

Titre du chapitre

Panneau isolant sous vide (PIV)

Présentation du produit et contexte d'utilisation

Les Panneaux isolants sous vide (PIV) sont constitués d'un matériau âme ou cœur, micro ou nano-cellulaire à structure poreuse et conditionné sous pression réduite et d'un film barrière souple, étanche à l'eau et à l'air, constituée d'un film thermo soudable. Ils possèdent une conductivité thermique environ 5 fois plus faible que celle des matériaux d'isolation classique comme les fibres minérales ou de verre ou les mousses de polystyrène ou de polyuréthane. A pouvoir d'isolation équivalent, il faut, par exemple, 2 cm de PIV contre 6 cm de polystyrènes expansés ou 9 cm de laines minérales. Ainsi, les PIV peuvent permettre de gagner 2 à 5 % de surface sur une maison type. Autre atout : leur masse volumique d'environ 180 kg/m³ conduit, selon l'épaisseur (de 15 à 30 mm), à des masses surfaciques de 2,7 à 5,4 kg/m², ce qui est très important pour l'inertie thermique des bâtiments.

Les PIV sont plus chers que les isolants classiques, mais leur utilisation est particulièrement intéressante lorsqu'il est essentiel d'économiser de l'espace et qu'aucune autre solution technique n'est envisageable.

Applications : Initialement développés dans les années 70 pour être utilisés dans les réfrigérateurs et congélateurs, les PIV peuvent être utilisés dans le bâtiment, et plus précisément pour l'isolation de sols, toits et lucarnes, terrasses, des éléments de balustrade et de façades, des portes, des caissons de volets roulants. Les PIV sont également recommandés dans les composants de façades et les doublages isolants pour équiper les hôpitaux, hôtels, écoles..., c'est-à-dire dans des bâtiments où leur maintenance est bien assurée et prévient donc du risque de percement. Leur utilisation est spécialement intéressante lors de rénovation de bâtiments (exemple : planchers de rénovation ou renforcement de l'isolation des bâtiments par l'intérieur). Il existe de nombreux exemples d'applications des PIV en Suisse (www.vip-bau.ch) et en Allemagne (www.vip-bau.de).

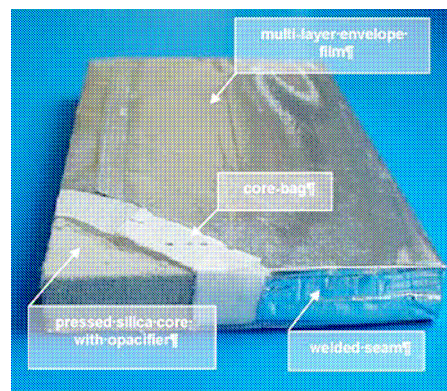


Figure 1 : Constitution schématique d'un panneau isolant sous vide (Source : www.vip-bau.ch)

Fabricant et type

Il n'existe pas de fabricant en France, les principaux fabricants sont en Allemagne :

- Consortium : **VA-Q-TEC AG** (produit le matériau isolant sous vide) ; **SWISSPOR** (emballage de l'isolant sous vide et commercialisation du produit fini), **ETERNIT SWISS** (finition bardage minéral extérieur) et l'**ECOLE NW DE BALE** (Recherche) : va-Q-vip, va-Q-vip B
- **SCHNEIDER SYSTEMTECHNIK AG** : VACUtex®-vip
- **ZZWANCOR** (division de Wienerberger) : Vacucomp S, Vacucomp P1, Vacucomp P2
- **VAKU-ISOTHERM GmbH** : VIP-Isotherm, Vaku-Iso-Gumn, Vaku-Putzplatte
- **BOETKER** : Boetker Vakupaneel®
- **MICROTHERM N.V.** : Microtherm® VIP, Microtherm SlimVac®
- **POREXOTHERM DÄMMSTOFFE GmbH** : Vacupor®NT, Vacupor®NT-B2, Vacupor®RP, Vacupor®PS, Vacupor®FP

Caractéristiques physiques

Le VIP repose sur le couplage des propriétés physiques des matériaux nanoporeux et de la basse pression. Il résulte de l'application de deux principes : éliminer le gaz en faisant le vide dans une enveloppe étanche et réduire la mobilité du gaz en l'emprisonnant dans des cavités de taille inférieure au libre parcours moyen de l'air. Pour l'air, ce dernier est de l'ordre de 70 nm ce qui relève du domaine des matériaux nanoporeux à porosité élevée (> 90 %), comme les poudres de silice ou les aérogels. Ce choix répond à l'exigence d'un matériau "cœur" visant à obtenir des panneaux plans et la réduction de la conduction par la phase gazeuse. La contrepartie porte sur la nécessité de disposer d'un emballage étanche à l'air et à l'humidité, pour laquelle ces types de matériaux présentent une sensibilité importante à cause de leur grande surface spécifique et la taille nanométrique des pores. Pour supprimer la conduction de l'air dans ces matériaux nanoporeux, une réduction de pression jusqu'à 1 mbar est suffisante.

Composition (de l'intérieur vers l'extérieur)

De couleur grise, le VIP est constitué d'une âme et d'un film :

- Composition du matériau âme (ou matériau cœur - « core material ») :

Les deux types de matériau cœur généralement employés aujourd'hui sont les mousses polymère micro poreuses et les silices nano poreuses (SiO₂ agglomérée) qui sont devenues le composant principal dans les PIV pour les applications du bâtiment. La composition est la suivante :

- 80 % de dioxyde de silice (SiO₂),
- 15 % de carbure de silicium (SiC)
- 5 % d'autres produits.

Core Material	Thickness [mm]	Mass [kg/m ²]	R _w Mass Law [dB]
Silica	10 .. 33	2.2 .. 5.7	19 .. 26
Open-Pore Polyurethane	20 .. 30	1.5 .. 2.2	16 .. 19
Micro Fleece	7 .. 14	1.7 .. 3.0	17 .. 21
Coarse Glass Fiber	4	1.7	17
Powder Variant	15 .. 33	3.8 .. 5.8	23 .. 26

Table 1 VIP Variants.

- Composition du film :

Film constitué d'un multicouche comportant des films polymère (PE et PET) et de l'aluminium sous forme laminée (feuille d'épaisseur de l'ordre d'une dizaine de micromètre) ou métallisée (dépôt sous vide d'un film de quelques dizaines de nanomètre). La métallisation peut être effectuée sur une face ou sur les deux faces d'un film PE et plusieurs films PE métallisés peuvent être complexés pour former un film unique.

Exemple de conception du film :

- Scellement intérieur PE, env. 40 µm
- Métallisation sous vide Al, env. 0.04 µm
- Couche extérieure PET, env. 60 µm

Les PIV peuvent être renforcés sur un ou deux côtés par du caoutchouc concassé, du polystyrène, etc. Ils peuvent contenir un capteur pour vérifier la pression intérieure.

Procédé de fabrication

Les PIV sont réalisés en conditionnant sous pression réduite le matériau âme ou cœur au sein de l'enveloppe barrière constituée d'un film thermo soudable qui doit en outre limiter la formation des ponts thermiques au niveau des tranches. La réalisation d'un PIV consiste donc à préparer un sachet pré-soudé sur trois côtés à l'intérieur duquel le matériau "âme" est introduit puis mis sous vide lors du scellage du quatrième côté. Au préalable, une synthèse des différents produits constituant l'âme et le film est réalisée.

Caractéristiques fonctionnelles

Avis Solidité / Structure

Forme : rectangulaire

Masse volumique : de 150 et 300 kg/m³ (fonction de l'épaisseur du panneau)

Epaisseur : de 10 à 50 mm par pas de 5 mm.

Dimensions standards : [150 à 3000] x [150 à 1250] mm². Les panneaux ne pouvant être coupés, il est possible de disposer de panneaux sur mesure (mais plus chers et plus longs à fabriquer)

Film barrière fragile et conducteur thermique
Pression intérieure : [0,5-5] mbar (à livraison)
Augmentation de la pression de gaz à température ambiante : < 1 à 2 mbar/an (mesuré avec $e=20\text{mm}^1$)
Point de fusion : > 1200 °C
Tolérance de température : de [-70°C à -50°] à [80°C à 120°]
Tolérance d'humidité relative à température ambiante : 0 à 60%
Résistance à la pression : environ 90-160 kPa, 11-13 N/cm² (10% de déformation/charge)

Avis Mise en œuvre

Stockage : A entreposer au sec, à des températures n'excédant pas 30°C et à l'abri des coups.

Mise en œuvre :

- Panneaux fragiles : doivent être manipulés avec précaution et protégés par des parements. Il est préférable de ne pas mettre en œuvre les VIP directement sur le chantier, mais de les assembler en usine avec les différents constituants de la paroi.
- Afin de ne pas perdre le vide d'air : ne peuvent être ni cloués, ni percés, ni coupés, ni fraisés, ni touchés des bords coupants, ceci pour éviter toute ventilation du panneau. L'enveloppe restera toujours fermée, sans être abîmée. A appliquer sur des surfaces lisses et droit sans irrégularités tranchantes qui pourraient perforer l'enveloppe des panneaux..
- Les panneaux peuvent être assemblés sur place en utilisant de l'adhésif sans solvant ou bandes adhésives. La compatibilité film/colle doit être testée avant application.
- Enjeu des ponts thermiques : comme les panneaux ont une très faible conductivité thermique, même de l'air calme non convectif dans les espaces entre les panneaux causent des ponts thermiques. Ceux-ci sont encore plus importants si présence d'un matériau (en particulier du métal) entre les PIV. Certains panneaux ont des bords lisses et peuvent pratiquement être posés en continu et joints serrés.
- Ne doivent pas supporter en permanence une haute humidité relative.

Manipulation :

Eviter la formation de poussière. En cas de formation de poussière, doit être siphonné in situ.

Avis Réglementation / Sécurité / Incendie / ERP

Le classement au feu est directement lié au type de film utilisé pour le VIP.

Le matériau âme est non combustible (à part à très haute température) si à base de silice.

Les caractéristiques utiles d'un panneau VIP est fonction de l'application de celui-ci dans le bâtiment. Ceci impose que le panneau VIP soit évalué dans le cadre de l'Avis Technique (évaluation liée à l'application).

Confort et Energie

Thermique

La performance des panneaux PIV dépend à la fois du matériau âme, du film barrière et des parements structuraux.

Film barrière :

- très étanche à la vapeur d'eau : $\mu = \text{infini}$
- conducteur thermique

Panneaux :

- Conductivité λ : de 0,004 à 0,008 W/(m.K) (valeur basse : pour les plaques seules, valeur haute : avec prise en compte des pertes dues aux jonctions + effet d'alteration) ; décroît avec le temps (pour un panneau va-Q-vip B de 20 mm : baisse de 1 mbar/an dans conditions normales d'utilisation ; au bout de 50 ans : augmentation de λ de 3-4 mW/(mK))
- Coefficient de transmission surfacique U (épaisseur : 20 mm) : 0,25 W/(m².K), 0,40 W/(m².K) avec pertes périphériques et vieillissement. Attention : fabricants de VIP ne donnent généralement que la valeur de U au centre du panneau. Cependant le U dépend de la façon dont sont montés les panneaux et de leur taille. Exemple : Sur un mur de 17,5 cm en brique de sable-chaux (sand-lime) : isolé avec 3 cm de VIP + 3 cm de polystyrène : valeur de U d'un panneau de 0.5 x 0.5 m² est 3 fois plus grand que U pour un panneau infiniment large avec un film d'aluminium de 8 μm .
- Chaleur spécifique du noyau : 0,8 kJ/(kg.K) (à température ambiante)
- Masse volumique : environ 180 kg/m³

Ponts thermiques :

Le pont thermique périphérique a un rôle important sur la caractéristique thermique globale du VIP : ces ponts thermiques peuvent représenter 25 % à 35 % de transfert d'énergie complémentaire. Les grands panneaux avec un ratio côté/surface favorable sont à privilégier : pour un panneau de côté divisé par deux (donc 4 fois plus petit), la part en pont thermique augmente de 15 %.

¹ Moyenne pour les produits : Va-Q-vip B, Va-Q-plus, VACUtex-vip

Influence du film sur les transferts thermiques :

La couche d'aluminium doit être la plus fine possible, de préférence < 100 nm. Habituellement, les couches d'aluminium ont une épaisseur comprise entre 50 nm (film plastique métallisé) et 10 µm (enveloppe métallique).

L'aluminium a comme atout : la résistance à la traction, le bas prix et la disponibilité mais sa conductivité est importante : 200 W/(m.K) entraînant des transferts thermiques importants. Le transfert thermique via la partie plastique est négligeable car a une conductivité thermique 100 fois moindre que l'aluminium.

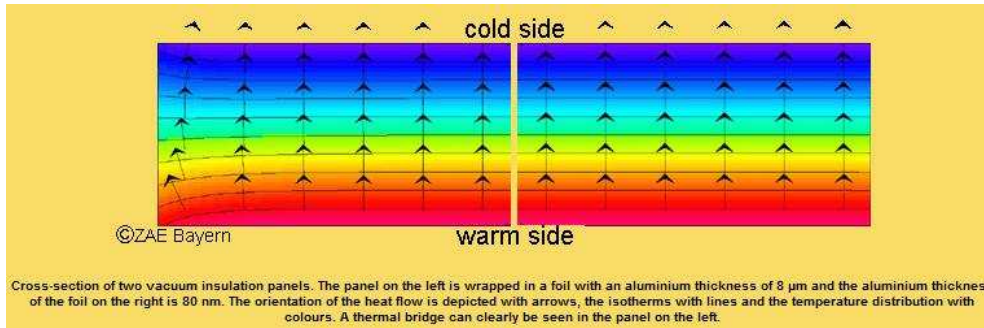


Figure 2 : Section transversale de 2 panneaux : isothermes et direction du flux thermique. Epaisseur de la couche d'aluminium : à gauche : 8 µm, à droite, 80 nm. Plus les isothermes sont déformées, plus le pont thermique est important.

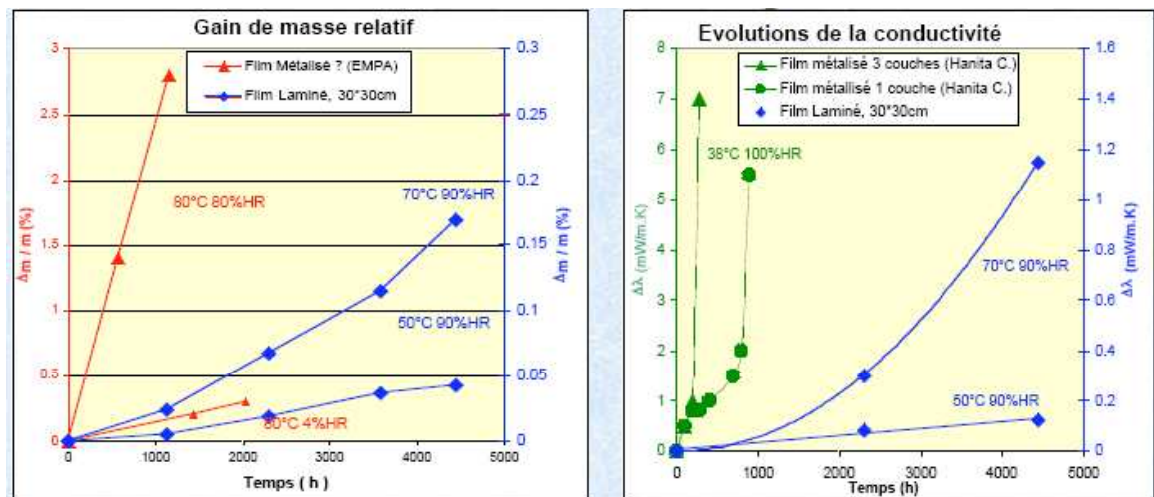


Figure 3 : Fiabilité des VIP à long terme (source : Bernard YRIEIX - Claude POMPEO, CSTB, EDF)

Acoustique

Etude réalisée par le « Fraunhofer Institute for Building Physics » de Stuttgart.

La perte minimale de transmission acoustique des VIP examinés est de 2 kHz et partiellement au dessus de 5 kHz.

Si une haute isolation acoustique est cherchée, il est nécessaire de mettre en place des mesures supplémentaires, car l'isolation phonique apportée par les PIV est faible. L'accroche d'un VIP à un mur massif avec protection par une plaque de plâtre ne change pas la perte de transmission du mur de manière sensible, sauf pour les VIP avec un matériau cœur de polyuréthane souple. Il est difficile d'éviter l'effet de résonance pour les panneaux plâtrés en façade du à la difficulté pour coller les couches entre elles.

Visuel

Ne peut être vu car nécessite un cloisonnement dû aux risques de percements.

Olfactif

Aucune odeur particulière.

Approche financière

Investissement (prix avec référence de lieu et de date)

Prix moyen : entre 50 et 100 €/m² (source : CSTB, 2009).

Swisspore : 150 € / m² (prix indicatif non contractuel, Source : Swisspore, 2008) ;

Va-Q-vip B : 100 - 200 €/m², version bon marché à 70 €/m² (Source : va-Q-tec AG, 2009)

Si le marché du bâtiment démarre sur ces produits, le développement de fabrication sera nécessaire et les prix vont baisser.

Le CSTB cible un coût de l'ordre de 20 à 30 € le m² (source : CSTB, 2009)

Traitement et entretien

Pour les traitements et les entretiens, il n'y a rien de prévu pour le moment. Il faudrait trouver un système permettant de remplacer les panneaux de VIP dont le vide s'est cassé. Cela suppose que l'on puisse connaître la pression interne du panneau (source : CSTB).

Présentation graphique



Figure 4 : Panneau Vacucomp P2 couvert des deux côtés d'une couche de caoutchouc concassé (source : ZZwancor)



Figure 5 : Comparaison épaisseur isolant classique - isolant sous vide



Figure 6 : Rénovation : Isolation du sol : OSB au 1er plan, VIP au centre et softboard au fond (source : www.vip-bau.de)



Figure 7 : Isolation d'une façade. En rose : panneaux de polystyrène en cours de montage (source : www.vip-bau.de)



Figure 8 : Toiture préfabriquée qui incorpore un PIV (en gris sur la photo) (source : <http://www.enob.info/en/new-technologies/projects/details/sandwich-building-elements-with-vacuum-insulation/>)

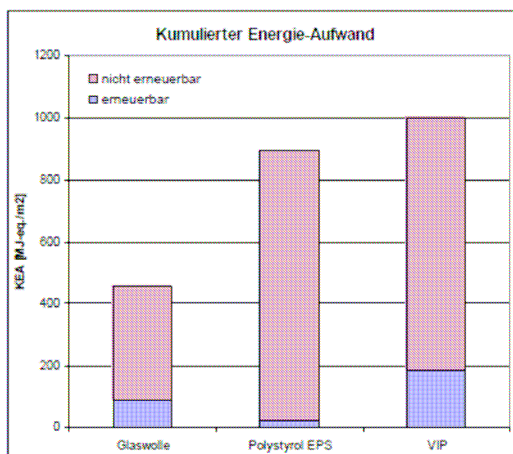
Caractéristiques environnementales

Origine des produits (naturelle, synthétique, recyclage)

Ressources renouvelables : 5 %

Matériaux recyclables : 77 %

Matériaux minéraux : 90 %



Nicht erneuerbar : non renouvelable
Erneuerbar : renouvelable

Glasswolle : laine de verre
Polystyrol : polystyrène

Figure 9 : Comparaison des dépenses énergétiques cumulées (méthode KEA, « Kumulierter Energieaufwand »)

Caractéristiques sanitaires et santé (micro-organisme, émission COV, radioactivité, fibres...)

Pas de FDES

Emission de gaz à effet de serre = 3,43 kg CO2 eq / kg

Acidification = 0,01 kg SO2 eq / kg

Energie primaire non renouvelable = 62,10 MJ Ep / kg

Vacupor NT : Evaluation écologique (selon BauBook) : installation : 60 % ; Utilisation : 100% , entretien : 35 % ; Total : **58 %**

Mesures de 1^{er} secours :

Ne pas inhaler la poussière

Après inhalation : air frais

Après contact avec la peau : laver abondamment avec eau ou eau et savon.

Après contact avec les yeux : rincer immédiatement et abondamment avec de l'eau. Demander conseils médicaux en cas d'irritation continue.

Equipement de protection

Compte-tenu du ratio longueur diamètre, les fibres ne peuvent entrer dans les poumons.

En cas de formation de poussière : masque de fine poussières P2.

Protection mains en cas d'exposition longue et importante : gants de protection, en caoutchouc ou PVC

Protection yeux en cas d'exposition longue et importante : lunettes de protection serrées

Pas de protection de la peau.

Eviter d'introduire matériel dans eau de surface ou dans terre.

Réactivité-stabilité

Formation d'acide silicique cristallin (crystalline silicic acid) possible en cas d'utilisation prolongée à plus de 900°C

Toxicologie :

En cas de formation de poussière, peut causer des irritation des yeux et du système respiratoire.

A priori pas de danger si utilisé dans les pratiques standards industriels et régulations locales.

VACUtex®-vip : Selon le fabricant, le noyau de poudre n'est pas une matière dangereuse (directives 91/155/EEC). Aucun produit de décomposition dangereux ne s'en échappe et, d'après les connaissances actuelles, ne cause aucun risque de santé chez l'humain.

Ecotoxicité :

Pas de dommages attendus pour organismes d'eau (water organisms).

A priori pas d'effet sur stations d'épuration des eaux.

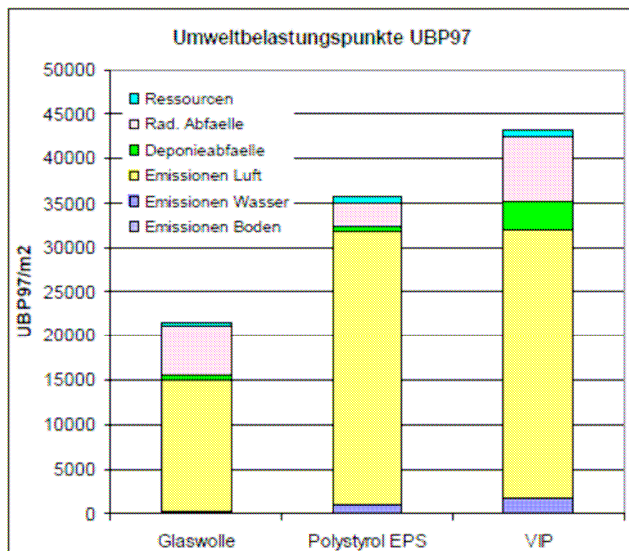
Insoluble dans l'eau.

Séparation par sédimentation.

Bio-accumulation : Pas d'effet attendu

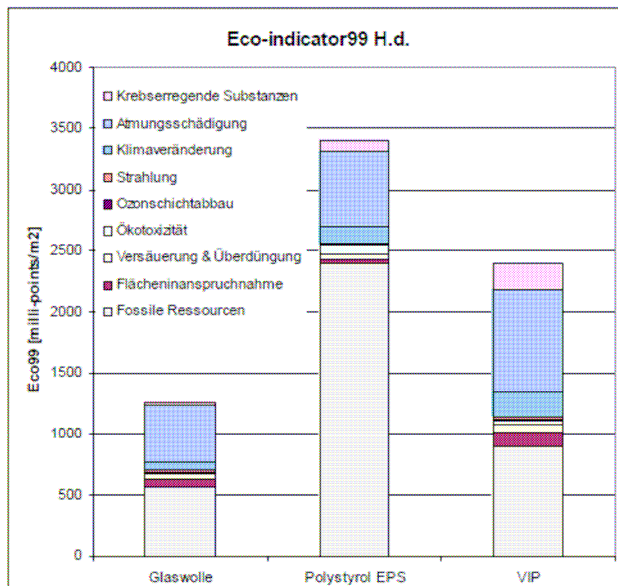
Éléments d'ACV (contexte local, recyclage)

Etudes suisse – résultat avec 1 m² de PIV avec U=0,15 W/(m².K) ; VIP du fabricant allemand Wacker-Chemie avec cœur en silice pyrogéné enveloppé dans barrière étanche.



Ressourcen = Ressource (énergie primaire)
 Rad. Abfaelle = déchets radioactifs
 Deponieabfaelle = déchets en décharge
 Emissionen Luft = émissions dans l'air
 Emissionen Wasser = émissions dans l'eau
 Emissionen Boden = émissions dans le sol

Figure 10 : Comparaison des différents matériaux isolants : laine de verre (Glaswolle), Polystyrène EPS, et VIP selon la méthode de la saturation écologique (« ökologischen Knappheit ») mesurée avec des unités de charges écologique (Umweltbelastungspunkte) UPB 97²



Krebserregende Substanzen = substances cancérigènes
 Atmungsschädigung = dommages respiration
 Klimaveränderung = changements climatiques
 Strahlung = rayonnement
 Ozonschichtabbau = destruction de la couche d'ozone
 Ökotoxizität = Ecotoxicité
 Versäuerung & Überdüngung = acidification et apports excessifs d'engrais
 Flächeninanspruchnahme = utilisation des sols
 Fossile Ressourcen = Ressources fossiles

Figure 11 : Comparaison des catégories d'effet ("Wirkkategorien") des matériaux isolants (méthode Eco indicateur 99)

Construction très énergétivore (surtout électrique) : Ecoindicateur 99 : 90 % de l'évaluation des VIP est imputable à l'industrie manufacturière de silicium (en particulier la fabrication de SiCl4 et de SiC).

Entretien Maintenance

Durée de vie : En fonction des différentes sources : plusieurs dizaines d'années (source : va-Q-tec AG), jusqu'à 50 ans (source : CSTB).

La durée de vie augmente si le panneau présente un grand volume par rapport à sa surface.

Diminution des performances avec le temps.

Entretien :

Pas d'entretien particulier. Si nécessaire, nettoyage à l'eau.

² <http://www.riss.de/daten/infopoint/oekofakt.PDF>

Conclusions, Synthèse, avantages/désavantages

L'utilisation dans le bâtiment des VIP est relativement récente.

Les avantages sont les suivants :

- Performance thermique élevée et une faible épaisseur
- Utilisation particulièrement intéressante si exigences d'encombrement (en particulier en réhabilitation)
- Barrières très étanches aux transferts de vapeur d'eau.

Les inconvénients sont les suivants :

- Performances liées à leurs tenues dans le temps et aux ponts thermiques périphériques créés par le film.
 - Film barrière est fragile. Percés, ils perdent toute efficacité. Ainsi, un soin important doit être apporté à la mise en œuvre.
- De plus, il faudrait trouver un système permettant de remplacer les panneaux de VIP dont le vide s'est cassé.
- Film barrière conducteur thermique
 - Ne disposent pas de certification ACERMI.

Bibliographie

Articles :

Vacuum Insulated Constructions in Detail, Wolfgang M. Willems, Kai Schild

Panneaux isolants sous vide : outils d'analyse pour prédire la durée de vie et procédures d'évaluation, Claude POMPEO (CSTB), Clarisse MEES (ARCELOR), Jean-Claude DAROCHA (ACOME), Bernard YRIEIX (EDF R&D), 2007

Innovative Low Energy Renovation of an Office Building : Concept and Simulation, Friedrich Sick, Alfred Kerschberger

Durabilité des panneaux super isolant sous vide, Claude POMPEO (CSTB), Bernard YRIEIX (EDF)

Sound transmission loss of vacuum insulation panels, Waldemar MAYSENHÖLDER

Ökobilanz eines Vakuum-Isolations-Paneels (VIP), Ausgearbeitet durch Institut für Energie, FHBB, Muttentz, ESU-services, Uster, 2003

Site web :

www.vip-bau.de et www.vip-bau.ch : plateformes internet allemande et suisse pour PIV

www.baubook.at : Base de données IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie :

www.va-q-tec.com : site du fabricant VA-Q-TEC AG

www.microtherm.uk.com : site du fabricant MICROTHERM N.V.

www.boetker.de : site du fabricant BOETKER

www.vaku-isotherm.de : site du fabricant VAKU-ISOTHERM GmbH

www.zzwancor.ch : site du fabricant ZZWANCOR

www.porextherm.com : site du fabricant POREXTHERM DÄMMSTOFFE GmbH

www.syag.ch : site du fabricant SCHNEIDER SYSTEMTECHNIK AG

www.ademe.fr : site internet de l'ADEME

www.cnidep.com : site internet du CNIDEP

www.cstb.fr : site internet du CSTB

Echanges avec :

M. Claude POMPEO, CSTB.

M. Roland CAPS, Va-Q-Tec