



Construction au-dessus des pièces chauffées

Pour la construction d'une toiture-terrasse avec isolation thermique, trois techniques sont possibles : la toiture chaude (support, isolation, étanchéité), la toiture avec isolation inversée (support, étanchéité, isolation, lestage) et la toiture froide (isolation, espace ventilé, support, étanchéité). Pour bien isoler thermiquement, la première technique est conseillée.

1. La toiture chaude (fig. a)

Les toitures-terrasses les plus courantes sont réalisées suivant le principe de la toiture chaude : support (béton, bac acier ou bois), pare-vapeur (inutile avec FOAMGLAS®), isolation thermique, étanchéité, protection suivant la destination de la toiture. Dans ce principe, l'isolation est située entre le support et l'étanchéité.

En toiture chaude, FOAMGLAS® offre des avantages constructifs majeurs par rapport aux autres systèmes d'isolation : stabilité dimensionnelle, collage des panneaux entre eux, mise en œuvre en toiture compacte. L'ensemble de ces qualités font que FOAMGLAS® sollicite très peu l'étanchéité lors des variations de température et d'hygrométrie.

D'autres systèmes isolants sollicitent beaucoup plus les étanchéités en raison de leur coefficient de dilatation plus élevé que celui du béton ou de l'acier ; lors de fortes variations de la température extérieure, ils fatiguent l'étanchéité par leur dilatation ou leur rétractation (fig. d1, page 28). Ces phénomènes entraînent une diminution de la durée de vie du complexe d'étanchéité et génèrent, l'hiver, des ponts thermiques linéaires (fig. d2). Un autre type de variation dimensionnelle est le tassement des isolants dans le temps, parfois accéléré par la présence de charges ponctuelles ou permanentes, et qui provoque une perte d'efficacité thermique : un isolant d'épaisseur 15 cm qui se tasse de 3 cm perdra près de 20% de son pouvoir isolant (fig. d3). Les intrusions d'humidité dans les complexes isolants peuvent

également altérer leur qualité isolante et leur stabilité dimensionnelle ; d'où l'importance d'une isolation qui n'absorbe pas l'humidité en provenance accidentelle de l'extérieur ou de l'intérieur du bâtiment (fig. A, page 26). Sur support bac acier et platelage bois, la tenue des isolants par des fixations mécaniques traversantes expose l'étanchéité à des risques de perforation et engendre de nombreux ponts thermiques. De ce fait, les étanchéités fatiguent souvent plus vite que prévu, nécessitant des rénovations de toitures trop rapides et onéreuses. Tous ces risques sont évités avec FOAMGLAS®, et illustre l'un des intérêts économiques du FOAMGLAS®.

- 1 Logements collectifs, Auvergne Habitat, Clermont-Ferrand
- 2 Télécabine de la Kédeuse, Arâches, architecte Axe et Courbes



FOAMGLAS® est stable dimensionnellement (fig. D, page 28). Cette stabilité explique la possibilité, unique, du collage des plaques isolantes entre elles. L'étanchéité est ainsi mise en oeuvre sur une couche isolante continue. De plus, le verre cellulaire résiste à la compression sans tassement, même sous charge de longue durée. Les systèmes d'étanchéité mis en oeuvre sur FOAMGLAS® durent très longtemps.

Au-delà de la longévité des étanchéités, le grand avantage du FOAMGLAS® est une sécurité inégalée face aux risques d'infiltration en toiture (fig. B). En cas de faiblesse de l'étanchéité, avec les autres systèmes isolants, il y a infiltration et migration de l'eau dans la toiture. Le repérage des fuites est alors laborieux (notamment pour les toitures-terrasses ouvragées, type jardin, accessible piétons, véhicules...). D'autre part, d'un point de vue thermique, l'humidification des isolants est très dommageable à l'efficacité énergétique des bâtiments.

Avec FOAMGLAS®, en cas de faiblesse de l'étanchéité, l'eau est bloquée par les cellules de verre et ne peut pas se répandre dans la couche isolante, il n'y a pas d'infiltration dans la toiture. Tous les composants du système sont collés entre eux de manière compacte, les éventuels endroits endommagés peuvent être facilement localisés et réparés. Le bâtiment est protégé et les performances thermiques de la toiture restent inchangées.

Toiture chaude avec pente intégrée dans l'isolant

Les formes de pente en toiture-terrasse favorisent l'écoulement des eaux et sont obligatoires pour certaines d'entre elles. Le système de forme de pente FOAMGLAS® TAPERED offre une solution légère (115 kg/m³), rapide et facile à installer, comparé par exemple à la mise en oeuvre d'une forme béton. Les plaques sont façonnées précisément en usine, sont toutes numérotées, et livrées avec un plan de calepinage détaillé (fig. C).

Trois techniques de toiture plate

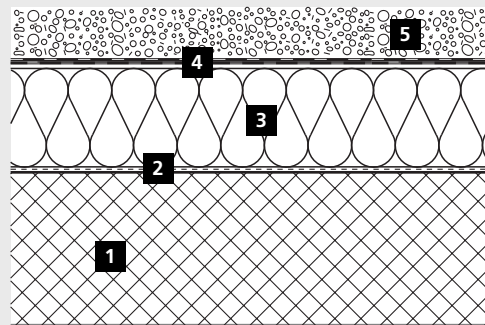


fig. a

- Toiture chaude**
- 1 Élément porteur (béton, bac acier, bois)
 - 2 Pare-vapeur (sauf si isolation FOAMGLAS®)
 - 3 Isolation thermique
 - 4 Etanchéité
 - 5 Protection éventuelle

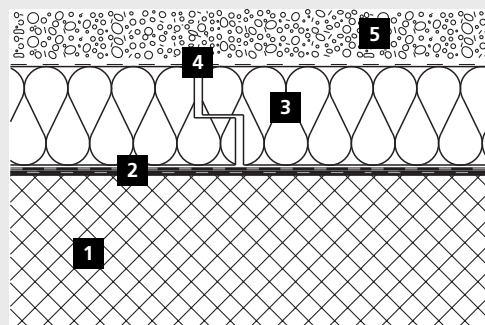


fig. b

- Toiture avec isolation inversée**
- 1 Élément porteur (béton)
 - 2 Etanchéité
 - 3 Isolation thermique
 - 4 Voile filtrant
 - 5 Dispositif de lestage obligatoire

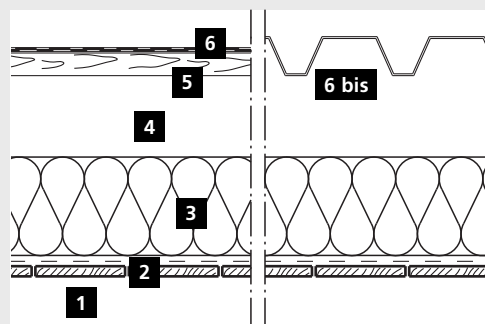


fig. c

- Toiture froide**
- 1 Faux-plafond, platelage bois, ...
 - 2 Dispositif pare-vapeur
 - 3 Isolation thermique
 - 4 Espace de ventilation
 - 5 Support bois
 - 6 Etanchéité
 - 6 bis. Bac sec

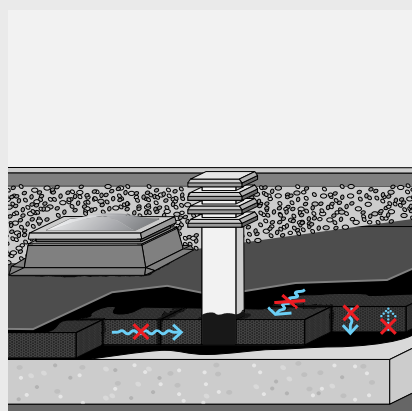


fig. A

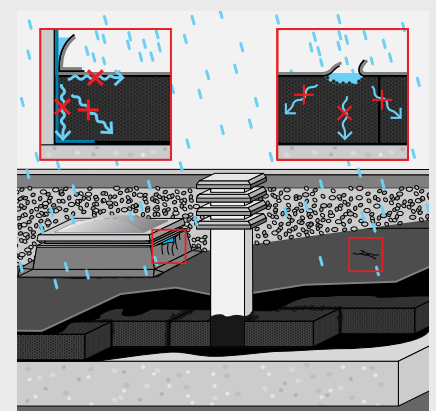


fig. B

Avec la toiture compacte FOAMGLAS,
 – il n'y a pas de migration d'humidité ni d'air dans la toiture
 – la sécurité face au risque d'infiltration est maximum

En rénovation, ce système permet de créer des pentes et de reprendre des contrepentes existantes, à l'aide de différents gradients (1,1%, 1,7%, 2,2%, ...).

La toiture compacte FOAMGLAS® TAPERED est une solution en neuf lorsque le support, pour des raisons diverses de structure, n'est pas adéquat pour former la déclivité souhaitée. En rénovation, ce système permet de supprimer des contrepentes et de créer un écoulement naturel des eaux vers les évacuations pluviales.

2. Toiture avec isolation inversée (fig. b)

Utilisée parfois sur support béton, la toiture inversée consiste à positionner l'étanchéité directement sur le support, et l'isolation sur l'étanchéité. Un lestage est alors obligatoire pour que l'isolant reste en place. Dans ce principe, l'isolant n'est pas protégé des intempéries. En toiture inversée, lorsqu'il pleut, l'eau est en contact avec l'étanchéité (fig. b'), qui a été mise en œuvre directement sur le support béton. Celui-ci, notamment l'hiver, subit alors une différence de température considérable. La courbe de température dans la toiture est grandement modifiée et des déperditions énergétiques se produisent par effet «pompe à chaleur» (l'énergie migre de l'intérieur du bâtiment chauffé vers l'eau froide de la toiture). De plus, le support béton s'expose à des



fig. C

Courbes de température par temps froid et humide

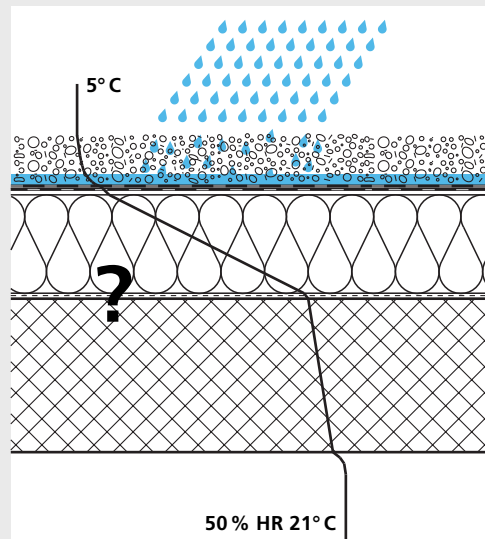


fig. a'

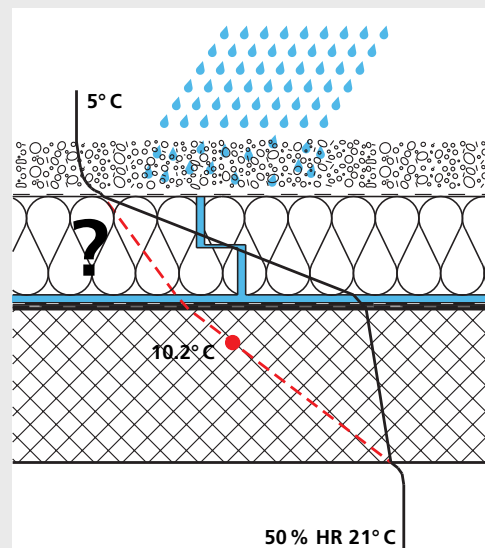


fig. b'

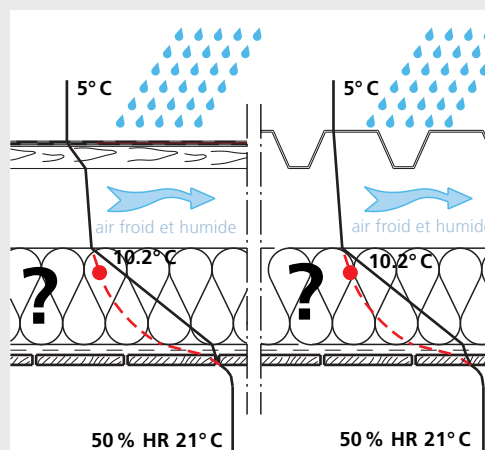


fig. c'

Toiture chaude

Le résultat est satisfaisant, s'il n'y a pas de circulation d'air ni d'humidité dans la couche isolante.

Toiture avec isolation inversée

- L'isolant est en contact avec l'eau froide, et de l'eau est en contact avec l'étanchéité.
- La résistance thermique de la toiture est altérée pendant la présence de l'eau. La dalle béton supporte une forte différence de température.
- Des condensations risquent de se former dans la dalle béton (cf. diagramme de Mollier, page 28).

Toiture froide

- L'air froid et humide passe sous l'étanchéité et est en contact avec le système isolant.
- La résistance thermique de la toiture peut être fortement altérée en fonction de la perméabilité de l'isolation.
- Des condensations risquent de se former dans la toiture (cf. diagramme de Mollier, page 28).

Importance des caractéristiques physiques des isolants. Exemples.

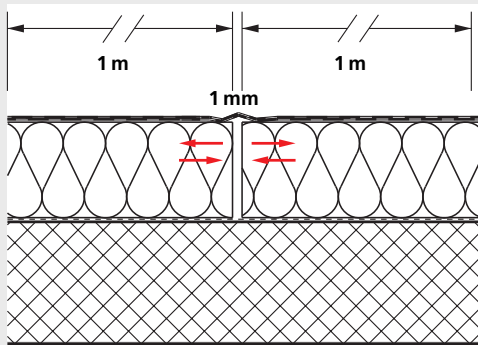


fig. d1

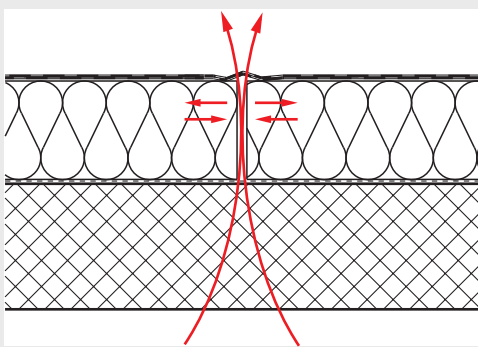


fig. d2

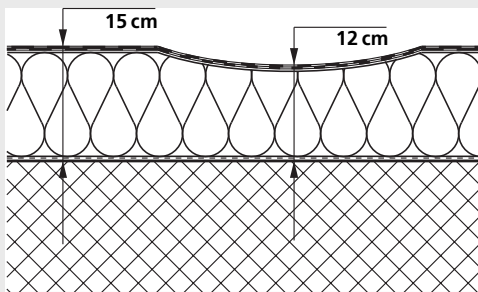


fig. d3

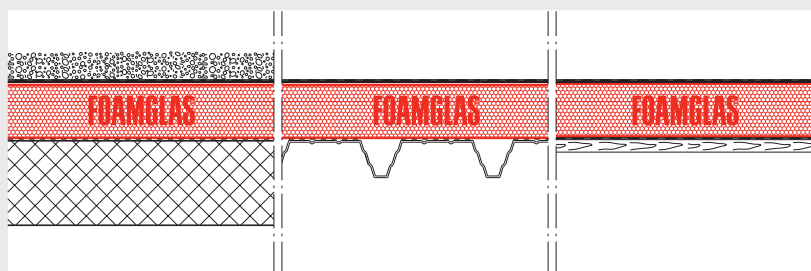


fig. D

- Pour un coefficient de dilatation de l'isolant de $50 \cdot 10^{-6} \text{ m/m}^\circ\text{C}$,
- Pour 2 mètres considérés, et pour une chute de température de 20°C en toiture*, La rétraction de l'isolant sera de 1 mm au droit des joints de panneaux.

* Pour une chute de température de 40°C , et une longueur de toiture de 30 mètres entre JD, les rétractions cumulées seront de 6 cm.

- Lorsque les isolants ont des coefficients de dilatation importants,
- Par température extérieure froide, Il y a des ponts thermiques linéaires au droit des joints de panneaux isolants.

Conséquence du manque de tenue en compression des isolants :
Si un isolant de 15 cm d'épaisseur se tasse en 12 cm, la résistance de la toiture diminuera d'environ 20 % en cet endroit.

- Avec la technique "toiture compacte FOAMGLAS®", Les joints de panneaux isolants sont collés, et FOAMGLAS® résiste à la compression sans tassement :
- Il y a continuité thermique et étanchéité à l'air.
 - Même par température extérieure froide, il n'y a pas de ponts thermiques.

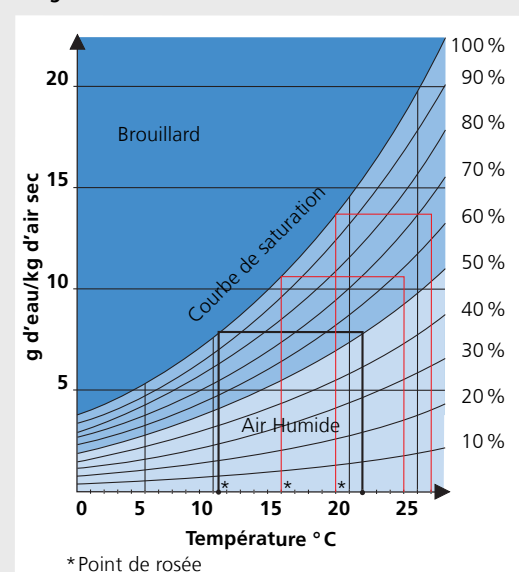
risques de condensation, en sous-face (traces d'humidité), ou dans la dalle (risque de corrosion des aciers).

3. Toiture froide (fig. c)

Dans le concept «toiture froide», la toiture est ventilée en sous-face par de l'air extérieur. L'isolation thermique est positionnée sous l'espace de ventilation. Celui-ci est destiné à évacuer l'humidité provenant de l'intérieur du bâtiment et d'éventuelles condensations pouvant se former dans la toiture. En toiture froide, un des problèmes est la circulation de l'air dans l'espace de ventilation. Cet air peut pénétrer les couches isolantes perméables et altérer le pouvoir isolant de la toiture lorsque l'air est froid ou chaud. L'été, l'air chaud ventilant la toiture est souvent négligé, cependant il pose parfois des problèmes en engendrant des températures intérieures trop élevées. L'hiver, en locaux chauffés, ce type de toiture est moyennement performant d'un point de vue hygrothermique (fig. c') et les risques de condensation doivent être étudiés précisément. En France ce type de toiture est interdit en locaux à forte et très forte hygrométrie.

Des trois principes de conception de toiture-terrasse, la toiture chaude est largement la plus utilisée car elle est reconnue comme associant le plus grand nombre d'intérêts.

Diagramme de Mollier





1

- 1 Maison du département, Bourgoin Jaillieu, architecte Charon Rampillon. Isolation FOAMGLAS® en toitures-terrasses inaccessibles, accessibles et végétalisées.

Types d'exploitation et de construction

Les toitures-terrasses ont l'avantage de permettre des utilisations multiples. Les toitures compactes sont classées en fonction de leur type de destination (cf. page 8). La vue d'ensemble ci-dessous présente ces différentes toitures et des spécificités constructives. Une attention particulière est accordée à la fiabilité, afin d'obtenir une toiture durable et économique. Le sujet particulier des locaux à forte hygrométrie est abordé en deuxième partie.

Toiture compacte avec étanchéité autoprotégée.

Les plaques FOAMGLAS® T4+ sont collées en pleine adhérence au bitume chaud ou froid sur le support. Puis le système d'étanchéité autoprotégée est mis en œuvre par collage ou soudage. Les qualités de la toiture compacte FOAMGLAS® confèrent une grande longévité à ces systèmes légers d'étanchéité (cf. l'ouvrage «FOAMGLAS® 40 ans après»). Ils ont aussi l'intérêt écologique d'économiser les gravillons.

1. Les différents types de toiture compacte FOAMGLAS

Toiture compacte inaccessible

Cette toiture est par définition inaccessible, sauf pour l'entretien courant de l'étanchéité.



2



3

Toiture compacte avec étanchéité protégée par gravillons.

La toiture compacte lestée au gravier est aussi utilisée en toiture inaccessible. La couche complémentaire de gravillons offre notamment une protection de l'étanchéité contre les actions mécaniques et les UV. Elle constitue aussi un volant thermique non négligeable. Elle peut avoir un rôle esthétique, mais aussi quelques inconvénients en termes d'entretien, par exemple si l'environnement comprend beaucoup d'arbres.

- 2 Logements collectifs, Les Cités Cherbourgeoises, Cherbourg
3 Caserne Sénépart, Lille, Génie Militaire



4



5



6



7



8

- 4 Sea Club, Monaco
- 5 Immeuble de Bureaux, SILIC Nanterre, Mayla Architecture
- 6 Parking Mac Donald's, Bussy Saint-Georges
- 7 Lycée Sylvia Montfort, Luisant, architecte Gilbert Autret
- 8 Lycée Alfred Kastler, La Roche sur Yon, architecte Arts'Cad

Toiture compacte technique

Les toitures-terrasses techniques sont l'objet d'un passage fréquent pour l'entretien d'équipements situés en toiture (VMC, chemin de nacelles, locaux de machinerie, capteurs solaires, ...). Elles font alors l'objet d'une protection spécifique, par exemple sous la forme de dalles préfabriquées sur couche de désolidarisation, d'une membrane d'étanchéité complémentaire sous avis technique, ...

En terrasses inaccessibles, les chemins d'accès vers les terrasses techniques sont considérés comme zones techniques et doivent également être protégés. Ces toitures sont parfois très sollicitées et la résistance à la compression sans tassement du FOAMGLAS® est appréciée.

Toiture compacte accessible piéton

Il s'agit de toitures-terrasses destinées à la circulation ou au séjour des piétons. Situé sur locaux chauffés, le complexe d'étanchéité correspond, dans son principe, à celui d'une toiture-terrasse inaccessible. Les revêtements de protection et esthétiques sont divers : dalles (en pierre, en bois) sur plots,

chape béton recouverte de dalles de céramique, de pierres artificielles ou naturelles, d'enrobé, d'asphalte, de caillebotis, etc...

Toiture compacte végétalisée et jardin

Les toitures vertes embellissent la ville et valorisent les bâtiments et l'environnement. Pour les réaliser, au-dessus de la toiture compacte classique sont mis en œuvre des systèmes de végétalisation ou jardin de constitution spécifique suivant les fabricants.

Une distinction est établie entre végétation extensive (végétalisation) et intensive (jardin). La végétation extensive est caractérisée par des plantations basses peu gourmandes en eau et en substances nutritives, nécessitant une faible épaisseur de substrat. Cette végétalisation est possible à partir de couches de substrat de 5 à 10 cm d'épaisseur. Le concept est aussi applicable en toiture inclinée.

Par végétation intensive de toiture, on entend des formes traditionnelles de toitures jardins utilisables et entretenues régulièrement qui autorisent une diversité illimitée de plantes. Elle se

caractérise par des plantations nécessitant des couches de terre végétale de 15 cm à 1,5 m environ d'épaisseur.

Ces toitures apportent un complément thermique et un ralentissement de l'écoulement des eaux en cas de fortes pluies.

Prendre le risque de rénover de telles toitures après 15 ou 20 ans est-elle une bonne option économique et écologique compte tenu de ses coûts et des déchets importants alors générés ? L'emploi de la toiture compacte FOAMGLAS®, forte de ses preuves en termes de longévité et de sécurité face aux risques d'infiltration, est d'autant plus recommandé. (cf. fig. A et B page 26).

Toiture compacte accessible véhicule léger et véhicule lourd

Pour les toitures-terrasses accessibles aux véhicules, la résistance à la compression nettement supérieure du FOAMGLAS® par rapport aux autres isolants est intéressante pour sécuriser les ouvrages. De plus, même sous des charges lourdes statiques ou dynamiques, FOAMGLAS® résiste à la compression sans tassement,

participant ainsi à la fiabilité de l'ensemble et de l'étanchéité en particulier. Il en résulte des constructions plus sûres et plus minces.

La toiture compacte utilise alors du FOAMGLAS® S3 ou F, et au-dessus de l'étanchéité est mise en œuvre après désolidarisation une couche de répartition, en béton ou en enrobé, dont l'épaisseur dépend des contraintes de charges et des calculs utilisant les caractéristiques techniques remarquables du verre cellulaire. Des solutions existent en double couches d'enrobé pour les parkings véhicule léger, ou avec dalle béton pour les parkings véhicule léger et lourd, avec ou sans revêtement esthétique. **La gamme de FOAMGLAS® S3 et F, ayant notamment des résistances à la compression à la rupture de 900 et 1600 kPa, sans tassement, offre des caractéristiques techniques qui permettent d'optimiser les solutions.**

La toiture compacte accessible véhicule apporte la qualité appréciée de la sécurité face aux risques d'infiltration. Les économies en termes de coûts différés sont très importantes car les rénovations des toitures parking sont particulièrement onéreuses.

Toiture compacte légère sur support bac acier : trois qualités spécifiques

Le mode de construction légère avec des supports bacs acier est apprécié pour de nombreux bâtiments. Les étanchéités utilisées sont alors souvent autoprotégées. Cependant il y a une évolution vers la conception de toitures légères, avec des zones techniques, avec végétalisation ou avec des installations photovoltaïques.

FOAMGLAS® est mis en œuvre par collage sur les plages d'onde, en technique à chaud ou à froid, joints de plaques collés, sans l'addition de fixations mécaniques traversantes. L'étanchéité à l'air et à l'humidité de la couche isolante en verre cellulaire est d'autant plus intéressante qu'elle est en contact avec l'air intérieur (il n'y a pas d'étanchéité à l'air aux recouvre-

Risques de condensation – Exemples

(Cf. diagramme de Mollier page 28)

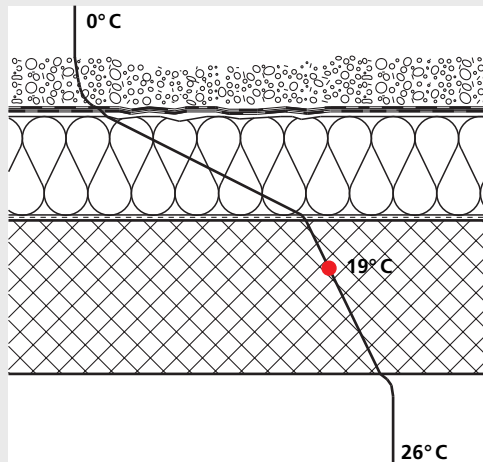


fig. e1

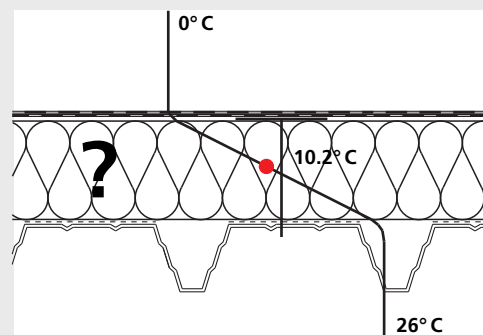


fig. e2

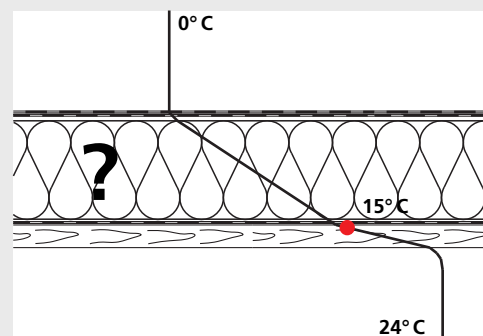


fig. e3

Exemple 1 : Piscine

Elément porteur :
dalle béton.
T=26°C, H.R.=65%
Température du point
de rosée : 19°C
Si l'isolant est dégradé...

Exemple 2 : Salle de classe

Elément porteur : bacs acier.
T=21°C, H.R.=50%
Température du point
de rosée : 10.2°C
Si la vapeur peut entrer
dans l'isolant...

Exemple 3 : Vestiaires

Elément porteur : platelage bois.
T=24°C, H.R.=58%
Température du point
de rosée : 15°C
Si l'isolant est humide...

ments des bacs acier : l'air dans les nervures est en contact avec l'air intérieur du bâtiment). L'absence de fixation élimine les ponts thermiques en partie courante. Le deuxième point fort est la sécurité vis-à-vis du risque incendie. Classé A1 (Euroclasse, classement optimum), FOAMGLAS® sécurise les toitures légères (fig. D, page 28).

Troisième point fort, les tôles d'acier nervurées étant de plus en plus minces et légères, FOAMGLAS® apporte à la toiture une qualité particulière : rigides et sans fixation mécanique, les plaques isolantes collées entre elles génèrent un effet collaborant aux bacs et apportent plus de sûreté aux accessibles techniques.

Avec FOAMGLAS®, la toiture est protégée des risques de condensation.

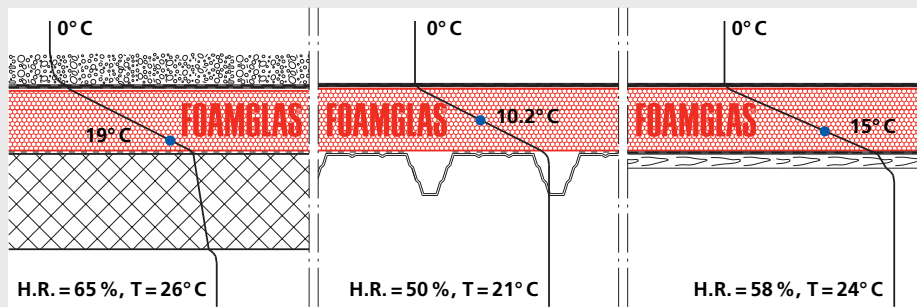


fig. E

Avec la technique "toiture compacte FOAMGLAS®" :

- La résistance thermique ne diminue pas dans le temps,
- L'humidité ne peut pas entrer dans la couche isolante,
- La localisation de la température de rosée n'est pas atteinte par la vapeur.

Les panneaux ou plaques FOAMGLAS® apportent spécifiquement trois qualités aux toitures légères : fiabilité thermique, sécurité vis-à-vis du risque incendie, résistance des toitures en cas d'accessibilité technique.

2. Aspects hygrothermiques

Incidence sur les toitures

Les caractéristiques hygrothermiques de l'air intérieur (température, hygrométrie) influent sur le comportement des toitures. Les locaux, en fonction de leur destination, sont plus ou moins humides. S'il fait froid à l'extérieur (alors il y a peu d'humidité en quantité absolue à l'extérieur), l'humidité intérieure (la vapeur) tendra à sortir du bâtiment et va exercer une pression de vapeur sur les parois. La température et le taux d'humidité de l'air intérieur peuvent ainsi entraîner des phénomènes de condensation en fonction des températures rencontrées par cette vapeur migrant dans les toitures. La température à laquelle il y a condensation est la température de point de rosée. En fonction des conditions hygrothermiques intérieures, cette température peut être très vite rencontrée (cf. diagramme de Mollier, page 28). Les schémas e1, e2 et e3 illustrent les risques. Lorsque des condensations se forment trop souvent, les dangers peuvent être notamment la corrosion des aciers dans les dalles en béton, une détérioration parfois rapide des supports en bois et bac acier. En toiture avec isolation inversée et en toiture froide, (cf. page 27), les

conséquences sont bien plus grandes, pouvant entraîner une altération importante de la performance thermique, l'humidification des faux-plafonds, des corrosions importantes de la structure,...

Pour éviter les condensations dans les toitures, la solution efficace dans le temps est de choisir FOAMGLAS® et de bien dimensionner son épaisseur en fonction des conditions hygrothermiques. FOAMGLAS® Building réalise gratuitement des études hygrothermiques pour conseiller les maîtres d'oeuvre et les entreprises dans le choix des épaisseurs de verre cellulaire nécessaires, en fonction des conditions hygrothermiques considérées.

Fiabilité des toitures avec FOAMGLAS®, même en milieu à forte hygrométrie.

FOAMGLAS® est l'assurance d'une absence de dégradation des supports et de la performance thermique des toitures, en milieu à forte et très forte hygrométrie (fig. E). Avec ses fines cellules de verre hermétiquement closes et étanches, le dispositif pare-vapeur est déjà "incorporé" dans la couche isolante. FOAMGLAS® permet d'éviter le pare-vapeur, qui est difficile à mettre en oeuvre parfaitement (la moindre erreur de pose ponctuelle d'un pare vapeur entraîne la migration de l'humidité intérieure dans les isolants perméables). FOAMGLAS® permet aussi d'éviter des ponts thermiques (mise en oeuvre par collage, sans fixation méca-

nique). Il ne peut pas y avoir de prise d'humidité par l'isolation ni migration d'humidité par capillarité, avec chutes de performance thermique alors induites, ni de circulation d'air. La couche isolante FOAMGLAS® garde ses propriétés thermiques. Les phénomènes de condensation ne peuvent pas se produire, la localisation des températures de rosée, située dans le FOAMGLAS®, n'étant pas accessible à la vapeur d'eau contenue dans l'air intérieur.

Seule la toiture compacte permet de réaliser une telle sécurité : continuité pare-vapeur et de l'étanchéité à l'air de la couche isolante, garantie thermique dans le temps, garantie d'une absence de condensation dans le support, après 5, 10, 15, ... ou 40 ans. Cette qualité explique aussi la grande longévité des systèmes d'étanchéité sur FOAMGLAS®.

Pour toutes les toitures-terrasses, quelques soient leurs contraintes techniques, et pour tout type d'hygrométrie (de l'usine sensible à la piscine sans oublier les ouvrages complexes comme les établissements scolaires), l'isolation FOAMGLAS® est reconnue pour la fiabilité qu'elle apporte aux ouvrages. Aussi est-elle, grâce à sa longévité, également reconnue comme une solution économique.