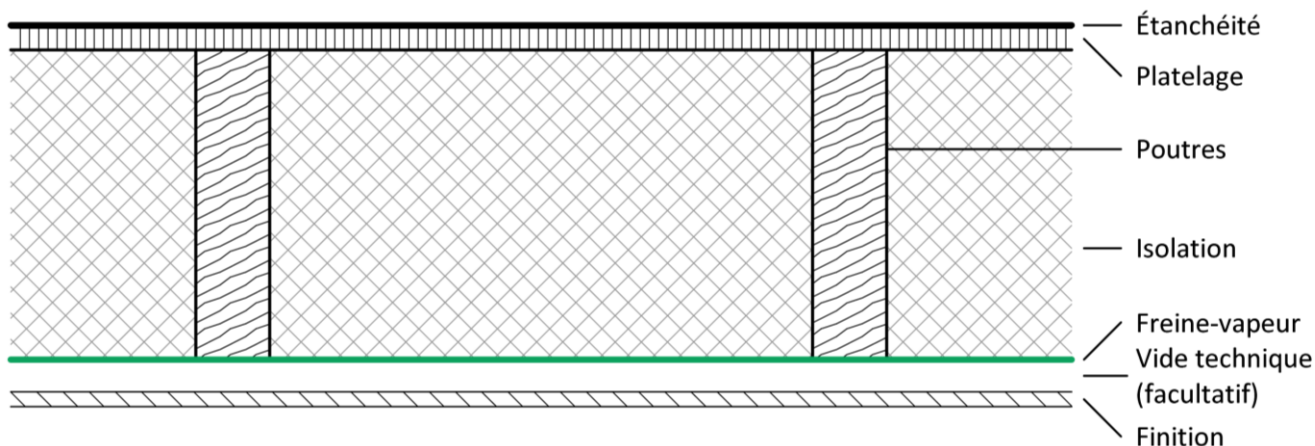


Schéma 4: La toiture compacte.

Pour comprendre comment ce toit se comporte avec l'humidité, on analyse l'alternance entre une situation d'hiver typique et une situation typique d'été.

En hiver il fait en général plus froid à l'extérieur qu'à l'intérieur. L'humidité présente dans le toit migre, en grande partie depuis le côté chaud inférieur de la construction vers l'extérieur froid du toit où elle s'accumule dans le plancher de toiture, la partie supérieure des poutres portantes en bois et éventuellement les couches extérieures de l'isolation quand celle-ci est hygroscopique. Ainsi la pression de vapeur du côté intérieur de l'isolation diminue, de sorte qu'il se forme une différence de pression de vapeur au-dessus du freine-vapeur, avec la plus grande pression dans le bas du freine-vapeur. Cela conduit à une diffusion de vapeur à travers le freine-vapeur, ce qui fera augmenter la quantité totale d'humidité dans le toit pendant l'hiver. Les sources indésirables d'humidité comme la convection d'air à travers les fuites d'air peuvent éventuellement impliquer que le taux d'humidité en hiver augmente encore.

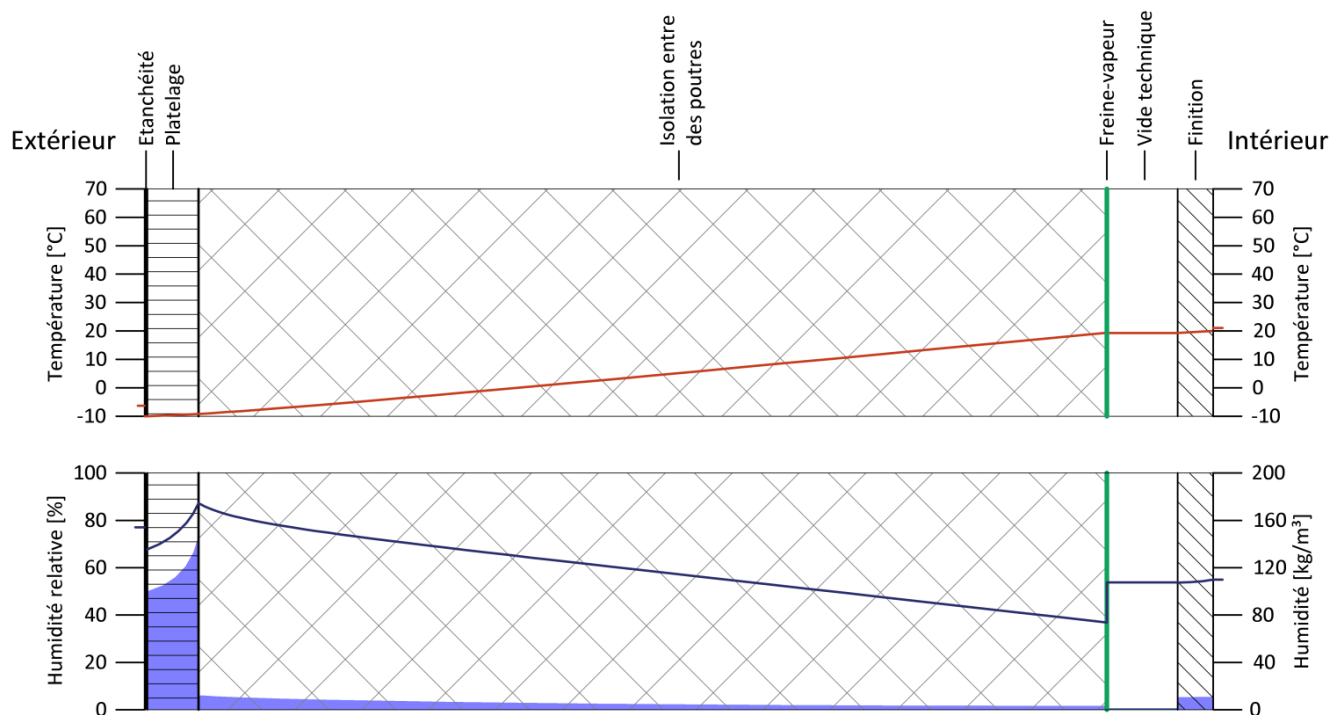


Schéma 5: Situation d'hiver typique durant la nuit dans une toiture compacte (schéma pivoté à 90°). Ligne rouge: température; ligne bleue: humidité relative; surfaces bleues: taux d'humidité locale.

Le rayonnement solaire pendant l'été peut entraîner une forte augmentation de la température superficielle du côté extérieur du toit. La tension de vapeur augmentera donc fortement dans la zone supérieure du toit, ainsi la majeure partie d'humidité accumulée dans le haut du toit durant l'hiver se libère et migre vers le côté inférieur de l'isolation. Cela provoque une plus grande pression sur la face supérieure du freine-vapeur que sur le côté inférieur. De cette manière, la diffusion de vapeur peut, à travers le freine-vapeur, sécher le toit sur la face inférieure.

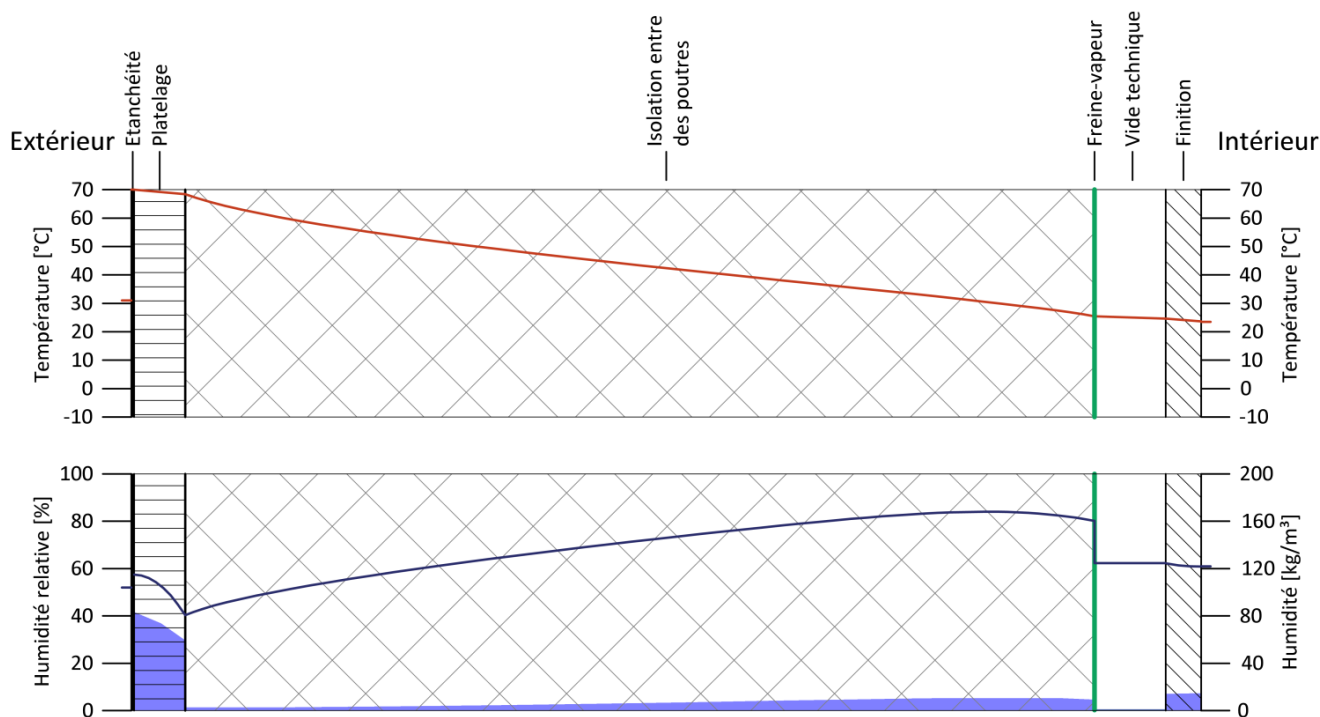


Schéma 6: Situation typique dans une toiture compacte pendant un jour d'été (schéma pivoté à 90°). Ligne rouge: température; ligne bleue: humidité relative; surfaces bleues: taux d'humidité locale.

Si l'assèchement estival du toit est aussi important que l'humidification hivernale et si pendant l'hiver le taux d'humidité local reste limité, il n'y a pas de problèmes d'humidité dus à une condensation interne dans cette structure de toit. En général, on peut obtenir plus facilement ce cas de figure en utilisant un freine-vapeur hygrovariable: une membrane qui augmente l'étanchéité à la vapeur au fur et à mesure que l'humidité relative diminue. Comme l'humidité relative de part et d'autre du freine-vapeur est en général plus basse en hiver qu'en été¹, le freine-vapeur aura une plus grande résistance en hiver qu'en été. En d'autres mots: pendant l'hiver, lorsque l'humidité essaye de s'infiltrer dans le toit, le freine-vapeur la retiendra en grande partie, tandis qu'en été il va s'ouvrir pour permettre l'assèchement du toit.

Avantages et inconvénients d'une toiture compacte

La toiture compacte comporte un nombre d'avantages et d'inconvénients par rapport à d'autres types de toitures:

Les principaux avantages :

- La toiture compacte est souvent de loin la solution la plus économique en rénovation et pour de petites surfaces (arrière-bâtiment en ville, toit mansardé ...).
- L'utilisation d'isolation non résistante à la compression permet la plupart du temps d'utiliser des matériaux moins chers.
- La hauteur totale de toit en cas d'épaisseurs d'isolation importantes peut être limitée par le placement de l'isolation entre ossature bois.
- Etant donné que la couche d'étanchéité à l'air du toit (freine-vapeur) se trouve en dessous de la structure du toit, celle-ci est plus facile à relier à la couche isolante du côté interne des murs extérieurs que dans le cas d'une toiture chaude, et ce souvent sans devoir utiliser de membranes d'attente.

Les principaux inconvénients :

- En ce qui concerne la régulation hygrométrique du toit, il existe un nombre de conditions préalables à remplir lorsque l'on choisit ce type de toiture (voir plus bas).
- Comme le freine-vapeur n'est pas posé sur une surface plane, le placement demande plus d'attention que pour une toiture chaude.

Règles à suivre lors de la construction d'une toiture compacte

Afin de s'assurer que le potentiel d'assèchement du toit soit suffisamment grand alors que l'humidification reste limitée, il faut suivre les règles suivantes lors de la construction d'une toiture plate:

1. Utiliser une couche d'étanchéité foncée avec un coefficient d'absorption α_{short} de minimum 80%² pour un rayonnement à ondes courtes.
2. Le toit doit être totalement ensoleillé³.
3. Prévoir une pente de toit de minimum 2% après une éventuelle déformation de la couche supérieure pour éviter la stagnation d'eau sur le plancher de toit. Le versant de toit ne peut toutefois pas dépasser 40° vers le nord, l'est ou l'ouest.
4. Veiller à ce que l'espace entre plancher de toit, freine-vapeur et poutres portantes soit complètement rempli d'isolant pour éviter une convection d'air indésirable. Toujours travailler avec une isolation ouverte à la vapeur.
5. Utiliser le freine-vapeur hygrovariable pro clima INTELLO ou INTELLO PLUS⁴. Cette membrane ne peut fonctionner correctement que si le parachèvement intérieur est suffisamment ouvert à la

¹L'air froid extérieur qui contient peu d'humidité en hiver, est réchauffé à l'intérieur de la maison, ce qui diminue l'humidité relative. Comme la différence de température entre intérieur et extérieur est moins grande en été, l'humidité relative dans la maison ne diverge pas forcément de l'humidité relative extérieure.

²Il est possible de dévier de cette règle dans le cas de toitures vertes.

³Il n'y a pas de directives spécifiques pour l'instant pour ce qui concerne les toitures partiellement ombragées.

⁴Dans certains cas, il est possible d'utiliser également les membranes d'étanchéité pro clima DB et DB+. Il faut employer alors uniquement du bois massif, pas de dérivés. Contactez ISOPROC pour plus d'information.

vapeur. Utiliser pour la finition intérieure des plaques de plâtre parachevées avec une peinture ouverte à la vapeur ou des planchettes en bois d'épaisseur maximale de 14 mm. L'utilisation de panneaux de bois aggloméré et OSB est absolument déconseillée cause de leur étanchéité à la vapeur, même si ils n'ont qu'une épaisseur de 8mm.

6. Eviter la convection d'air de l'environnement intérieur vers la construction de toiture en plaçant soigneusement une membrane pro clima INTELLO ou INTELLO PLUS et la relier avec la couche d'isolation à l'air des murs. La qualité du placement doit être contrôlée au moyen d'un test de pression (cf. test BlowerDoor) qui permet de déceler et d'obturer d'éventuelles fuites d'air.
7. Le taux d'humidité du bois ou de dérivés de bois utilisé dans la toiture ne peut excéder 15 ± 3 , respectivement 12 ± 3 pourcent de la masse.
8. Le climat intérieur ne peut pas être plus humide qu'un climat intérieur de classe 3⁵.

Directives pour l'amélioration de la sécurité hygrométrique.

En plus des obligations précédentes, quelques directives permettent d'améliorer encore la sécurité hygrométrique.

1. Essayer de maintenir la valeur μ_d de la membrane d'étanchéité à la pluie aussi basse que possible. Des membranes d'étanchéité d'une valeur μ_d de moins de 20m sont actuellement disponibles. Par contre il est désavantageux d'utiliser une étanchéité d'une valeur μ_d relativement basse en cas de toiture verte car il peut y avoir un transport d'humidité de l'environnement extérieur vers le toit.
2. Utiliser une isolation à insuffler plutôt qu'une isolation en matelas pour être certain que l'espace entre le plancher de toit, freine-vapeur et poutres portantes et calles de pente est entièrement rempli.
3. Prévoir un bon planning et une bonne coordination des travaux. Essayer éventuellement de travailler avec des éléments préfabriqués (y compris étanchéité du toit).
4. En hiver, il est important dans le cas de l'utilisation d'une isolation sous forme de matelas de poser le frein-vapeur immédiatement après le placement de l'isolation pour limiter l'accumulation d'humidité dans le plancher de toiture.
5. Limiter la section des bois entre plancher de toiture et frein-vapeur.
 - a. Placer éventuellement une isolation supplémentaire (ou une partie de l'isolation prévue entre le plancher de toiture et le pro clima INTELLO) en-dessous du freine-vapeur. Le toit séchera plus facilement si on limite la masse hygrométrique au-dessus du freine-vapeur. De plus, l'utilisation de l'interdépendance à la température du freine-vapeur est plus profitable et il y a moins de risques de perforation du freine-vapeur. Pour le climat intérieur de classe 2, on peut utiliser jusqu'à 1/3 de la valeur d'isolation totale en-dessous du freine-vapeur. Dans le cas de climat intérieur de classe 3, il faut limiter la valeur d'isolation sous le freine-vapeur à 1/4 de la valeur R totale.
 - b. Placer éventuellement une partie de l'isolation sur le plancher de toiture. L'effet obtenu sur la sécurité hygrométrique de la toiture n'est cependant pas toujours positif. Bien que d'une part, le plancher de toiture sera moins froid durant les mois d'hiver et accumulera donc moins d'humidité, d'autre part, la toiture séchera moins bien en été à cause de cette couche isolante supplémentaire. Pour les toitures ensoleillées avec une couche d'étanchéité sombre, ce second effet négatif pèsera plus lourdement que le premier effet positif cité lorsqu'il s'agit d'une couche isolante supplémentaire ajoutée à la toiture. Toutefois, s'il s'agit d'une partie de l'isolation déplacée de l'espace entre les poutres du toit vers le plancher de toiture (dont les poutres sont abaissées afin que l'espace entre le plancher de toiture et pro clima INTELLO soit complètement rempli avec l'isolation, on obtient souvent un effet positif net. Lorsque l'on pose une partie de l'isolation au-dessus du plancher de toiture, cette couche isolante doit avoir une valeur R d'au moins 1/5 de la valeur R de l'isolation entre plancher de toiture et freine-vapeur. Entre le plancher de toiture et la couche isolante supplémentaire, il faut placer un pare-vapeur d'une valeur μ_d égale ou supérieure à la valeur μ_d de la couche d'étanchéité.

⁵Voir NT 215 du CSTC pour une définition des classes des climats internes.

Ce pare-vapeur doit être relié hermétiquement à la couche d'étanchéité selon les règles de NT 215.

6. Relier le freine-vapeur hygrovariable à la couche d'étanchéité de façon hermétique (ou, dans le cas de 5b, d'un freine-vapeur) pour limiter encore plus le risque de convection d'air. Ceci exige généralement l'utilisation de membranes d'attente.

Toitures vertes et toitures avec couches de ballast

Si on combine une toiture compacte à une toiture verte ou une couche de ballast sur la membrane du toit, la température au niveau du plancher de toiture sera moins élevée, de sorte que le toit séchera moins bien en été. C'est pourquoi il faut prendre en considération les règles supplémentaires suivantes.

En règle générale

- Utilisation de toitures vertes et toitures avec couches de ballast uniquement pour les climats intérieurs de classe 1 et 2.
- L'épaisseur d'isolation entre le plancher de toiture et le freine-vapeur (y compris bombement) doit être limitée à 40cm.
- La pente de toit vers le nord doit être limitée à 3% ou 2°.
- Si possible, ne pas utiliser de matériau d'isolation naturel pour une isolation supplémentaire sur le plancher de toiture.

Règles spécifiques pour les toitures vertes

- Placer sur le plancher de toiture une couche isolante supplémentaire de valeur R égale à au moins 1/3 de la valeur R de l'isolation entre le plancher de toiture et le freine-vapeur. Entre le plancher de toiture et la couche isolante supplémentaire, il faut placer un pare-vapeur de valeur μ_d d'au moins 100m. Relier ce pare-vapeur hermétiquement avec l'étanchéité du toit.
- Limiter l'épaisseur de la couche de substrat de la toiture verte extensive à maximum 10cm. Les toitures vertes intensives ne sont pas d'application avec une toiture compacte. Une toiture plate chaude est cependant possible, suivant TV215, avec ajout d'isolation entre la structure portante de valeur R maximale égale à 1/2 de la valeur R de l'isolation au-dessus du plancher de toiture.

Règles spécifiques pour les toitures avec couches de ballast

- Il faut placer une couche isolante supplémentaire sur le plancher de toiture, de valeur R égale à au moins 1/5 de la valeur R de l'isolation entre frein-vapeur et plancher de toiture. Placer un pare-vapeur de valeur μ_d d'au moins 100m entre le plancher de toiture et la couche isolante supplémentaire. Relier ce pare-vapeur hermétiquement avec l'étanchéité du toit.
- L'épaisseur de la couche de ballast doit être limitée à 5cm maximum.
- La couche de ballast doit avoir un coefficient d'absorption pour un rayonnement à ondes courtes de α_{short} de minimum 0,5.

Toits en pente et murs verticaux avec un côté extérieur fermé à la vapeur

Certains toits en pente et murs verticaux sont également munis de couches extérieures extrêmement résistantes à la vapeur (par exemple une membrane synthétique comme membrane de sous-toiture).

- Quand un toit en pente est orienté vers le nord, il reçoit moins de soleil qu'un toit plat ensoleillé. C'est pourquoi il est important que la pente de toit ne dépasse pas 40° et l'épaisseur d'isolation pas plus grande que 40cm.
- L'ensoleillement des murs verticaux est encore moindre que pour les toits en pente. Outre les règles précédentes, il faut également s'assurer que la résistance de la diffusion de vapeur à l'extérieur ne

dépasse pas 2m pour l'utilisation de pro clima DB+ comme frein-vapeur, et 10m pour l'utilisation de pro clima INTELLLO ou INTELLLO PLUS comme freine-vapeur.

Evaluation d'une construction de toiture à l'aide de simulations hygrothermiques

Il n'est pas toujours possible de satisfaire à toutes les conditions préalables mentionnées ci-avant et on doit faire appel à des simulations hygrothermiques pour s'assurer de la sécurité de la construction. Bien que cette technique se soit fort développée ces dernières années et que les programmes de simulation hygrothermiques soient disponibles pour un large public, il faut être extrêmement prudent à leur emploi: il y a énormément de paramètres inconnus à entrer d'un côté, de l'autre il est souvent très difficile d'interpréter correctement les résultats finaux. Prenez éventuellement contact avec ISOPROC lorsque vous voulez faire appel à ce genre de simulations.

Questions complémentaires

Si vous avez d'autres questions, n'hésitez pas à nous contacter au +32 15 62 18 35 ou technical@isoproc.be.

Attention: Les informations délivrées ici sont basées sur l'état de connaissances actuel. ISOPROC et le fabricant de pro clima se réservent le droit de modifier les règles prescrites ici sans annonce préalable. Seule la dernière version peut être considérée comme valable. Ni ISOPROC ni pro clima ne peuvent être rendus responsables pour tout dégât occasionné par les conseils de tierces personnes.