

Chère lectrice, cher lecteur,

A nos yeux, le savoir est la clé du succès.

Le département Recherche & Développement de pro clima intègre sans cesse de nouvelles découvertes, dans le domaine de la physique du bâtiment et de la conception des matériaux.

La production bénéficie d'installations hyper-modernes et est soumise continuellement un contrôle qualité permanent. Notre équipe d'ingénieurs spécialisés dans la construction bois et le bâtiment dialogue en permanence avec nos partenaires et élabore, en collaboration avec les acteurs sur le terrain, de nouvelles solutions intelligentes.

Ce savoir est absolument indispensable pour relever les multiples défis que pro clima rencontre jour après jour.

Nous souhaitons partager notre savoir et savoir-faire avec vous ; c'est dans cet esprit que je vous invite aussi à participer à nos séminaires spécialisés alliant théorie et pratique, à assister à nos exposés et à consulter nos publications très variées.

Dans les pages qui suivent, nous avons réuni à votre intention le vaste SAVOIR et SAVOIR-FAIRE de pro clima. Celui-là même qui constitue la base de l'excellente qualité, de l'application fiable et intégrée ainsi que de la longévité de nos produits et systèmes. Ensemble, grâce à des solutions intelligentes, nous pouvons atteindre notre objectif commun : des structures d'isolation fiables et donc un climat intérieur sans moisissures, garantissant santé et confort d'habitation.



Lothar Moll
Directeur
Ing. dipl. en Technologie du bois
Recherche & Développement,
Production, Assurance qualité,
Export

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "L. Moll".

ETUDE

Calcul du potentiel de prévention des dégâts au bâtiment d'isolations thermiques dans les constructions en bois et en acier

– toits, murs, plafonds –

**Frein-vapeurs hygrovariables
pro clima DB+ et INTELLO
avec hygrorégulation intelligente**

Calcul de simulation par ordinateur du transport combiné de chaleur et d'humidité de constructions de toitures et de murs avec prise en compte des conditions climatiques naturelles et des transports de liquides au sein des matériaux

Prévention des dégâts au bâtiment d'isolations thermiques dans les constructions bois : une question de réserves de séchage et d'hygrorégulation intelligente

1.1 Vue d'ensemble et introduction

Notre étude décrit le calcul du potentiel de prévention des dégâts au bâtiment, la manière dont ceux-ci apparaissent dans les structures d'isolation thermique et

Physique de l'humidité de l'air

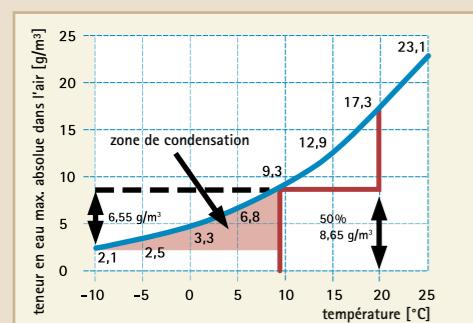
En se refroidissant, l'air augmente son taux d'humidité.

Lorsque la température descend en dessous du point de rosée, cette humidité se condense.

Lorsque le taux d'humidité de l'air ambiant est plus élevé, la température du point de rosée augmente.

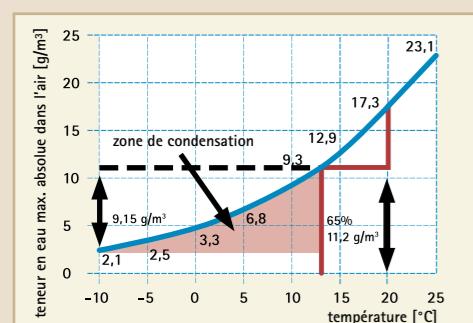
>>> La condensation se forme plus tôt.

Fig. 1
Physique de l'humidité de l'air à 50 % d'humidité relative de l'air



Dans des conditions climatiques standard (20 °C / 50 % d'humidité relative de l'air), le point de rosée est atteint à 9,2 °C. À -10 °C, la condensation est de 6,55 g/m³ d'air

Fig. 2
Physique de l'humidité de l'air à 65 % d'humidité relative de l'air



Lorsque le taux d'humidité de l'air ambiant est plus élevé, p. ex. à 65 %, le point de rosée est déjà atteint à 13,2 °C. À -10°C, la condensation est de 9,15 g/m³ d'air.

les moyens qui permettent de protéger efficacement les constructions contre ces dégâts.

Les dégâts au bâtiment apparaissent lorsque la charge d'humidité dans une construction est supérieure à sa capacité de séchage. Pour éviter les dégâts au bâtiment, on se concentre d'habitude sur la réduction de la charge d'humidité. Or, les constructions ne se laissent pas protéger complètement contre les influences de l'humidité.

Les charges d'humidité par diffusion qui sont prévisibles ne constituent pour ainsi dire jamais la cause des dégâts au bâtiment. Généralement, ces derniers sont dus aux charges d'humidité imprévisibles qui, en raison même de la construction, ne peuvent pas être totalement exclues.

Pour prévenir les dégâts au bâtiment et les moisissures, il faut donc se concentrer en priorité sur la capacité de séchage d'une construction.

Les constructions à forte capacité de séchage et à charge d'humidité réduite, comme celles qui permettent p. ex. les frein-vapeurs à valeur s_d variable, offrent une grande sécurité contre les dégâts au bâtiment, même en cas de charges d'humidité imprévisibles.

1.2 Condensation – point de rosée – quantité d'eau de condensation

Dans les constructions en bois et en acier, l'isolation thermique sépare l'air intérieur chaud, d'un taux d'humidité élevé, de l'air extérieur froid, d'une humidité absolue réduite. Lorsque de l'air ambiant chaud pénètre dans un élément de construction, cet air se refroidit au fil de son passage à travers la construction. Il peut y avoir alors condensation de l'humidité. La formation d'eau est due au comportement physique de l'air vis-à-vis de l'humidité : l'air chaud peut accumuler davantage d'humidité que l'air froid.

Lorsque le taux d'humidité relative de l'air est plus élevé (p. ex. 65 % dans les nouvelles constructions), la température du point de rosée augmente et, conséquence immédiate, aussi la quantité d'eau de condensation (cf. fig. 1 et 2).

De l'eau de condensation se forme à chaque fois qu'une couche d'un élément de construction plus étanche à la diffusion se trouve en dessous de la température du point de rosée. Autrement dit, les couches d'un élément de construc-

tion défavorables sont celles qui sont plus étanches à la diffusion sur le côté extérieur de l'isolation thermique que celles situées sur le côté intérieur. La situation est très problématique lorsque de l'air chaud peut pénétrer dans l'élément de construction par des flux de convection, c.-à-d. suite à des défauts d'étanchéité dans la couche d'étanchéité à l'air de l'élément de construction. Selon la norme EN ISO 13788, NBN EN ISO 13788, DIN 4108-3, les éléments de construction très ouverts à la diffusion sont ceux dont l'épaisseur de la couche d'air équivalente (valeur s_d) est inférieure à 0,50 m. La valeur s_d est définie comme le produit du coefficient de résistance à la diffusion de vapeur (coeff. μ) en tant que constante matérielle, et de l'épaisseur de l'élément de construction exprimée en mètres :

$$s_d = \mu \times \text{épaisseur [m]}$$

Une valeur s_d basse peut s'obtenir au moyen d'un coefficient μ bas avec une épaisseur de couche plus grande (p. ex. panneaux isolants en fibres de bois) ou d'un coefficient μ élevé avec une épaisseur de couche très réduite (p. ex. écrans de sous-toiture). La vapeur d'eau s'oriente d'abord d'après le coefficient μ , puis seulement d'après l'épaisseur de la couche du matériau de construction. Cela signifie que l'eau de condensation apparaît plus rapidement avec un coefficient μ plus élevé qu'avec un coefficient μ réduit. En outre, au niveau des écrans de sous-toiture, il y a seulement une petite différence de pression de vapeur, en raison de l'absence fréquente d'une différence de température et d'humidité.

Cela explique pourquoi les dégâts au bâtiment peuvent aussi apparaître avec des écrans de sous-toiture ouverts à la diffusion, lorsque le flux d'humidité est élevé dans l'élément de construction.

Les écrans de sous-toiture à membrane monolithique non poreuse, p. ex. SOLITEX UD, MENTO et PLUS, offrent ici des avantages, parce que la diffusion ne se fait pas passivement par les pores, mais activement le long des chaînes moléculaires.

La résistance à la diffusion de SOLITEX est variable. En cas de risque de condensation, elle tombe à moins de 0,02 m. L'écran permet alors un transport d'humidité extrêmement rapide et actif et protège idéalement la construction de la condensation et des moisissures.

Une fois que de l'eau s'est formée dans

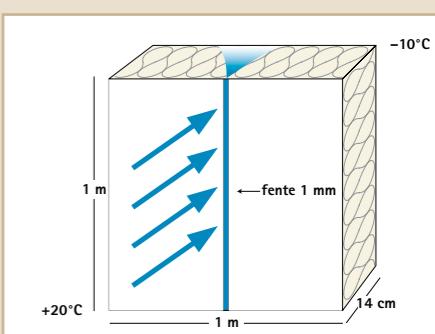
la construction, le climat froid de l'hiver peut occasionner la formation de givre voire de glace sur la sous-face de l'écran de sous-toiture. L'eau et la glace sont imperméables à la vapeur d'eau et transforment alors la face extérieure d'un écran de sous-toiture en pare-vapeur. Les constructions qui présentent à l'extérieur une couche qui freine voire empêche la diffusion, sont plus critiques en termes de physique du bâtiment que des couches d'élément de construction ouvertes à la diffusion vers l'extérieur. Parmi les constructions étanches à la diffusion, citons notamment les toits à forte pente avec sous-couverture pare-vapeur (p. ex. des bandes bitumées), les toits à couverture en tôle, les toits plats et les toits verts. Au niveau de la couche étanche à la diffusion, l'humidité s'accumule dans la construction, entraînant l'apparition d'eau de condensation.

1.3.1 Charge d'humidité par diffusion

Jadis, on pensait que moins l'humidité pouvait pénétrer dans une construction, plus le risque de dégâts au bâtiment était faible. Autrement dit, des pare-vapeurs très épais empêchaient les dégâts au bâtiment. Or, la réalité est différente, comme l'ont déjà montré, il y a plus de quinze ans, des calculs de physique du bâtiment, lors de la commercialisation de la membrane pro clima DB+, avec une valeur s_d de 2,30 m. En outre, des analyses effectuées en 1999 [1] sur des murs extérieurs en Amérique du Nord montrent que même en cas de pose par un professionnel, l'apport d'humidité à travers un pare-vapeur occasionne une condensation d'environ 250 g/m² par période de condensation, à cause de la convection. Cela correspond à une quantité d'eau de condensation qui est diffusée à travers un frein-vapeur avec une valeur s_d de 3,3 m durant un hiver [2].

Apport d'humidité dans la construction dû à des défauts d'étanchéité dans le frein-vapeur

Fig. 3
Quantité d'humidité apportée par convection



Conclusion :

Même dans les constructions avec pare-vapeurs dont les valeurs s_d théoriques s'élèvent à 50 m, 100 m ou davantage, il y a finalement aussi formation de quantités d'humidité considérables. Mais les pare-vapeurs ne permettent aucune évaporation. D'où l'apparition de pièges à humidité.

1.3.2 Charge d'humidité par convection

Les quantités d'humidité transportées dans la construction par convection, donc par flux d'air, sont sensiblement plus grandes que par diffusion.

La quantité d'humidité apportée par convection peut facilement être mille fois supérieure à celle apportée par diffusion (cf. fig. 3).

Un apport d'humidité par convection cause rapidement des dégâts au bâtiment dans les constructions dotées de couches étanches à la diffusion sur le côté extérieur.

Mais en raison de leur grande charge d'humidité, les quantités d'humidité apportées par convection peuvent aussi devenir dangereuses pour des éléments de construction ouverts à la diffusion à l'extérieur, surtout lorsque de l'eau de condensation s'y est formée.

Transport d'humidité
par frein-vapeur : 0,5 g/m² x 24 h
par fente de 1 mm : 800 g/m x 24 h

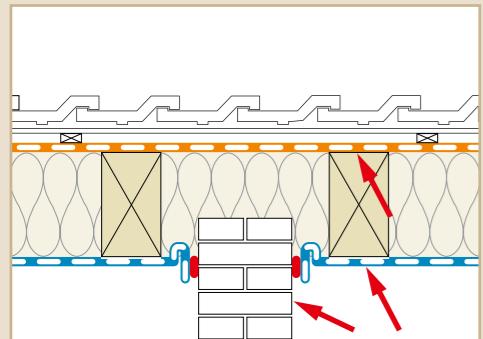
Facteur d'augmentation : 1 600

Conditions aux limites :
Frein-vapeur valeur s_d = 30 m
Température intérieure = +20 °C
Température extérieure = -10 °C
Différence de pression = 20 Pa
selon vent de force 2 à 3

Mesures : Institut für Bauphysik, Stuttgart [3]

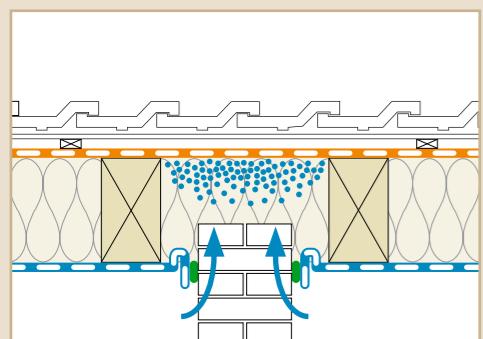
Diffusion latérale

Fig. 4
Dégâts au bâtiment :
apport d'humidité malgré
l'étanchéité à l'air du raccord et
l'utilisation d'un pare-vapeur



Construction étanche à l'air avec film PE et enduit étanche à l'air, bande bitumée de sous-toiture à l'extérieur

Fig. 5
Cause de l'apport d'humidité :
transport de l'humidité par le côté,
ici par le mur



Apport d'humidité par diffusion latérale par le mur adjacent

1.3.3 Humidité due à la construction même - diffusion latérale

Dans la pratique, on a découvert des dégâts au bâtiment qui ne s'expliquaient pas exclusivement par les processus de diffusion et de convection. Ruhe [4] et Klopfer [5], [6] ont attiré respectivement en 1995 et 1997 l'attention sur le problème de la diffusion latérale, en cas de dégâts au bâtiment.

La structure : toiture, voligeage avec écran de sous-toiture bitumé sur la face extérieure, film synthétique en polyéthylène (PE) sur la face intérieure, laine minérale entre les deux. Malgré une étanchéité parfaite à l'air, de l'eau gouttait en été au niveau des raccords de la membrane, sur les éléments de construction inférieurs adjacents. Dans un premier temps, on a supposé que c'était dû à l'humidité accrue générée par la mise en oeuvre de certains matériaux. Comme la quantité de gouttes d'eau augmentait d'année en année, ce facteur devait être exclu. Au bout de cinq ans, on décida d'ouvrir le toit. Le voligeage avait déjà pourri en grande partie.

La discussion porta alors sur l'apport d'humidité par diffusion latérale : de l'humidité pénètre dans le toit par les côtés du raccord latéral d'étanchéité à l'air, en l'occurrence par un mur de briques poreux. Le flux d'humidité contourne pour ainsi dire le film en PE (cf. fig. 4 et 5). Au début, les faits firent l'objet d'une discussion controversée parmi les physiciens du bâtiment, jusqu'à ce qu'en 1997, Künzel [7] démontre la diffusion latérale par des calculs du transport bidimensionnel de la chaleur et de l'humidité à l'aide du logiciel WUFI 2D [8]. D'après ses calculs, l'humidité du bois au-dessus du mur de briques était montée à env. 20 % après un an, dépassant donc déjà la limite critique pour les moisissures, avant de grimper à 40 % après trois ans et à 50 % après cinq ans.

1.3.4 Apport d'humidité important par les matériaux de construction

Lorsque des matériaux de construction sont mis en oeuvre avec un taux d'humidité accru, il faut, pour préserver la construction, que cette humidité puisse

à nouveau s'évaporer. Même si de nos jours, l'utilisation de bois de construction sec s'est imposée, rien n'empêche une averse d'en augmenter l'humidité.

Concrètement, cela signifie qu'un toit avec des chevrons de 8/18 espacés de $e = 0,70$ m comporte, par m^2 de couverture, 1,5 mètres courants de chevrons. A un taux d'humidité de 10 %, cette partie de chevrons contient environ 1,1 litres d'eau.

En d'autres termes, si l'humidité du bois est de 30 % au début, il faut, pour rester en-deçà du seuil critique de 20% d'humidité pour les moisissures, pouvoir sécher 1,1 litres d'eau par m^2 de couverture.

Cet exemple de calcul s'applique aussi à un voligeage de 20 mm d'épaisseur. A un taux d'humidité du bois de 10 %, celui-ci contient environ 1,2 litres d'eau au m^2 . A 30 % d'humidité relative au départ (qui n'est pas rare après un jour de pluie), il faut que 1,2 litres d'eau s'évaporent par m^2 de couverture, pour rester en-deçà de la limite de moisissure. En additionnant chevrons et voligeage, cela fait environ 2,3 litres par m^2 de couverture.

La quantité totale d'humidité est souvent sous-estimée. Dans la construction en dur, l'humidité contenue dans le nouvel ouvrage peut contribuer à augmenter fortement cette quantité. Si un film en PE étanche à la diffusion se trouve alors sur le côté intérieur et un écran de sous-toiture bitumé sur le côté extérieur, des dégâts au bâtiment risquent d'apparaître rapidement.

1.3.5 Résumé des charges d'humidité

Les nombreuses possibilités d'apport en humidité montrent que dans le bâtiment, la charge d'humidité d'une construction n'est jamais à exclure. Lorsqu'il s'agit de construire sans occasionner de dégâts et de moisissures, l'augmentation des réserves de séchage constitue une solution nettement plus efficace et plus sûre que la concentration sur une réduction maximale de la pénétration d'humidité dans la construction.

Hygrorégulation intelligente

Formule de sécurité :

Capacité de séchage > charge d'humidité

=> prévention des dégâts au bâtiment

Des dégâts au bâtiment peuvent seulement apparaître lorsque la capacité de séchage est inférieure à la charge d'humidité.

„Plus la réserve de séchage d'une construction est grande, plus la charge d'humidité imprévisible peut être élevée, tout en préservant la construction de dégâts au bâtiment.“

Les constructions qui sont ouvertes à la diffusion à l'extérieur possèdent une plus grande réserve de séchage que les constructions étanches à la diffusion à l'extérieur.

Frein-vapeurs "intelligents"

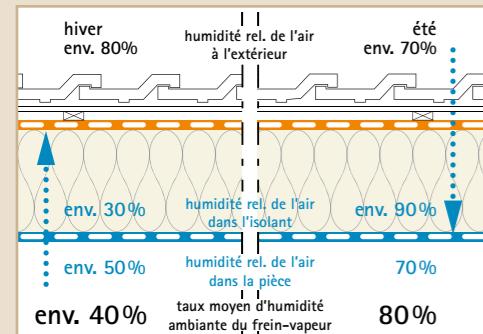
Comportement de l'humidité dans la construction

Le flux de diffusion va toujours du chaud vers le froid. Conséquence :

En hiver :
humidité accrue sur le côté extérieur

En été :
humidité accrue sur le côté intérieur

Fig. 6
Principe de fonctionnement des membranes hygrovariables



Représentation des taux d'humidité relative de l'air au niveau du frein-vapeur, selon la saison

Humidité ambiante autour du frein-vapeur

- en hiver, dans une zone avec une humidité de l'air réduite :
 - > le frein-vapeur hygrovariable est plus étanche à la diffusion
- en été, dans une zone avec une humidité de l'air élevée :
 - > le frein-vapeur hygrovariable est plus ouvert à la diffusion

Fig. 7
Flux de diffusion des frein-vapeurs hygrovariables pro clima

Flux de diffusion	Valeur W_{dp} en g/m^2 par semaine	
Sens de diffusion	en hiver	en été
DB+	28	175
INTELLO	7	560

2.1 Séchage de la construction vers l'intérieur

Vers l'intérieur, une autre possibilité de séchage déterminante s'offre à l'élément de construction : à chaque fois que la température extérieure de l'isolation est supérieure à sa température intérieure, le flux de diffusion s'inverse : l'humidité présente dans l'élément de construction migre vers le côté intérieur. C'est déjà le cas durant les jours ensoleillés au printemps et en automne et plus fortement encore pendant les mois d'été.

Si une couche frein-vapeur et d'étanchéité à l'air était alors ouverte à la diffusion, l'humidité éventuellement présente dans la construction pourrait s'évaporer et sécher vers l'intérieur. Mais en hiver, un frein-vapeur ouvert à la diffusion laisserait diffuser trop d'humidité dans la construction et causerait ainsi des dégâts au bâtiment.

Avec l'utilisation de pare-vapeurs, la construction semble a priori protégée contre l'humidité. Cependant, s'il y a un apport d'humidité par convection, diffusion latérale ou des matériaux de construction très humides, un séchage ultérieur vers l'intérieur en été n'est pas possible. Le pare-vapeur devient alors rapidement un piège à humidité.

La solution idéale est un frein-vapeur avec une résistance à la diffusion forte en hiver et faible en été. Cela fait maintenant plusieurs années que ces frein-vapeurs "intelligents", à valeur s_d hygrovariable, ont parfaitement fait leurs preuves. Ils modifient leur résistance à la diffusion selon l'humidité relative de l'air ambiant.

Ainsi, par climat hivernal, ils sont plus étanches à la diffusion et protègent la construction de l'humidité. Par climat estival, ils sont plus ouverts à la diffusion et permettent un séchage vers l'extérieur de l'humidité éventuellement présente dans la construction.

2.2 Fonctionnement de la résistance hygrovariable à la diffusion

La direction du flux de diffusion est déterminée par le gradient de la pression partielle de la vapeur d'eau. Cette pression dépend de la température et du taux d'humidité de l'air à l'intérieur et

ou l'extérieur d'un bâtiment. Si pour simplifier, on considère seulement la température, on constate que l'humidité passe du côté chaud vers le côté froid. En hiver, de l'intérieur vers l'extérieur ; en été, de l'extérieur vers l'intérieur.

Des mesures prises dans des toits ont montré que par climat hivernal, le frein-vapeur se situe dans une humidité ambiante moyenne d'environ 40 %, en raison du transport de l'humidité présente dans l'aire des chevrons, et dans l'aire des chevrons, et de l'eau de condensation peut même s'y former (cf. fig. 6).

Les frein-vapeurs à résistance hygrovariable à la diffusion sont plus étanches à la diffusion dans un environnement sec et plus ouverts à la diffusion dans un environnement humide.

Depuis 1991, la membrane pro clima DB+ a été posée sur des millions de m^2 et a parfaitement fait ses preuves. Sa résistance à la diffusion peut varier entre 0,6 et 4 m.

En 2004, la société MOLL bau-ökologische Produkte GmbH a développé le frein-vapeur haute performance pro clima INTELLO. Avec une fourchette comprise entre 0,25 m et plus de 10 m, INTELLO a une résistance hygrovariable à la diffusion particulièrement élevée et efficace dans toutes les zones climatiques (cf. fig. 9).

2.2.1 Grande résistance à la diffusion en hiver

La résistance à la diffusion du frein-vapeur INTELLO a été réglée de manière à ce que par climat hivernal, il puisse avoir une valeur s_d supérieure à 10 m. Résultat : en hiver, lorsque la pression d'humidité sur la construction est la plus forte, le frein-vapeur ne laisse pénétrer presque pas d'humidité dans l'élément de construction.

Cela vaut également dans des conditions climatiques extrêmes, comme en haute montagne, où l'hiver peut être très froid et très long. Mais aussi dans les toits plats ouverts, les toits dotés d'une sous-toiture étanche à la diffusion (p. ex. les bandes

bitumées) et les toits avec couverture en tôle, la construction bénéficie d'une protection efficace contre l'humidité de l'air ambiant.

La valeur s_d élevée constitue également un avantage dans les toits ouverts à la diffusion à l'extérieur, lorsqu'il s'agit d'empêcher la formation de givre et de glace (effet pare-vapeur) sur un écran de sous-toiture ouvert à la diffusion (cf. fig. 9).

2.2.2 Faible résistance à la diffusion en été

Par climat estival, la résistance à la diffusion peut tomber à une valeur s_d de 0,25 m. Résultat : un séchage rapide vers l'intérieur de l'humidité éventuellement présente dans la construction. Selon la hauteur du gradient de la pression de la vapeur, cela correspond à une capacité de séchage de 5 à 12 g/m^2 de H_2O par heure, soit env. 80 g/m^2 de H_2O par jour ou 560 g/m^2 de H_2O par semaine (cf. fig. 7).

Grâce à cette grande capacité de séchage, les compartiments d'un élément de construction sèchent rapidement dès le printemps. Les frein-vapeurs qui présentent des valeurs s_d supérieures à 1 m en milieu humide, n'offrent pas de sécurité supplémentaire significative.

2.2.3 Profil de diffusion équilibré

A une époque où les étanchéités à l'air s'améliorent et s'accompagnent de taux d'humidité de l'air plus élevés dans les nouvelles constructions en dur, la résistance à la diffusion joue un rôle important en cas d'augmentation de l'humidité relative de l'air.

2.2.3.1 Nouvelles constructions : la règle 60/2

Dans les nouvelles constructions et les pièces humides (salles de bain, cuisines), le taux d'humidité ambiant grimpe facilement à env. 70 %, sous l'effet conjugué des travaux réalisés et de l'occupation de l'habitation. La résistance à la diffusion d'un frein-vapeur devrait être réglée de manière à atteindre une résistance à la diffusion d'au moins 2 m à ce taux d'humidité, afin de protéger suffisamment la construction contre l'apport d'humidité par l'air ambiant et donc la formation de moisissures.

A un taux d'humidité moyen de 60 % (70 % d'humidité de l'air ambiant et 50 % d'humidité au niveau de l'isolation thermique), INTELLO a une valeur s_d d'environ 4 m (cf. fig. 10).

2.2.3.2 Phase de construction : la règle 70/1,5

Durant la phase de construction, lors de l'application d'un enduit ou la réalisation d'une chape, il règne dans le bâtiment un taux d'humidité de l'air très élevé, parfois supérieur à 90 %.

La valeur s_d d'un frein-vapeur devrait alors dépasser 1,5 m, afin de protéger la construction contre un apport d'humidité trop élevé par le climat du chantier. A un taux d'humidité moyen de 70 % (90 % d'humidité de l'air ambiant et 50 % dans la couche d'isolation thermique), INTELLO a une valeur s_d de 2 m. La persistance d'un taux d'humidité excessif de l'air ambiant pendant la phase de construction nuit à tous les éléments de construction du bâtiment et y provoque une accumulation de l'humidité qui devrait pouvoir s'échapper en continu de l'ouvrage, par ventilation au niveau des fenêtres. Des déshumidificateurs de chantier accélèrent le séchage (cf. fig. 10).

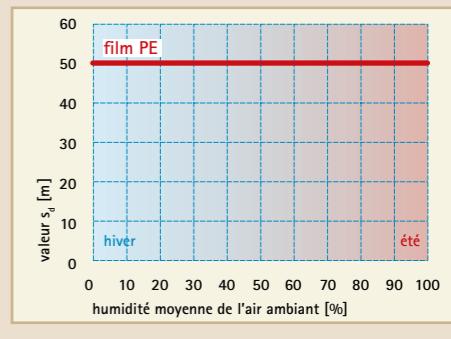
2.2.4 Sécurité maximale

Le comportement "intelligent" des frein-vapeurs hygrovariables pro clima rend les structures d'isolation thermique très sûres, même en cas d'apport d'humidité imprévu dans la construction, p. ex. en raison de conditions climatiques défavorables, de défauts d'étanchéité, d'une diffusion latérale ou d'une humidité accrue due à la mise en œuvre de bois de construction ou de matériaux isolants. Ils agissent comme une pompe qui extrait activement de l'élément de construction, l'humidité qui s'y trouve éventuellement de manière imprévue.

Courbes de diffusion des frein-vapeurs

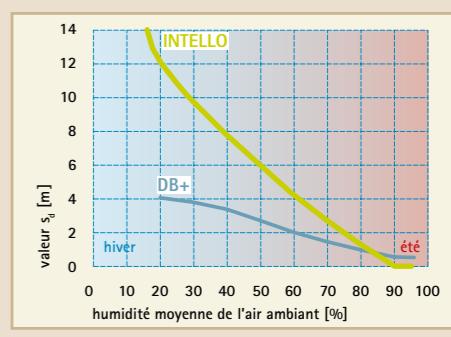
Plus la variabilité de la résistance à la diffusion est étendue entre l'hiver et l'été, plus la sécurité offerte par le frein-vapeur est grande.

Fig. 8
Comportement de la valeur s_d avec un film en PE



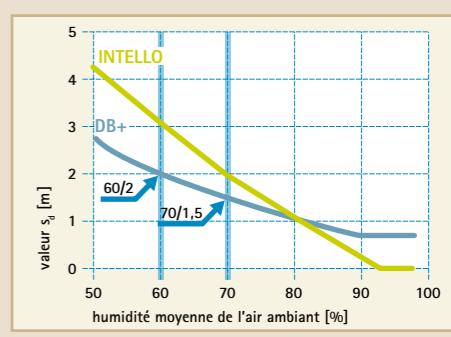
Film en PE : aucune hygrovariabilité

Fig. 9
Comportement de la valeur s_d avec les frein-vapeurs pro clima



DB+ : hygrovariabilité moyenne
INTELLO : hygrovariabilité importante

Fig. 10
Nouvelle construction et phase des travaux : règles 60/2 et 70/1,5



Valeurs s_d minimales recommandées durant la phase des travaux, en cas d'humidité apportée par la nouvelle construction et dans les pièces humides des habitations

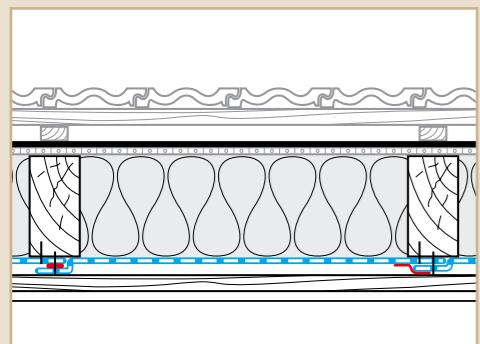
Détermination du potentiel de sécurité d'une construction de toiture

3.1 Calcul des flux d'humidité selon différentes méthodes

Pour calculer les charges d'humidité au sein d'éléments de construction, il existe des méthodes statiques et dynamiques. Actuellement, la norme autorise, en règle générale, uniquement les méthodes de calcul statique. Les comportements des matériaux, comme la capillarité et la capacité de sorption, sont seulement pris en compte par les méthodes dynamiques qui n'ont pas encore été intégrées à la pratique normative générale.

Evaluation de constructions de toitures selon la physique du bâtiment

Fig. 11
Structure de la construction de toiture



Couches de l'élément de construction :

- étanche à la diffusion à l'extérieur (écran de sous-toiture bitumé ; $s_d = 300$ m)
- voligeage en bois massif 24 mm
- isolant en fibre
- frein-vapeurs à valeurs s_d variables
- niveau d'installation
- plaques placoplâtre

Variantes de toiture étudiées :

- toit à forte pente (40°) orienté au nord, couverture de tuiles rouges
- toit plat avec couche de gravier de 5 cm
- toit vert avec couche de gravier de 5 cm (18/32) et 8 cm de substrat végétal de culture extensive

3.1.1 Calcul selon Glaser, DIN EN ISO 13 788

Les normes DIN 4108-3 [9] et DIN EN ISO 13 788 continuent à recourir à la méthode Glaser. Celle-ci calcule les quantités de condensat occasionnées dans des constructions dans l'hypothèse d'un climat hivernal et d'un climat estival considérés tous deux comme statiques :

Conditions limites selon EN ISO 13788, NBN EN ISO 13788, DIN 4108-3 : méthode Glaser (statique)

hiver (durée 60 jours)

intérieur : +20 °C / 50 % d'hum. rel.
extérieur : -10 °C / 80 % d'hum. rel.

été (durée 90 jours)

intérieur : +12 °C / 70 % d'hum. rel.
extérieur : +12 °C / 70 % d'hum. rel.

3.1.2 Calcul des transports combinés de chaleur et d'humidité dans des conditions climatiques naturelles

La méthode Glaser est une bonne approche pour l'évaluation de constructions, mais elle ne correspond pas à la réalité. D'une part, les données climatiques statiques divergent du climat réel ; d'autre part, la méthode ignore d'importants mécanismes de transport, comme la sorption et la capillarité. C'est pourquoi la norme EN ISO 13788, NBN EN ISO 13788, DIN 4108-3 [9] spécifie que cette méthode ne convient pas pour garantir l'absence de dégâts au bâtiment pour les toits verts où il faut utiliser des méthodes de simulation non statiques. Parmi les solutions logicielles connues, citons Delphin l'Institut de génie climatique du bâtiment (Institut für Bauklimatik) à Dresde et WUFI pro [10] de l'Institut de physique du bâtiment (Fraunhofer Institut für Bauphysik) à Holzkirchen.

Ces logiciels calculent le transport combiné de chaleur et d'humidité dans des éléments de construction multicouches en fonction des conditions climatiques naturelles, en prenant en compte également la température et le taux d'humidité, l'absorption de lumière du soleil, le vent, le froid dû à l'évaporation ainsi que la sorption et capillarité des matériaux de construction. La validation de ces logiciels a été confirmée à plusieurs

reprises, grâce à la comparaison des résultats des calculs avec des essais en plein air. Pour ce faire, il faut disposer des données météorologiques correspondantes d'une année, sous forme de valeurs horaires. Des données climatiques relevées par plusieurs milliers de stations météorologiques du monde entier sont ainsi disponibles. Elles concernent à la fois des zones climatiques tempérées et extrêmes.

Pour les calculs de simulation, l'élément de construction est encodé dans le logiciel avec la succession de ses couches, puis analysé sur plusieurs années. Cette analyse permet alors de déterminer si de l'humidité s'accumule dans l'élément de construction, c.-à-d. si le taux d'humidité total de la construction augmente sur la durée considérée, ou si l'élément de construction reste sec. Cette méthode ne permet cependant pas de cerner l'ampleur des réserves de séchage d'une construction.

3.2 Calcul du potentiel de prévention des dégâts au bâtiment

Pour déterminer le degré de sécurité d'une construction en cas d'apport d'humidité imprévu (p. ex. par convection ou diffusion latérale), on procède comme suit : au début du calcul, on définit l'apport d'une certaine quantité d'humidité dans l'isolation thermique. Le logiciel indique à quelle vitesse celle-ci s'évapore par la suite. La quantité d'humidité qui s'évapore de la construction par an, dans l'hypothèse d'une augmentation de l'humidité initiale, correspond à son potentiel de prévention des dégâts au bâtiment. Les calculs portent sur des conditions défavorables (p. ex. versant nord d'un toit à forte pente), dans différentes zones climatiques (p. ex. haute montagne) et avec différents types de toit (en pente, plat, vert). Les constructions favorables en termes de physique du bâtiment offrent de meilleures garanties.

3.2.1 Définition du potentiel de prévention des dégâts au bâtiment

Le potentiel de prévention des dégâts indique quelle quantité d'humidité imprévue peut pénétrer dans une construction en raison de défauts d'étanchéité, d'une diffusion latérale ou de matériaux de construction

humides sans y causer des dégâts ou des moisissures.

3.2.2 Toiture

L'étude porte sur une construction considérée comme critique en termes de physique du bâtiment et déclinée en plusieurs variantes de toitures. Les emplacements et frein-vapeurs varient également.

Structure de la construction : (cf. fig. 11 à gauche)

Frein-vapeurs :	valeur s_d :
- film PE	50 m constante
- frein-vapeur	2,3 m constante
- pro clima DB+	0,6 à 4 m hygrovariable
- pro clima INTELLO	0,25 à 10 m hygrovariable

Variantes de toitures :

- toit à forte pente (40°) orienté au nord, tuiles rouges
- toit plat avec 5 cm de gravier
- toit vert avec 5 cm de gravier (18/32) et 8 cm de substrat végétal

Emplacements :

- Paris, France, altitude = 42 m resp.
Bruxelles, Belgique, altitude = 70 m
- Davos, Suisse, altitude = 1 560 m

Calcul :

- avec WUFI pro [10]
- humidité initiale dans l'isolation thermique 4 000 g/m²

3.2.3 Facteurs d'influence sur le niveau du potentiel de prévention des dégâts au bâtiment

Une donnée essentielle pour la prévention des dégâts au bâtiment et des moisissures est la possibilité de rediffusion en été et, par conséquent, de séchage de la construction vers l'intérieur. Son niveau dépend de la température extérieure et plus précisément de la température sur le côté extérieur de l'isolation thermique. En raison de l'ensevelissement, la température de la surface de la toiture et/ou des murs est supérieure à celle de l'air. Le temps mis par la chaleur extérieure pour atteindre l'isolation thermique est déterminant. Dans le cas d'un toit à forte pente, ce délai est plus court que dans le cas d'un toit plat ou vert.

Dans le cas d'un toit à forte pente, le niveau de la température de la surface de toiture dépend de la pente du toit, de son orientation (nord/sud) et de la couleur de sa couverture (claire/foncé).

Les facteurs défavorables sont :

- une orientation au nord
- une pente forte (> 25°)
- une couverture de couleur claire
- une sous-toiture étanche à la diffusion
- un climat froid, p. ex. en haute montagne

Evolution des températures à Paris, altitude : 42 m, France
Bruxelles, altitude : 70 m, Belgique
couverture : tuiles rouges ou gravier

Fig. 12 Température de l'air

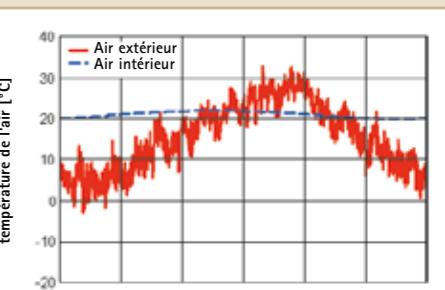


Fig. 13 Température à la surface du toit, versant nord, pente 40°

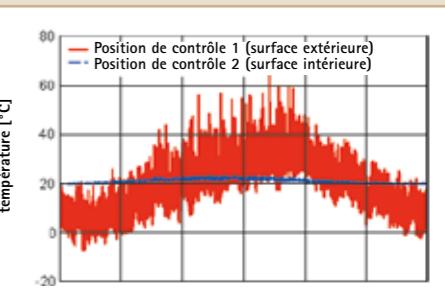


Fig. 14 Température à la surface du toit, versant sud, pente 40°

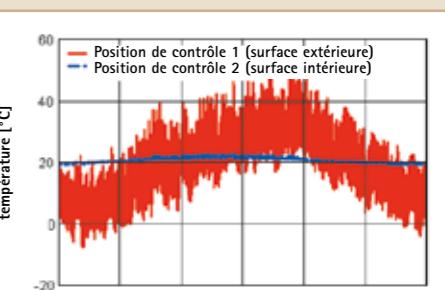
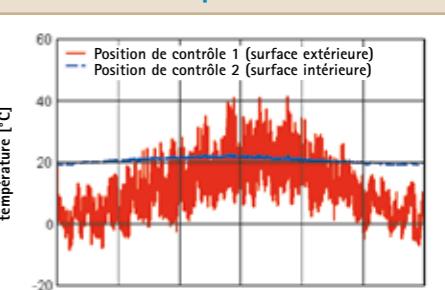


Fig. 15 Température à la surface du toit, toit plat



Calcul du potentiel de prévention des dégâts au bâtiment à Paris/Bruxelles, toiture

Humidité initiale supplémentaire supposée : 4 000 g/m²
Taux d'humidité de la construction à l'état sec (= taux d'humidité du voligeage à 15 %) : 1 700 g/m²

Fig. 16 Potentiel de prévention des dégâts au bâtiment, toit à forte pente, versant nord, pente du toit 40°

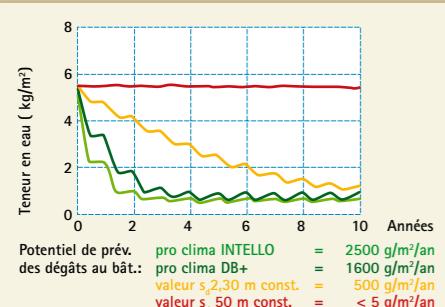


Fig. 17 Potentiel de prévention des dégâts au bâtiment, toit vert avec 13 cm de terre/gravier

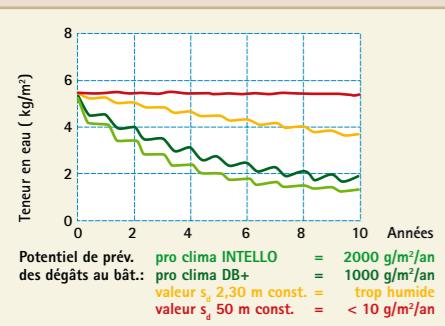
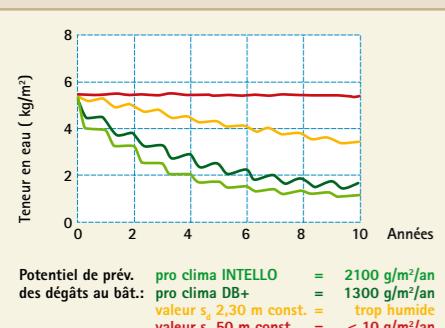


Fig. 18 Potentiel de prévention des dégâts au bâtiment, toit plat avec 5 cm de gravier



3.2.5 Potentiel de sécurité d'un toit à forte pente à Paris/Bruxelles, versant nord, pente du toit 40°

La vitesse de séchage de l'humidité initiale supplémentaire supposée définit le potentiel de prévention de dégâts au bâtiment de la construction en cas d'humidité imprévue (convection, diffusion latérale, etc.). Le calcul montre que le film en PE ne permet pas de séchage. L'humidité présente dans la construction ne peut plus s'en échapper.

Avec un frein-vapeur à valeur s_d constante de 2,30 m, les réserves de séchage sont réduites.

La construction avec la membrane pro clima DB+ occasionne un séchage nettement plus rapide et possède d'importantes réserves de sécurité.

Le frein-vapeur haute performance INTELLO offre à la construction le potentiel de sécurité maximal. D'après les calculs réalisés avec le logiciel WUFI pro [10], il est possible de charger la construction d'env. 1 500 ou 1 300 g d'eau par m² et par an, sans occasionner de dégâts au bâtiment (cf. fig. 16).

3.2.6 Potentiel de sécurité d'un toit vert et d'un toit plat à Paris/Bruxelles

Les deux constructions offrent une moins bonne sécurité que le toit à forte pente, parce que les épaisse couches de l'élément de construction situées au-dessus de l'isolation thermique sont réchauffées plus lentement. Grâce à la couche de gravier plus fine, le toit plat offre une plus grande sécurité que le toit vert.

Comme dans le cas d'un toit à forte pente, aucun séchage n'est possible avec le film en PE. De petites charges d'humidité imprévues causent déjà des dégâts au bâtiment.

Avec un frein-vapeur à valeur s_d constante de 2,30 m, le taux d'humidité global est trop élevé dans la construction. Ici aussi, des dégâts au bâtiment apparaîtraient.

La construction avec la membrane pro clima DB+ occasionne un séchage et possède encore des réserves de sécurité. Le frein-vapeur haute performance INTELLO offre à la construction le

potentiel de sécurité maximal. D'après les calculs réalisés avec le logiciel WUFI pro [10], il est possible de charger la construction d'env. 1 500 ou 1 300 g d'eau par m² et par an, sans occasionner de dégâts au bâtiment (cf. fig. 17 et 18).

Evolution des températures à Davos, altitude 1 560 m, Suisse, tuiles rouges / gravier

Fig. 19 Température de l'air

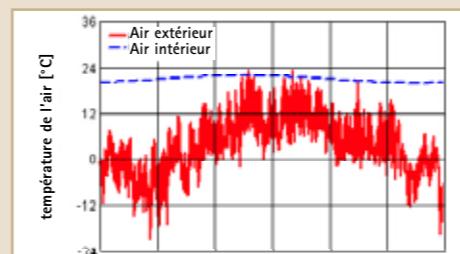


Fig. 20 Température à la surface du toit, versant nord, pente du toit 40°

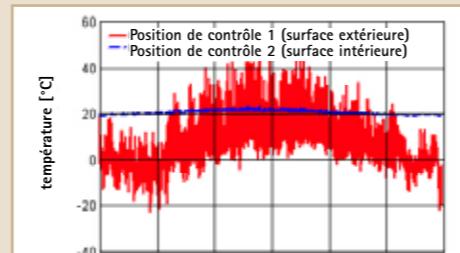


Fig. 21 Température à la surface du toit, versant sud, pente du toit 40°

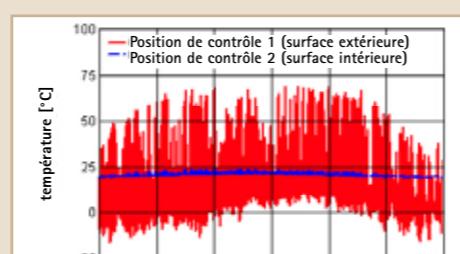
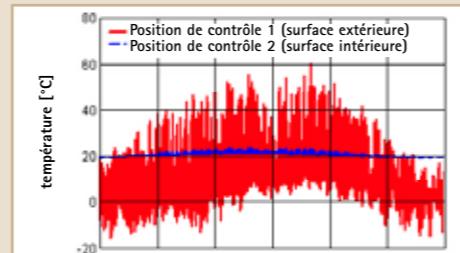


Fig. 22 Température à la surface du toit, toit plat



3.2.7 Données climatiques à Davos

Davos se situe à une altitude de 1 560 m et connaît donc un climat de haute montagne. Les diagrammes suivants montrent les variations de température sur un an.

La ligne bleue indique la température intérieure, les barres rouges correspondent aux températures extérieures (cf. fig. 19 à 22).

Si l'on examine la température de l'air à Davos, il s'avère que les jours où la température extérieure est supérieure à la température intérieure y sont très rares dans l'année.

En tenant compte du rayonnement solaire et global, on obtient une température plus élevée à la surface du toit que celle de l'air. Dans les versants orientés au nord, les températures sont toutefois sensiblement plus basses qu'à Paris/Bruxelles. Les jours où une rediffusion est possible sont rares. En été, dans les versants orientés au sud, les températures relevées à la surface du toit sont presque les mêmes à Davos qu'à Paris/Bruxelles.

En hiver, les températures nocturnes sont spécifiques à la haute montagne et sensiblement plus basses. Dans notre exemple de calcul, pour minimiser l'ensoleillement, nous nous sommes également basés sur le cas le plus défavorable, c'est-à-dire une orientation du toit au nord avec une pente de 40° et une couverture en tuiles rouges.

3.2.8 Potentiel de sécurité d'un toit à forte pente à Davos, versant nord, pente du toit 40°

Les températures extrêmement basses en hiver entraînent la formation de quantités considérables d'eau de condensation, de sorte que la construction avec le film en PE devient elle aussi humide, même si l'on suppose aucun apport d'humidité imprévu.

Avec un frein-vapeur à valeur s_d constante de 2,30 m, la formation d'humidité est rapide. La membrane pro clima DB+ n'est pas non plus en mesure de garder la construction au sec. Seul le frein-vapeur haute performance INTELLO permet une construction irréprochable en termes de physique du bâtiment et offre en outre un réel potentiel de sécurité. D'après les calculs réalisés avec le logiciel WUFI pro [10], il

est possible de charger la construction d'environ 1 500 g d'eau par m² et par an, sans occasionner de dégâts au bâtiment (cf. fig. 23).

3.2.9 Potentiel de sécurité d'un toit vert et d'un toit plat

Les deux constructions offrent une moins bonne sécurité que le toit à forte pente, parce que les épaisse couches de l'élément de construction situées au-dessus de l'isolation thermique sont réchauffées plus lentement. Comme à Paris/Bruxelles, aucun séchage n'est possible avec le film en PE. De petites charges d'humidité imprévues causent déjà des dégâts au bâtiment.

Avec un frein-vapeur à valeur s_d constante de 2,30 m, la formation d'humidité est très rapide dans les deux constructions.

La construction avec la membrane pro clima DB+ occasionne un taux d'humidité trop élevé dans le toit plat.

Le frein-vapeur haute performance INTELLO offre encore une solution à fort potentiel de sécurité pour le toit plat avec une couche de 5 cm de gravier. Pour le toit vert, la température extérieure à Davos ne suffit plus pour un séchage en retour. Ici, il faut opter pour des solutions au niveau de la construction (cf. fig. 24 et 25).

3.2.10 Conclusions sur les toitures

Les membranes pro clima DB+ et INTELLO permettent d'atteindre des potentiels très élevés de prévention des dégâts au bâtiment au niveau du toit. Même en cas d'humidité supplémentaire due à des influences imprévues, les constructions restent protégées contre les dégâts au bâtiment. INTELLO et DB+ sont également en mesure de compenser la diffusion latérale par un mur de briques, telle que décrite par Ruhe [4], Klopfer [5], [6] et Künzel [7].

Depuis plus de dix ans, la membrane pro clima DB+ a parfaitement fait ses preuves dans la prévention des dégâts au bâtiment lors de la pose de millions de mètres carrés dans des constructions critiques. Avec INTELLO, les toits à forte pente étanches à la diffusion sur le côté extérieur et les toits plats recouverts de gravier en haute montagne disposent d'un potentiel suffisant de prévention des dégâts au bâtiment.

Calcul du potentiel de prévention des dégâts au bâtiment à Davos, toiture

Données : cf. calcul pour Paris/Bruxelles en pages 57 et 58

Fig. 23 Potentiel de prévention des dégâts au bâtiment, toit à forte pente, versant nord, pente du toit 40°

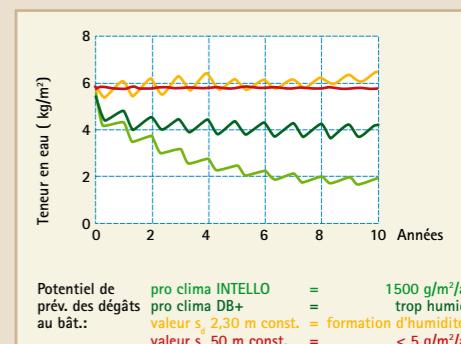


Fig. 24 Potentiel de prévention des dégâts au bâtiment, toit vert avec 13 cm de terre/gravier

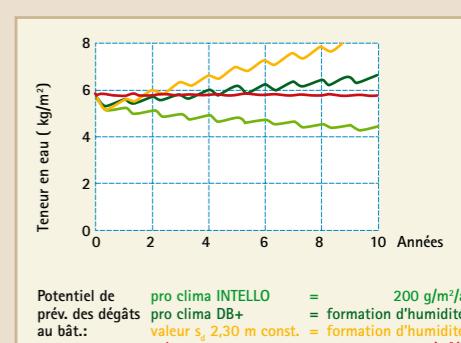
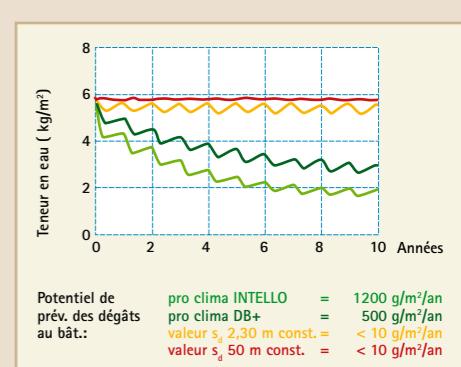


Fig. 25 Potentiel de prévention des dégâts au bâtiment, toit plat avec 5 cm de gravier



Calcul bidimensionnel des flux de chaleur et d'humidité avec WUFI 2D

Fig. 26
Structure de la construction : mur intégré

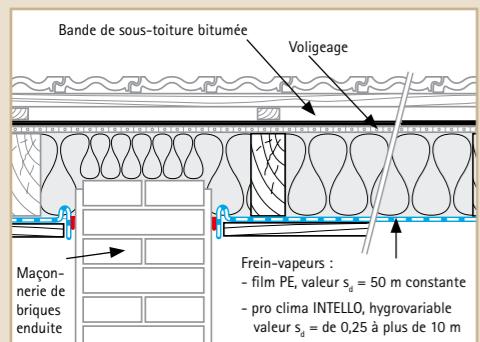
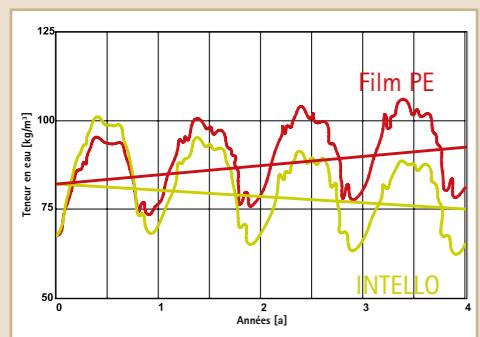


Fig. 27
Augmentation de l'humidité avec un film en PE >>> formation d'humidité = apparition de dégâts au bâtiment

Réduction de l'humidité avec INTELLO >>> séchage = prévention des dégâts au bâtiment



Taux d'humidité croissant dans l'élément de construction avec un film PE, valeur $s_d = 50$ m constante

Taux d'humidité décroissant dans l'élément de construction avec pro clima INTELLO, valeur $s_d = 0,25$ à plus de 10 m, hygrovariable

3.2.11 Diffusion latérale

Pour déterminer l'influence de l'apport en humidité par les flancs d'un élément de construction, on examine le raccord entre le mur extérieur intégré et une structure d'isolation thermique. Sur le côté extérieur de la sous-toiture, la construction dispose d'une bande bitumée étanche à la diffusion (cf. fig. 26). Pour ce flanc.

En règle générale, la maçonnerie a une résistance à la diffusion plus faible que la couche frein-vapeur et d'étanchéité à l'air de la construction en bois adjacente. Cela permet la diffusion d'humidité dans la structure d'isolation thermique, par ce flanc.

Pour cet exemple, le choix s'est porté sur le cas d'une nouvelle construction. La maçonnerie et la couche d'enduit disposent alors d'un taux d'humidité habituel de 30 kg/m³. L'isolant thermique en fibres est mis en oeuvre à sec et le taux d'humidité relatif du bois du voligeage est de 15 %.

Comme couches frein-vapeur et d'étanchéité à l'air, on utilise dans l'une des deux constructions un film en PE qui empêche la diffusion (valeur $s_d = 50$ m) et dans l'autre la membrane hygrovariable pro clima INTELLO (valeur s_d de 0,25 à plus de 10 m).

3.2.12 Résultats du calcul de simulation bidimensionnel

Lorsque les flux de chaleur et d'humidité d'une telle construction sont déterminés par la méthode de calcul bidimensionnelle appliquée dans le logiciel WUFI 2D [8], cela donne le résultat suivant : (cf. fig. 27)

Après une augmentation saisonnière du taux d'humidité dans les deux constructions, celles-ci se trouvent à un haut niveau pratiquement identique.

Dans la variante avec le film en PE comme couche frein-vapeur et d'étanchéité à l'air, on observe chaque année, sur la période d'étude de quatre ans, une nette augmentation du taux d'humidité total (cf. graphique rouge). Dans cette construction, l'humidité s'accumule dans les matériaux de construction présents, parce qu'aucune rediffusion en direction de l'espace intérieur n'est possible à travers le film en PE.

Conséquence : des moisissures apparaissent sur le bois qui commence à pourrir.

Dans la construction avec le frein-vapeur haute performance INTELLO, l'humidité présente dans la construction peut s'évaporer vers l'intérieur. L'élément de construction est protégé de l'accumulation d'humidité, celle-ci étant rapidement évacuée dans l'espace intérieur (cf. graphique vert). Ainsi, le taux d'humidité diminue constamment durant la période d'étude de quatre ans.

Les constructions dotées des frein-vapeurs INTELLO et DB+ disposent d'un grand potentiel de prévention des dégâts au bâtiment.

3.2.13 Conclusion sur la diffusion latérale

Les apports d'humidité par diffusion latérale dans le cas d'un mur intérieur intégré à la structure d'isolation thermique, tels que décrits par Ruhe [4], Klopfer [5], [6] et Künzel [7], peuvent s'évaporer à nouveau de l'élément de construction, grâce aux frein-vapeurs INTELLO et DB+.

3.2.14 Constructions des murs

En raison de leur position verticale, les murs présentent une moindre absorption de lumière du soleil que les toitures. C'est pourquoi leur potentiel de rediffusion est inférieur.

En règle générale, les murs ne sont pas étanches à la diffusion sur le côté extérieur, contrairement aux toitures. On n'utilise pas de bandes bitumées. Pour les murs, il n'y a pas d'exigence stricte en matière d'étanchéité à l'eau comme p. ex. pour les toits plats et les toits verts. Les températures dans le mur extérieur dépendent essentiellement de la couleur de la façade. Sur les façades claires, l'ensoleillement produit des températures moins élevées que sur les façades plus foncées.

Même dans des régions climatiques plus froides jusqu'aux sites de haute montagne comme Davos, les constructions des murs qui comportent des éléments de construction situés à l'extérieur de l'isolation, sont sûres avec le frein-vapeur haute performance INTELLO, jusqu'à une valeur s_d de 10 m.

Le frein-vapeur haute performance INTELLO offre aussi aux murs un potentiel de sécurité considérable.

Les calculs à l'aide du logiciel WUFI pro [10] pour le climat de Paris/Bruxelles montrent, pour un mur extérieur orienté au nord avec un parement étanche à la diffusion et de couleur claire, que le frein-vapeur INTELLO garantit encore toujours un potentiel de sécurité considérable.

Ainsi, INTELLO constitue la solution idéale pour une excellente prévention des dégâts au bâtiment, même en cas de présence, à l'extérieur, de panneaux dérivés du bois, comme les panneaux OSB ou de particules. Le risque de formation de moisissures est nettement réduit.

Même dans des régions climatiques plus froides jusqu'aux sites de haute montagne comme Davos, les constructions des murs qui comportent des éléments de construction situés à l'extérieur de l'isolation, sont sûres avec le frein-vapeur haute performance INTELLO, jusqu'à une valeur s_d de 10 m.

Pour la membrane DB+, les éléments de construction situés à l'extérieur de l'isolation peuvent avoir une valeur s_d maximale de 6 m pour le climat de Paris/Bruxelles et de 0,10 m pour Davos.

Evolution des températures à Paris/Bruxelles et Davos Mur, façade enduite claire

Paris/Bruxelles
Fig. 28
Température du mur, côté nord

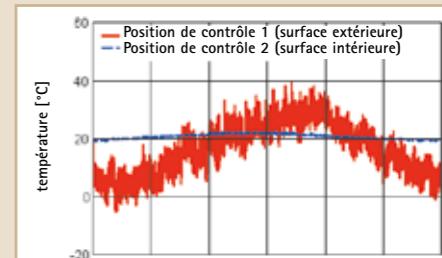
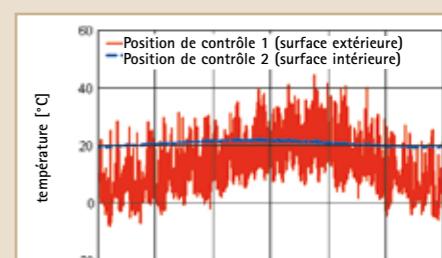


Fig. 29
Température du mur, côté sud



Davos
Fig. 30
Température du mur, côté nord

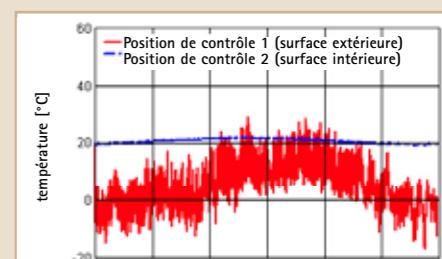
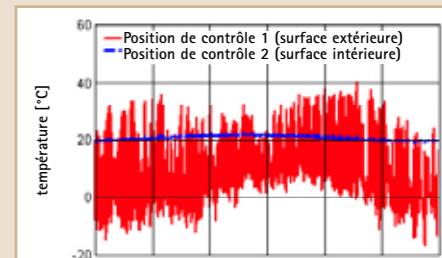


Fig. 31
Température du mur, côté sud



Recommandations de construction

4.1 Constructions

Les études de physique du bâtiment avec des données climatiques réelles montrent l'énorme potentiel de prévention des dégâts au bâtiment pour les constructions qui ont recours soit à pro clima INTELLO, le frein-vapeur haute performance qui offre dans toutes les zones climatiques une résistance hygrovariable à la diffusion particulièrement grande, soit au frein-vapeur hygrovariable pro clima DB+ qui a fait largement ses preuves depuis plus de dix ans.

Avec pro clima DB+ et INTELLO, les constructions bénéficient aussi d'une

Condition requise pour garantir l'effet des frein-vapeurs hygrovariables

Fig. 32
A l'intérieur, il peut seulement y avoir des couches d'éléments de construction ouvertes à la diffusion, afin de ne pas empêcher l'évaporation de l'humidité par rediffusion dans l'espace intérieur.

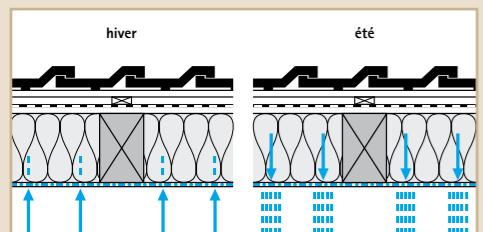
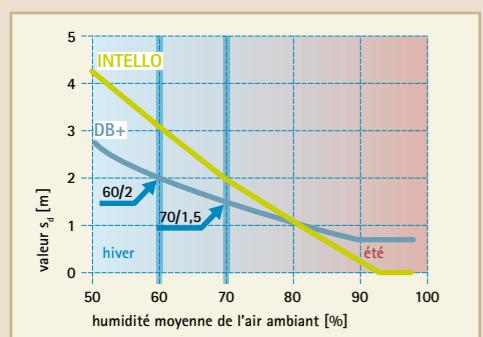


Fig. 33
Protection de la structure d'isolation thermique dans les nouvelles constructions et durant la phase des travaux



La valeur s_d des membranes s'adapte aux différents taux d'humidité ambiante. Le respect des règles 60/2 et 70/1,5 garantit un grand potentiel de prévention des dégâts au bâtiment dans la structure d'isolation thermique.

grande sécurité contre les dégâts au bâtiment en cas de charges d'humidité accrues.

Pour cela, il faut une situation sans ombre, c'est-à-dire sans arbres ni bâtiments qui feraient écran.

4.2 Revêtement intérieur

Les grandes marges de sécurité sont seulement possibles si l'humidité peut s'évaporer librement vers l'intérieur. Les revêtements qui freinent la diffusion sur le côté intérieur du frein-vapeur hygrovariable, comme les panneaux dérivés du bois (p. ex. OSB ou multiplex), réduisent la quantité d'humidité qui peut s'évaporer en retour vers l'intérieur et donc aussi le potentiel de prévention des dégâts au bâtiment. Les matériaux avantageux sont ceux à structure ouverte, comme p. ex. les voligeages profilés, les panneaux légers en laine de bois avec enduit et les plaques placoplâtre.

Les constructions comprenant des couches étanches à la diffusion sur le côté extérieur devraient être combinées exclusivement avec des revêtements intérieurs ouverts à la diffusion. Ainsi, les éléments de construction bénéficient d'une protection maximale contre les dégâts au bâtiment.

4.3 Pièces humides en permanence

Les frein-vapeurs hygrovariables ne peuvent pas s'utiliser dans les milieux où règne une humidité permanente, comme p. ex. dans les piscines couvertes, les centres de cure thermale, les jardineries ou les cuisines collectives.

4.4 Humidité dans les habitations occupées et les nouvelles constructions – la règle 60/2

Le respect de la règle 60/2 permet de protéger efficacement les structures d'isolation thermique dans les nouvelles constructions où règne par principe une humidité accrue dans l'air ambiant. Les membranes pro clima DB+ et INTELLO remplissent toutes deux ces exigences et favorisent ainsi l'excellente protection des éléments de construction contre les dégâts au bâtiment.

4.5 Pièces humides dans les habitations

Les pièces humides voire très humides dans les habitations ont temporairement une humidité relative accrue de 70%. Grâce au respect de la règle 60/2, avec une valeur s_d supérieure à 2 m à 70 % d'humidité de l'air ambiant et 50 % d'humidité dans la couche d'isolation (60 % d'humidité moyenne), les frein-vapeurs hygrovariables pro clima DB+ et INTELLO offrent aussi dans ces pièces une protection optimale. Ainsi, même en cas d'humidité due aux travaux, puis à l'occupation d'une nouvelle construction, cette dernière est suffisamment protégée de l'humidité apportée par l'air ambiant et, par conséquent, de la formation de moisissures (cf. fig. 33).

4.6 Humidité de l'air accrue durant la phase de construction – la règle 70/1,5

Les frein-vapeurs pro clima DB+ et INTELLO respectent tous deux la règle 70/1,5 et offrent à l'élément de construction une grande protection contre les charges d'humidité, durant la phase des travaux. Même avec cette pression d'humidité accrue, les valeurs s_d devraient rester supérieures à 1,5 m. A un taux d'humidité moyen de 70 % (90 % d'humidité de l'air ambiant et 50 % dans la couche d'isolation), INTELLO a une valeur s_d d'env. 2 m (cf. fig. 33).

Ainsi, les constructions dotées de frein-vapeurs hygrovariables bénéficient aussi durant la phase des travaux d'une bonne protection contre la formation de moisissures.

La persistance d'un taux d'humidité excessif de l'air ambiant pendant la phase des travaux peut provoquer en principe une accumulation de l'humidité dans la construction. Cette humidité devrait pouvoir s'échapper en continu de l'ouvrage, par ventilation. Les déshumidificateurs de chantier aident à alléger la charge et permettent ainsi d'éviter la persistance de taux d'humidité relative de l'air élevés durant la phase des travaux.

4.7 Sous-toiture

Idéalement, il convient de choisir comme sous-toiture des matériaux ouverts à la diffusion (p. ex. des panneaux de sous-toiture en fibres de bois ou des écrans de sous-toiture SOLITEX à membrane non poreuse) qui permettent une évaporation importante vers l'extérieur.

Les constructions avec des éléments extérieurs étanches à la diffusion, comme p. ex. les bandes bitumées, les toits plats et les toits verts, ainsi que les toits à couverture en tôle réduisent la sécurité de l'élément de construction en termes de physique du bâtiment. Les voligeages en bois massif offrent de meilleures garanties que les panneaux dérivés du bois (p. ex. OSB) parce que le bois a une résistance hygrovariable à la diffusion et une bonne capillarité. Grâce à sa grande hygrovariabilité, INTELLO offre un très grand potentiel de sécurité, même dans le cas des matériaux dérivés du bois. Si on utilise pro clima DB+ pour une sous-toiture étanche à la diffusion, il convient d'éviter les panneaux dérivés du bois.

des structures d'isolation thermique les plus exigeantes et les plus critiques en termes de physique du bâtiment. En raison de l'hygrovariabilité extrêmement grande de sa résistance à la diffusion, pro clima INTELLO constitue la solution la plus sûre pour ces constructions. L'humidité qui a éventuellement pénétré ou qui se trouve dans la construction peut s'évaporer ensuite en très grande quantité, sans causer une nouvelle humidification critique. Si les toits plats et les toits verts doivent bénéficier d'une sécurité maximale, il convient d'utiliser INTELLO comme frein-vapeur.

4.10 Toits à forte pente en haute montagne

Les toits à forte pente étanches à la diffusion à l'extérieur peuvent être dotés en toute sécurité du frein-vapeur INTELLO jusqu'à une altitude de 1 600 m et ont un grand potentiel de prévention des dégâts au bâtiment.

Pour calculer le potentiel de prévention des dégâts au bâtiment pour des sites plus élevés, nous disposons actuellement de données climatiques jusqu'à une altitude de 3 000 m, les constructions sont sûres. Pour les constructions de toits à forte pente étanches à la diffusion à l'extérieur (p. ex. sous-toiture avec bandes bitumées), les limites reprises en fig. 34 sont d'application.

4.11 Constructions de toit Absorption du rayonnement

Sur le côté extérieur, les toits plats et les toits verts ont toujours une enveloppe étanche à la diffusion qui sert d'étanchéité à l'eau et de protection contre les racines. En règle générale, ils ne peuvent pas être ventilés de manière efficace parce qu'en l'absence de pente, il n'y a pas de poussée aérostatique. Plus la couche de gravier sur le toit plat ou de substrat (toit vert) est épaisse, moins la couche isolante se réchauffe de l'extérieur, par ensoleillement.

Cela réduit la rediffusion dans l'espace intérieur et les réserves de sécurité. Ici aussi, le frein-vapeur haute performance INTELLO offre à la construction une grande protection contre les dégâts au bâtiment, grâce à sa résistance hygrovariable, et ce, même en cas de charges d'humidité imprévues.

Les calculs de simulation avec des données climatiques réelles fournissent les limites d'application reprises en fig. 35. Dans le secteur de la construction, les toits plats et les toits verts font partie

Domaines d'application de DB+ et INTELLO

Fig. 34
Toits à forte pente

Constructions	DB+	INTELLO
Constructions étanches à la diffusion à l'extérieur sans lame d'air (sans ombre, pas de couches frein-vapeurs du côté intérieur)	jusqu'à 1 000 m d'altitude, pas de panneaux dérivés du bois	jusqu'à 1 600 m d'altitude
Constructions ouvertes à la diffusion à l'extérieur	pas de limite d'altitude	pas de limite d'altitude

Fig. 35
Toits plats et toits verts

Constructions	DB+	INTELLO
Toit plat avec une couche de gravier de max. 5 cm sans lame d'air (sans ombre, pas de couches frein-vapeurs du côté intérieur)	jusqu'à 800 m d'altitude, pas de panneaux dérivés du bois	jusqu'à 1 600 m d'altitude
Toit vert avec une couche de gravier et de substrat de max. 15 cm sans lame d'air (sans ombre, pas de couches frein-vapeurs du côté intérieur)	jusqu'à 800 m d'altitude, pas de panneaux dérivés du bois	jusqu'à 1 000 m d'altitude

Fig. 36
Murs

Constructions	DB+	INTELLO
Couches de l'élément de construction situées à l'extérieur pour des murs jusqu'à une altitude de 700 m (pas de couches frein-vapeurs du côté intérieur)	résistance à la diffusion max. 6 m	résistance à la diffusion illimitée
Couches de l'élément de construction situées à l'extérieur pour des murs jusqu'à une altitude de 1 600 m (pas de couches frein-vapeurs du côté intérieur)	résistance à la diffusion max. 0,10 m	résistance à la diffusion max. 10 m
Constructions ouvertes à la diffusion à l'extérieur	pas de limite d'altitude	pas de limite d'altitude

Phases de la pose

1. Pose / fixation



2. Collage des joints



3. Raccord au pignon



4. Raccord à la fenêtre



5. Raccord au percement



5.1 Isolants en panneaux ou rouleaux

Poser INTELLO avec le côté filmé (marquage) tourné vers la pièce. Si INTELLO a été posé avec le côté non-tissé tourné vers la pièce, cela ne nuit pas au bon fonctionnement du frein-vapeur en termes de physique du bâtiment. Bien appuyer sur les rubans adhésifs. Le collage est préférable sur le côté filmé. pro clima DB+ a une structure symétrique. Le choix du côté du frein-vapeur qui sera tourné vers la pièce est donc libre.

5.2 Sens de la pose

Les membranes pro clima INTELLO et DB+ peuvent être posées de manière parallèle ou transversale à la structure portante. En cas de pose parallèle, les joints doivent se trouver sur la structure portante. En cas de pose transversale, l'écart entre les bois de construction sera de 100 cm au maximum.

5.3 Composants du système pro clima recommandés pour le collage

Tous les rubans adhésifs pro clima conviennent au collage des chevauchements de membranes. Idéalement, le matériau de base du ruban sera adapté aux valeurs mécaniques du frein-vapeur, surtout en cas de pose transversale. C'est pourquoi nous recommandons plus particulièrement les rubans TESCON No.1 et TESCON VANA pour INTELLO et le ruban UNI TAPE pour DB+. Pour les raccords aux fenêtres et portes ainsi que pour le collage des coins, le ruban adhésif TESCON PROFIL convient parfaitement, grâce à sa grande résistance aux perforations et au film transfert divisé en trois bandes.

Les colles de raccord ORCON F (pour INTELLO) et ECO COLL (pour DB+) permettent la réalisation fiable des raccords aux éléments de construction adjacents (p. ex. les murs pignons enduits).

Le ruban de raccord CONTEGA PV à armature d'enduit intégrée sert à réaliser le raccord précis à la maçonnerie nue avant son crépissage. Pour d'autres recommandations, consulter les documents de conception pro clima.

5.4 Isolants en fibres à insuffler

La membrane pro clima DB+ peut servir de couche de confinement à tous les types d'isolants à insuffler. Du côté intérieur, un lattis transversal d'un écart maximal de 65 cm devrait soutenir le poids de l'isolant. En raison de sa grande élasticité, le frein-vapeur haute performance INTELLO ne convient pas au confinement intérieur d'isolants à insuffler. Pour cette technique, nous proposons le frein-vapeur INTELLO PLUS doté d'une solide armature en PP.

Cette membrane offre le même potentiel de prévention des dégâts au bâtiment que INTELLO. Du côté intérieur, un lattis transversal d'un écart maximal de 50 cm devrait soutenir le poids de l'isolant. Pour de plus amples détails sur la pose, consulter les documents de conception.

5.5 Isolants en mousse

Avec les isolants en mousse, la résistance hygrovariable à la diffusion n'agit plus guère parce que la rediffusion est considérablement entravée. C'est pourquoi il convient d'éviter les isolants en mousse dans les constructions exigeantes et critiques en termes de physique du bâtiment, p. ex. dans celles qui sont étanches à la diffusion à l'extérieur.

5.6 Stabilité dimensionnelle

Le frein-vapeur haute performance INTELLO ne rétrécit pas. Il peut être posé bien tendu et sans affaissement. INTELLO possède à la fois une grande élasticité et une bonne résistance à la déchirure.

Après humidification puis séchage, pro clima DB+ rétrécit légèrement. C'est pourquoi la membrane ne devrait pas être posée trop tendue. Le raccord aux éléments de construction adjacents doit se faire avec une boucle de dilatation pour compenser leurs mouvements.

5.7 Résistances mécaniques

INTELLO et DB+ ont une grande résistance à la déchirure au clou. Résultat : aux endroits d'agrafage, les membranes sont bien protégées de l'arrachement et de la propagation de déchirures.

5.8 Moment de la pose du frein-vapeur

Lors de la pose de l'isolation et du frein-vapeur, il faut tenir compte du fait qu'immédiatement après sa mise en place, l'isolant doit être recouvert d'un frein-vapeur collé de manière étanche, surtout en hiver. A défaut d'un frein-vapeur, l'humidité de l'air ambiant pénètre sans entrer dans la construction, puis se refroidit dans l'isolation (surtout la nuit) et entraîne la formation d'eau de condensation.

Il est important que l'isolant et le frein-vapeur soient posés ensemble, au fur et à mesure. De plus, après la pose, le frein-vapeur devrait être immédiatement raccordé aux éléments de construction adjacents, afin d'éviter toute formation de condensation au niveau du raccord ; pour le collage, nous recommandons ORCON F si l'enduit est déjà en place et CONTEGA PV s'il est appliqué par la suite.

5.9 Structure translucide

Le frein-vapeur haute performance INTELLO est translucide et laisse donc transparaître les matériaux qu'il recouvre. INTELLO n'est pas complètement transpa-

rent, de sorte que les bords de la membrane restent bien visibles.

C'est pratique lors de la réalisation de raccords aux éléments de construction adjacents, comme p. ex. au niveau des pannes faîtières et intermédiaires, des fenêtres de toit et des cheminées, mais aussi lors du collage des chevauchements de membranes.

5.10 Recyclage et écologie

Les frein-vapeurs haute performance INTELLO et INTELLO PLUS se composent à 100 % de polyoléfine ; la membrane spéciale est en copolymère de polyéthylène, le non-tissé et l'armature en polypropylène. Cela permet un recyclage aisément. Dans le cas de pro clima DB+, le papier se compose respectivement à 50 % de cellulose de recyclage et de cellulose neuve. En raison du non-tissé en soie de verre, il fait l'objet d'une valorisation thermique.

5.11 Systèmes de ventilation

En règle générale, les systèmes de ventilation sont réglés en pression négative. Ce principe doit permettre d'empêcher que de l'air chaud et humide à l'intérieur (susceptible de provoquer l'apparition de

moisissures) pénètre dans la construction en se dirigeant vers l'extérieur et y provoque de la condensation. En cas de systèmes de ventilation en surpression, l'air chaud et humide contenu dans la pièce peut s'introduire dans la construction par des défauts dans la couche d'étanchéité (fentes). Ceci peut entraîner en hiver une augmentation défavorable de la charge d'humidité et causer ainsi des dégâts au bâtiment.

En été, dans le cas de systèmes de ventilation en dépression, la situation inverse peut se produire : l'air chaud extérieur est aspiré dans la construction. Le danger existe alors, que l'air chaud extérieur, chargé d'humidité, en se dirigeant vers des couches constructives plus froides à l'intérieur, provoque de la condensation et entraîne ainsi la formation de moisissures. C'est pourquoi, dans le cas de bâtiments pourvus de systèmes de ventilation, il convient d'optimiser la conception et l'exécution technique non seulement de l'étanchéité à l'air (à l'intérieur) mais également de l'étanchéité de la construction à l'extérieur. Du point de vue de l'absence de dégâts au bâtiment, l'idéal est d'utiliser des systèmes de ventilation qui fonctionnent en s'adaptant aux exigences climatiques, c.-à-d. qui travaillent en été en surpression et en hiver en dépression.

6. Conclusion

Les constructions avec DB+ et INTELLO possèdent d'énormes réserves de sécurité et préviennent donc les dégâts au bâtiment et les moisissures, grâce à leur hygrovariabilité intelligente. Même en cas de charges d'humidité imprévues ou inévitables dans la pratique, les constructions disposent d'un excellent potentiel de prévention des dégâts au bâtiment, grâce aux grandes réserves de séchage offertes par les résistances hygrovariables à la diffusion.

Le frein-vapeur haute performance INTELLO possède une hygrovariabilité particulièrement grande et efficace dans

toutes les zones climatiques. Il offre ainsi aux structures d'isolation thermique une sécurité inégalée à ce jour, qu'il s'agisse de constructions ouvertes à la diffusion à l'extérieur ou de constructions exigeantes en termes de physique du bâtiment, comme les toits plats, les toits verts, les couvertures en tôle et les toits à sous-couverture étanche à la diffusion.

Le rendement du frein-vapeur INTELLO est tout aussi impressionnant dans des conditions climatiques extrêmes, comme en haute montagne. D'une qualité parfaitement éprouvée, la membrane pro clima DB+ offre jusqu'en moyenne altitude une excellente sécurité aux

constructions de toits. Conformément aux exigences de la norme DIN 68 800-2, les frein-vapeurs hygrovariables permettent de se passer d'un produit chimique de préservation du bois. pro clima offre une sécurité supplémentaire avec sa garantie système valable six ans.

Avec les membranes frein-vapeurs et d'étanchéité à l'air INTELLO et DB+, la règle de sécurité pro clima se réalise une fois de plus :

"Plus la réserve de séchage d'une construction est grande, plus la charge d'humidité imprévisible peut être élevée, tout en préservant la construction des dégâts au bâtiment."

Pour plus d'informations sur la mise en oeuvre et les détails de construction, veuillez consulter les documents de conception pro clima. Vous pouvez aussi contacter la ligne d'assistance technique de pro clima :

tél. : +49 (0) 62 02 - 27 82.45
fax : +49 (0) 62 02 - 27 82.51
e-mail : technik@proclima.com

... et l'isolation est parfaite

Informations et commande

Vous recevez de manière simple et rapide des informations sur tous les systèmes pro clima, textes d'appels d'offres et brochures auprès du service-info:

FRANCE

tél. : 0811 850 147
fax : +49 (0) 62 02 - 27 82.25
info@proclima.info
www.proclima.info

BELGIQUE

tél. : +32 (0) 15 62 39 35
fax : +32 (0) 15 62 39 36
orders@isoproc.be
www.be.proclima.com

SUISSE

tél. : +41 (0) 543 06 50
fax : +41 (0) 543 06 51
info@proclima.ch
www.proclima.ch



www.proclima.com

MOLL
bauökologische Produkte GmbH
Rheinalstr. 35 - 43
D-68723 Schwetzingen

info@proclima.com

