

 <p>académie Nancy-Metz</p> <p>MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE</p> <p>MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE</p> 	<p>TECHNIQUE DU FROID ET DU CONDITIONNEMENT DE L' AIR</p>		 <p>Lycée des Métiers Gustave Eiffel</p> <p>académie Nancy-Metz</p>
	<p>Tâche T3.1 : Implantation et mise en place des ensembles et sous-ensembles</p> <p>Compétence C1.3 : Concevoir, dimensionner, choisir une solution technique</p>		
	<p>Thème : S5 : Technologie des installations frigorifiques</p> <p>Séquence : S5.5 : Equipements des réseaux fluidiques</p>		
<p>Séance : Choix de l'enveloppe de la chambre froide</p>		<p>Date :</p>	

Objectif de la séance :

.....

.....

.....

Choix de l'enveloppe de la chambre froide.

Choix constructif.

On évite la création de ponts thermiques par le choix des pièces de raccordement d'origine du fabricant ou par l'adaptation intelligente des panneaux isolants au droit des raccordements.

Choix du coefficient de transmission thermique des parois.

Si dans le bilan thermique l'isolation des parois prend une importance relative élevée, il faut isoler (cas des chambres de conservation de longue durée). Des ordres de grandeur à atteindre pour les coefficients de transmission thermique sont :

- 0,350 à 0,263 W/m²K en stockage réfrigéré
- 0,263 à 0,162 W/m²K en stockage surgelé

Pour des raisons hygiéniques, on évitera la formation de condensation; c'est pour cela qu'il est nécessaire de prévoir une isolation suffisante et placée correctement. Enfin, l'optimum des gains annuels suite à une meilleure isolation interviendra en tenant compte à la fois des coûts liés à la consommation (diminution), à l'investissement dans l'isolation (augmentation) et la machine frigorifique (diminution).

Faut-il isoler la dalle du sol ?

Plusieurs configurations de chambres froides sont possibles.

Dans le cas :

- d'une chambre négative avec pièce habitée en dessous, il y a risque de condensation sur le plafond inférieur; il faut donc isoler.
- d'une chambre négative sur terre-plein, pour peu qu'il y ait de l'eau sous la chambre, il y a risque de gel; il faut aussi isoler.
- d'une chambre froide positive, on isole le plancher pour autant que la chambre soit utilisée régulièrement.

Attention que l'isolation du plancher impose souvent une marche. Différentes parades tels que le plan incliné, le décaissé dans la dalle, ..., permettent d'y remédier.

L'étanchéité des parois.

Elle va permettre de limiter la pénétration de l'air (apports thermiques) et la diffusion de la vapeur d'eau risquant de "mouiller" l'isolation (perte de qualité de l'isolation) ou de geler en formant de la glace sur les parois intérieures (risque de déformation des panneaux). Pour réaliser cette étanchéité, la chambre sera équipée d'un pare-vapeur (en général la tôle externe) continu et les portes de joints étanches. Mais la bonne étanchéité de la chambre risque de créer une dépression interne et, par conséquent, une déformation des parois. On y remédie par la pose de soupapes de décompression.

La porte et ses accessoires.

La porte de par ces ouvertures apporte des quantités importantes de chaleur et constitue donc un poste important dans le bilan thermique d'une chambre. De plus, de la condensation ou du givre se forme sur les parois. Plusieurs astuces permettent de limiter ces effets négatifs :

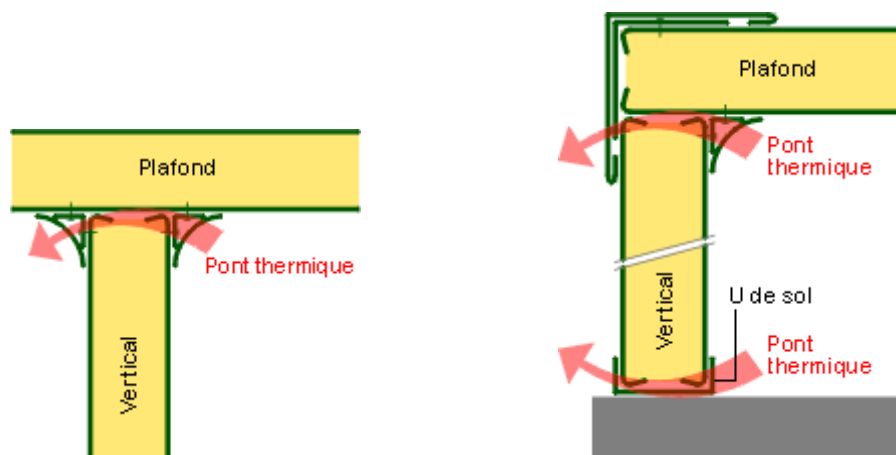
- fermeture de porte automatique
- lamelles plastiques d'obturation des portes
- vitre isolée permettant de repérer ce que l'on cherche de l'extérieur

La capacité thermique de la chambre.

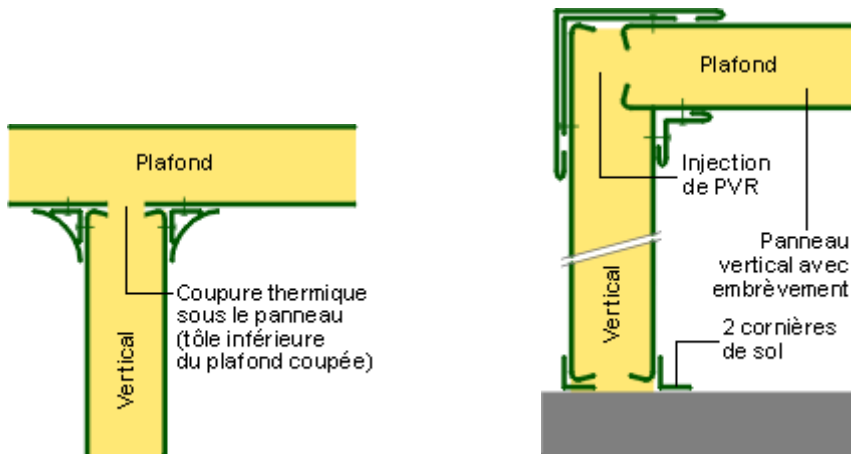
L'inquiétude des exploitants de cuisine est de tomber en panne de groupe de froid alimentant les chambres froides. C'est la capacité thermique de la chambre, associée avec son isolation qui détermine combien de temps elle tiendra sa température dans une fourchette acceptable de conservation des denrées. Une bonne inertie de dalle de sol placée sur l'isolation permet de répondre en partie à ce problème.

Choix constructif.

Pour la construction de la chambre, on a intérêt à utiliser les éléments de raccords préfabriqués prévus par les fabricants des panneaux isolants (par exemple les éléments d'angles) en s'assurant qu'ils suppriment tous ponts thermiques. En effet, si on n'utilise pas ces raccords, on risque de créer des ponts thermiques tels que ceux représentés ci-dessous :



On peut également supprimer ces ponts thermiques sur site lors de la construction en procédant à quelques adaptations qui consiste à couper la tôle ou à injecter des produits isolants. Cette opération est néanmoins plus délicate et plus difficile à contrôler.



D'autre part, il vaut mieux aussi travailler avec la modulation des panneaux par rapport à l'espace disponible. Car il est préférable d'avoir une chambre un peu plus petite mais réalisée soigneusement avec des pièces d'origine, que d'avoir une chambre (un peu) plus grande, mais bricolée en adaptant mal les raccords entre éléments préfabriqués qui auraient été découpés sur place avec le peu de précision que l'on devine.

Choix du coefficient de transmission thermique des parois.

Importance relative de l'isolation des parois.

Les apports par les parois ne constituent qu'une petite part dans les apports globaux d'une chambre froide. Cette part est plus ou moins importante selon le type et l'utilisation de la chambre froide.

Si le bilan frigorifique de la chambre ou de la cellule de congélation montre que, dans la puissance frigorifique totale, il y a une part importante d'apports thermiques par les parois, il faut s'intéresser d'autant plus près à l'isolation thermique et faire attention au vieillissement de l'isolant (les isolants perdent leurs qualités au cours du temps).

C'est par exemple le cas d'une chambre de conservation de longue durée, à température constante, dans laquelle les denrées sont introduites à la bonne température.

Choix de la valeur du coefficient de transmission thermique des parois.

De manière générale, la valeur à atteindre pour le coefficient de transmission thermique (k) des parois des enceintes de conservation dépend de l'écart de température à maintenir entre la température intérieure de la chambre et la température extérieure.

Elle est de l'ordre de :

- 0,350 à 0,263 W/m²K en stockage réfrigéré
- 0,263 à 0,162 W/m²K en stockage surgelé

Avec des parois en polyuréthane (les plus courants pour les chambres froides démontables modulables) d'une masse volumique de 30 kg/m³ et d'un coefficient de conductivité thermique (λ) de 0,028 W/mK.

Cela correspond à des épaisseurs de panneaux de :

- 7 à 10 cm en stockage réfrigéré
- 10 à 17 cm en stockage surgelé

$$k \text{ [W/m}^2\text{K]} = 1/R \text{ avec } R = 1/\alpha_{\text{int}} + e/\lambda + 1/\alpha_{\text{ext}}$$

où les coefficients d'échange superficiel $\alpha_{\text{int}} = \alpha_{\text{ext}} = 8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$, $e = \text{l'épaisseur de l'isolant [m]}$.

De manière plus précise, le coefficient de transmission thermique doit permettre :

- d'éviter les condensations superficielles
- d'assurer un bon rapport coût d'exploitations/investissements

Faut-il isoler la dalle du sol ?

Chambre froide négative avec pièce habitée en-dessous :

Le sol des chambres froides négatives est en général isolé pour les chambres vendues toutes faites.

Pour les autres, le sol doit être isolé.

En effet sans cela il y a un risque certain de condensation sur le plafond de la pièce du dessous. L'épaisseur d'isolation thermique doit donc être calculée pour éviter la condensation sur cette surface.

Il est également impératif d'isoler le sol au niveau efficacité énergétique. En effet, les apports thermiques par cette paroi et les consommations qui en découlent vont être importantes s'il ne l'est pas, vu qu'il y a une grande différence de température entre l'extérieur et l'intérieur.

Chambre froide négative sur terre-plein :

Le sol des chambres froides négatives est en général isolé pour les chambres vendues toutes faites.

Pour les autres, il est impératif, pour des raisons d'économies d'énergie, d'isoler le sol car les apports thermiques par cette paroi et les consommations qui en découlent vont être importantes s'il ne l'est pas, vu qu'il y a une grande différence de température entre l'extérieur et l'intérieur.

Exemple :

Soit une chambre froide négative (-18°C) sur terre-plein, de dimensions (largeur x profondeur x hauteur) = (2.7 x 2.4 x 2.4) m³. Le sol sous la chambre est humide à 1 m de profondeur.

Sans isolation au niveau de la dalle, les déperditions par cette surface sont de 58 W. Avec 15 cm de polyuréthane (0.028 W/mK), les déperditions par cette paroi ne sont plus que de 19 W.

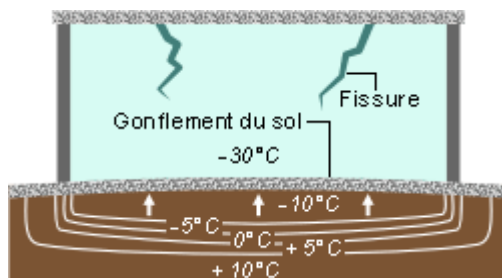
D'autre part, sans isolation de sol, il existe un danger de gel du sol s'il y a présence d'eau à faible profondeur. Si le sol commence à geler, les nodules de gel vont augmenter en épaisseur et finalement soulever et déformer le sol de la chambre. Il peut également y avoir un danger de condensation ou de givrage sur le sol extérieur autour de la chambre froide et le long des parois de la chambre froide.

Une bonne isolation du sol évite ces problèmes.

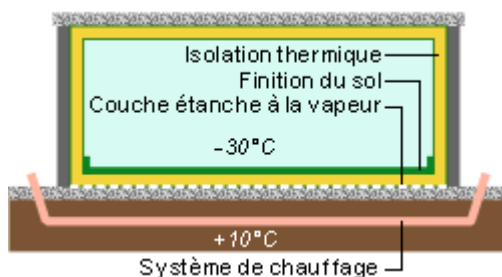
Il est à noter que les mesures décrites ci-dessous permettent également d'écartier ces risques mais utilisées seules, ces mesures ne sont pas satisfaisantes au niveau efficacité énergétique.

Ces mesures sont :

- Le drainage du sol.
- Un vide sanitaire bien ventilé par de l'air à température positive et le plus sec possible. Le cas du vide sanitaire doit être étudié pour que de la condensation n'apparaisse pas au plafond du vide, ce qui serait un risque pour les armatures de la dalle qui supporte la chambre froide.
- Un chauffage sous le sol (câbles électriques ou tuyaux de circulation d'eau, éventuellement connectés par un échangeur au condenseur de la machine). Dans ce cas, la puissance du chauffage doit être ajoutée aux apports par le sol.



Gonflement du sol sous une chambre froide



Système de chauffage pour éviter le gel du sol

Chambre froide positive :

L'isolation des chambres froides positives est en option pour les chambres vendues toutes faites. Pour les autres ce même choix est à faire.

Dans les 3 cas suivants, on choisit d'isoler le sol :

1. Si on utilise la chambre avec des mises en régime fréquentes. L'isolation du sol permet d'avoir une constante de temps beaucoup plus courte et la mise en régime en sera d'autant plus rapide, avec beaucoup moins d'énergie nécessaire.
2. Si on veut une homogénéité de la température aux environs du sol qui est souvent encombré par des dépôts de marchandises, ce qui conduit à des panaches de chaleur localisés.
3. Si le sol est en contact avec une source chaude importante (comme un four posé sur le sol près de la chambre) qui transmet de la chaleur par conduction du sol par-dessous les parois verticales de la chambre. Bien sûr, cette situation est à éviter absolument pour des raisons énergétiques.

Dans les autres cas, le choix entre un sol isolé ou non se fait en fonction :

- Du danger de provoquer de la condensation sur le plafond de la pièce du dessous lorsqu'il y en a une. Ce risque est moins important qu'avec une chambre froide négative.
- De l'augmentation des consommations électriques par rapport à celles de la même chambre dont le sol est isolé.

L'étanchéité des parois.

Pourquoi la chambre doit-elle être étanche à l'air et à la diffusion de vapeur ?

L'étanchéité à l'air et à la diffusion de vapeur va permettre de limiter :

- Les apports thermiques.
- Les entrées d'air humide et de vapeur. Ces entrées sont provoquées par la différence de pression (on ne peut pas facilement rouvrir la porte d'un congélateur ménager qu'on vient de fermer) et de température entre l'extérieur et l'intérieur.
L'humidité va se condenser dans les chambres froides positives, ou va se congeler dans les chambres froides négatives.
- Dans les deux cas, cela entraîne des ennuis à plus ou moins court terme :
 1. Mouillage de l'isolation thermique qui perd ses qualités isolantes.
 2. Apparition de glace en expansion avec danger de déformation des panneaux, pour les chambres froides négatives.

Cela entraîne la dégradation des propriétés de la chambre à terme et donc un vieillissement accéléré.

Comment rendre la chambre étanche ?

- La réalisation des joints doit être soignée.
- Un pare-vapeur qui doit être placé du côté où la pression de vapeur est la plus élevée, c'est-à-dire ordinairement du côté le plus chaud. En principe, c'est la feuille métallique du panneau isolant préfabriqué, qui joue le rôle de pare-vapeur.
Mais ce pare-vapeur doit être placé d'une manière continue et sans percements. Quelques trous dans le pare-vapeur réduisent son efficacité d'une manière dramatique.
- Tout percement des parois dans les chambres doit être rebouché soigneusement par une matière imperméable à la vapeur (mousse à cellules fermées).
- Les portes doivent posséder des joints souples qui doivent obturer très correctement les espaces entre la porte et son encadrement dormant. Un défaut de ces joints, ou une déformation de la porte, entraîne, surtout dans le cas des chambres négatives, l'apparition de glace sur les bords du cadre dormant. Cette glace empêche les joints de bien jouer leur rôle et, en plus, elle peut arriver à provoquer la déformation de la porte qu'on force en fermant. C'est le cercle vicieux.

Mesures supplémentaires à prendre avec une bonne étanchéité.

La bonne étanchéité des chambres et des portes, entraîne des conséquences importantes :

- Les entrées d'air ne se font plus que par les ouvertures de portes et il peut être nécessaire de contrôler la qualité de l'air pour les travailleurs qui sont enfermés dans les chambres (certaines denrées "respirantes", de même que les travailleurs dégagent du CO₂). Il faudrait donc, dans ce cas, assurer le renouvellement de l'air par un système de ventilation mécanique contrôlée.
- Pour les grandes chambres froides négatives, la dépression causée par le refroidissement rapide de l'air introduit par une ouverture de porte, provoque une poussée de l'air extérieur sur toutes les parois de la chambre; ce qui peut créer des déformations dans les panneaux verticaux et le plafond voire leur effondrement, surtout pour des plafonds dont les panneaux ont des portées très grandes sans être efficacement supportés par une structure.

C'est pourquoi il faut prévoir des soupapes de décompression qui permettent des passages d'air pour équilibrer les pressions à tout moment. Cela permet d'ouvrir les portes sans problème.

Bien entendu, si de l'air extérieur chaud et humide passe à travers les soupapes vers l'intérieur de la chambre, on devra éviter le gel des soupapes (froides), en les chauffant par une résistance électrique. Il faut donc prévoir une arrivée de courant pour brancher ces soupapes.

Mais il peut aussi se produire des surpressions dans les chambres froides négatives.

Là encore, les soupapes de décompression vont jouer leur rôle en laissant sortir l'air intérieur pour éviter de mettre la chambre en surpression par rapport à l'extérieur, ce qui occasionnerait des déformations des parois vers l'extérieur.

Il est essentiel que les clapets de ces soupapes soient toujours bien libres pour tout mouvement de l'air, soit vers l'extérieur, soit vers l'intérieur.

La porte et ses accessoires.

La porte de par ces ouvertures apporte des quantités importantes de chaleur et constitue donc un poste important dans le bilan thermique d'une chambre.

De même, elle est à l'origine de quantités considérables de vapeur d'eau.

Dans les chambres positives, une partie de cette vapeur, entraînée par l'air chaud qui monte, se condense en eau sur les parties froides intérieures des parois au-dessus des portes, ce qui peut créer des égouttements gênants.

Dans les chambres froides négatives, une partie de cette vapeur d'eau se fait piéger sous forme de givre au-dessus des portes.

Au départ, ce givre a une masse volumique assez faible (+ 200 kg/m³) et prend beaucoup de volume en s'accumulant à chaque ouverture. Au cours du temps, ce givre va se densifier en glace et prendre de plus en plus de poids, ce qui conduit à des masses importantes, collées à la structure au-dessus des portes. A la longue, cela peut entraîner des déformations, si la structure n'est pas assez forte pour supporter ces masses de glace.

Il faut donc régulièrement aller briser la glace si la chambre travaille en continu. Si la chambre froide est arrêtée de temps en temps pour nettoyage, la fonte de cette accumulation de glace, produira beaucoup d'eau et prendra du temps.

Ainsi, les temps d'ouverture doivent être réduits autant que possible. Quand on travaille à l'intérieur de la chambre ou quand on y fait des allées et venues, il est recommandé de refermer la porte contre son ébrasement, même sans l'encliqueter.

Des accessoires peuvent aider à limiter les effets négatifs des ouvertures de portes :

- Un système de fermeture automatique.
- Des lamelles plastiques d'obturation des baies.
- Des portes vitrées isolées permettent de trouver les aliments avant d'entrer et de ne pas perdre de temps à chercher dans la chambre froide, portes ouvertes. Ce qui représente une économie d'énergie mais également une amélioration du confort pour les travailleurs.
Les vitrages doivent être en PLEXY pour éviter les bris de vitre.

Le coefficient d'isolation thermique est inférieur à celui du reste de la porte mais il doit être suffisant pour éviter l'apparition de condensation.

En ce qui concerne les surconsommations énergétiques, les surfaces de ces vitrages sont souvent petites et sont donc négligeables dans l'ensemble.

- Il existe des alarmes qui sonnent tant que la porte est ouverte, ce qui pousse la personne à sortir au plus vite (bien que le froid devrait suffire...!!)

Dans le même ordre d'idée, une chambre froide positive peut avantageusement servir d'espace tampon entre la chambre froide négative et l'extérieur.

La capacité thermique de la chambre.

Associée à l'isolation thermique, la capacité thermique de la chambre froide détermine sa constante de temps.

La constante de temps de la chambre frigorifique permet d'estimer, en première approximation, la façon dont elle va se comporter en régime transitoire (c'est-à-dire entre deux paliers de température).

Une constante de temps courte indique que l'on aura des variations rapides de température, et une constante de temps longue, indique l'inverse.

Le choix entre une constante de temps longue (ou une inertie thermique importante pour une isolation déjà choisie) et une constante de temps courte (ou une inertie thermique faible pour une isolation thermique déjà choisie) se fait en fonction de :

- **la volonté de maintenir les marchandises à bonne température**
- **la fréquence des mises en régime de la chambre froide**

Parois frigorifiques :



Panneaux sandwichs à parement métal

Modulfeu

Isocomposites

Panneaux sandwichs constitués d'une âme en laine de roche comprise entre deux parements collés en tôle d'acier plane de 6/10 mm.

Disponible en six épaisseurs de 6 à 15 cm. Emboîtement vertical des rives longitudinales.

Utilisable en bardage extérieur, cloisons de distribution, plafonds et enveloppe de locaux agroalimentaires et frigorifiques à température positive et ambiance AII à AI4

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

Densité : 130 kg/m³ (laine de roche).

Dimensions (l x ép) : 118 x 6/ 8/ 10/ 12/ 14/ 15 cm jusqu'à 12 m de longueur.

Finition : acier thermolaqué ou plastifié, ou inox.

Avis technique n° 2/03-1056.

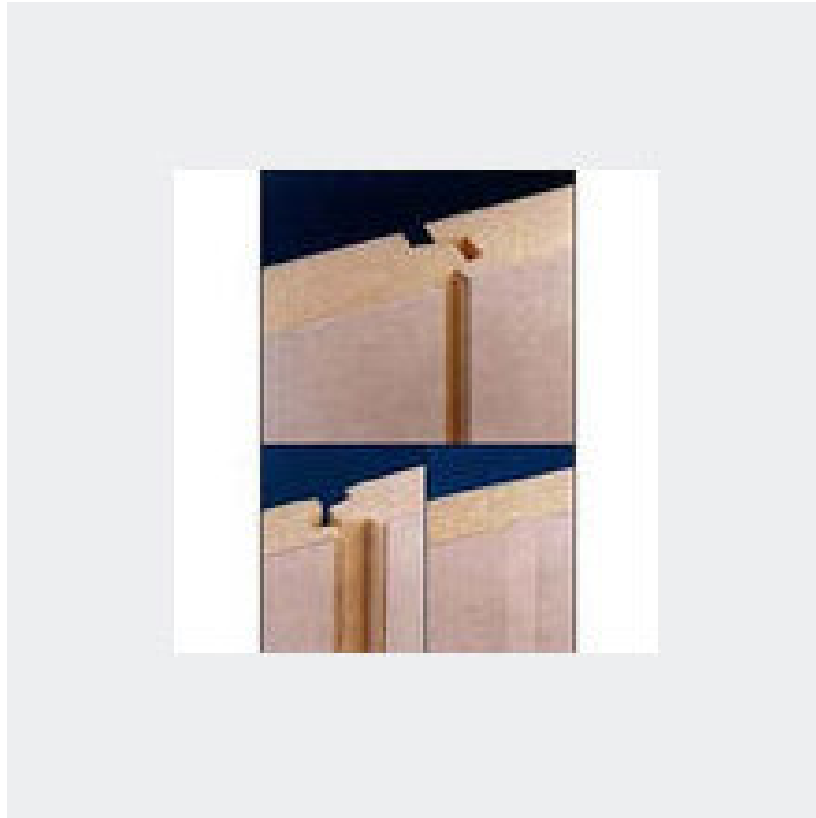
Classement réaction au feu : M0 (PV n° RA-99 549 délivré par Cstb).

Coefficient de transmission thermique (K) : 0,26 à 0,64 W/m².K. (selon épaisseur).

Coefficient de conductivité thermique (λ) : 0,04 W/m.K.

Mise en œuvre : sur ossature porteuse par crapauds fixés dans inserts métalliques, vis traversantes autoperceuses ou à double filet (panneaux verticaux) ; par suspentes aluminium ou polyester fixés sur charpente par systèmes mécaniques réglables (plafond) ; joints verticaux entre panneaux par mastic silicone extrudé.

Accessoires : profilé U acier galvanisé ou inox pour liaison au sol ; bavette rejet d'eau acier.



Procédé d'enveloppe de locaux agroalimentaires et frigorifiques

SM Sodistra

Sodistra

Panneaux sandwichs avec parement polyester deux faces ou mixte tôle avec âme en mousse polyuréthane ou en PVC expansé. Jonction des panneaux par emboîtement.

Utilisable pour locaux à température positive/négative, tout classes d'ambiances.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

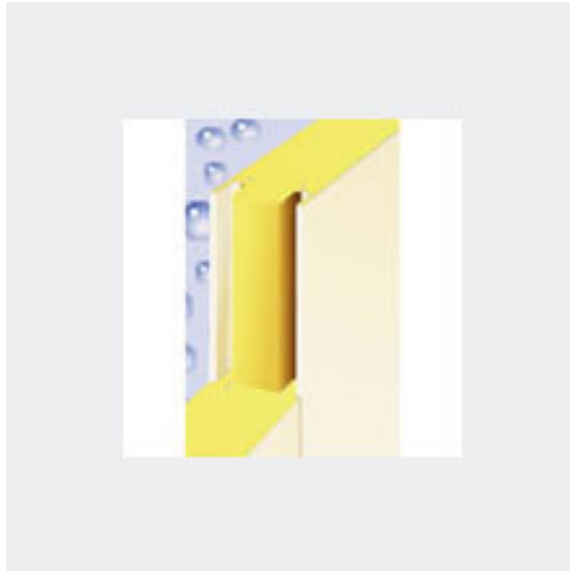
Epaisseur : de 34 à 184 mm.

Longueurs maximales : 7 m.

Largeur utile : 1,2 m.

Avis technique : 2/99-714.

Coefficient de transmission thermique K : de 0,01 à 0,03 W/m²°C (selon épaisseur).



Procédé de bardage pour locaux agroalimentaires et frigorifiques

Téléclip

Telewig

Panneaux sandwich industriels destinés à la construction de chambres froides positives ou négatives, de locaux alimentaires et de façades extérieures.

Constitués d'une âme en mousse polyuréthane expansé sans CFC et d'un parement en tôle d'acier galvanisé thermolaqué ou plastifié, disponible d'aspect lisse ou nervuré.

Fixation par emboîtement rainure-langnette.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

Dimensions (L x l) : 12 x 1,15 m.

Epaisseur : 45/ 60/ 80/ 100/ 120/ 140/ 170/ 200 mm.

Poids : 12,1 à 18,3 daN/m².

Avis technique : 2/04-1076.

Classement Euroclasse : B-s3, d0.

Coefficient de transmission thermique (U) : 0,13 à 0,54 W/m².K (selon épaisseur).