



Isolation: la méthode «Spider»,  
indicateur pour des constructions  
écologiques et économiques!

Version longue

isolants évalués  
selon la méthode

**spider**



**swisspor**  
● ● ●

isolants évalués

selon la méthode

**spider**



Graphiques présentant  
les caractéristiques durables  
des matériaux isolants.

Rapport sur la méthodologie  
utilisée et les résultats obtenus

**büro für  
umweltchemie**

Ueli Kasser  
Schaffhauserstrasse 21  
CH-8006 Zürich  
Tel. 043 300 50 40  
Fax 043 255 15 35  
u.kasser@umweltchemie.ch  
www.umweltchemie.ch

Sur mandat de swisspor AG, 6312 Steinhausen

# Table des matières

	<b>Résumé</b>	<b>4</b>
1.	<b>Objectifs et conception</b>	<b>6</b>
1.1	Objectifs	6
1.2	Conception des graphiques en toile d'araignée	6
1.3	Choix des caractéristiques à prendre en compte	6
1.4	Domaines d'application et matériaux d'isolation	10
2.	<b>Méthodologie</b>	<b>12</b>
2.1	Bilans des matières et d'énergie	12
2.2	Prix avantageux	18
2.3	Sécurité de mise en œuvre	20
2.4	Absence de matières potentiellement nocives	24
2.5	Durée d'utilisation	28
2.6	Valorisation ou élimination	29
3.	<b>Toitures plates</b>	<b>32</b>
3.1	Dispositif de base et conditions aux limites	32
3.2	Résultats	36
4.	<b>Façades ventilées</b>	<b>38</b>
4.1	Dispositif de base et conditions aux limites	38
4.2	Résultats	38
5.	<b>Façades compactes (isolations thermiques extérieures crépies)</b>	<b>46</b>
5.1	Dispositif de base et conditions aux limites	46
5.2	Résultats	46
6.	<b>Murs extérieurs enterrés (isolations périmétriques)</b>	<b>52</b>
6.1	Dispositif de base et conditions aux limites	52
6.2	Résultats	54
	<b>Annexes</b>	<b>56</b>
Annexe A	Données sur les isolations de toitures plates	56
Annexe B	Données sur les isolations de façades ventilées	62
Annexe C	Données sur les isolations thermiques extérieures crépies	72
Annexe D	Données sur les isolations périmétriques	78

# Résumé

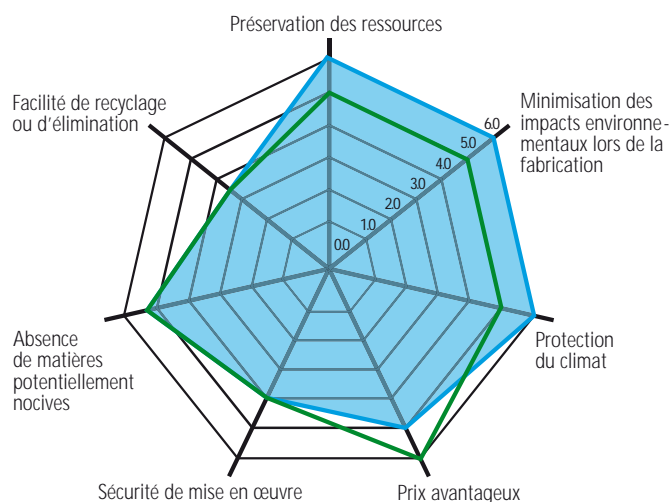
Entreprise de renom en Suisse, swisspor produit et fournit une grande variété de matériaux isolants. Avec l'évaluation des isolants selon la méthode «Spider» (les profils en toiles d'araignée), elle fournit aux concepteurs, maîtres d'ouvrage et autres professionnels de la construction un outil permettant d'identifier et d'évaluer rapidement les différentes propriétés des matériaux. Les axes des graphiques de la méthode «Spider» représentent, selon un principe harmonisé, les caractéristiques des matériaux d'un point de vue écologique et économique, ainsi qu'au niveau de leur facilité d'utilisation. Les graphiques donnent une vue globale et transparente des informations, permettant de les enregistrer mentalement très facilement. La méthodologie a été développée et les graphiques réalisés par la société indépendante «Büro für Umweltchemie» (bureau pour la chimie environnementale) en collaboration avec les experts de la société swisspor. Le présent rapport assure la transparence des données.

Le principe de présentation est on ne peut plus simple: pour chaque domaine d'application, les graphiques présentent six à huit caractéristiques (critères d'évaluation). Celles-ci sont disposées dans le sens des aiguilles d'une montre, suivant les étapes du cycle de vie que sont la fabrication, les investissements, la mise en œuvre, l'utilisation et l'élimination. Les axes sont libellés de manière positive (ils expriment des qualités) et suivent une échelle uniforme. Les caractéristiques choisies répondent aux conditions spécifiques requises pour les quatre domaines d'applications suivants: **toitures plates, façades ventilées, façades compactes** (isolations thermiques extérieures crépiées) et **murs extérieurs enterrés** (isolations périmétriques). Les comparaisons se basent sur un pouvoir isolant de  $U=0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  pour les toits et les façades, et de  $U=0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  pour les murs extérieurs enterrés. Elles ne portent pas seulement sur les isolants eux-mêmes, mais également sur les matériaux auxiliaires attenants aux isolants (fixations, etc). Pour chaque domaine d'application ont été choisis les matériaux isolants adéquats les plus courants, ainsi que les alternatives possibles.

Pour trois des caractéristiques considérées, l'évaluation se base sur les bilans de matières et d'énergie lors de la fabrication du matériau isolant et des dispositifs connexes. Ainsi, la préservation des ressources est évaluée d'après l'énergie grise consommée, qui recouvre essentiellement des agents énergétiques non renouvelables. Les émissions de matières potentiellement nocives lors des processus de fabrication ont été déterminées d'après la méthode dite de la «saturation écologique», qui utilise les unités de charge environnementales (UCE) comme une unité de mesure.

## Exemple de graphique en toile d'araignée «Spider»: profils de 2 types de matériaux en EPS à utiliser dans une façade compacte

- EPS 15 graphité collé 19 cm
- EPS 15 standard collé 23 cm



Les groupes de substances particulières que sont les gaz à effet de serre sont présentés séparément, en termes d'équivalents CO<sub>2</sub>. Toutes les données proviennent des publications officielles de la Confédération et des stations de recherche suisses. Les coûts d'investissement (reflétés dans la caractéristique «prix avantageux») ont été déterminés en collaboration avec des experts indépendants des branches concernées. Pour apprécier les risques liés à la mise en œuvre, les aspects suivants ont été évalués et quantifiés : hygiène du travail, émissions de matières potentiellement nocives, poids, stabilité de forme, sensibilité aux intempéries. Pour les façades ventilées, la caractéristique «Eventail des applications» (reflétant la diversité des utilisations possibles) a été évaluée méthodiquement, en prenant en compte le comportement au feu des matériaux. Les utilisateurs exigeant souvent d'obtenir des informations fiables sur les matières potentiellement nocives présentes dans les matériaux, les graphiques «Spider» indiquent également la quantité et le degré de toxicité de ces matières potentiellement nocives (exprimés par la caractéristique «absence de matières potentiellement nocives»). S'agissant du domaine d'application des toitures plates, la durée d'utilisation est un critère déterminant pour différencier les divers systèmes d'isolation. Se fondant sur certains travaux de recherche, l'auteur de l'étude a défini une durée mélangeant durée d'utilisation économique et technique. La caractéristique «Facilité de recyclage ou d'élimination» est évaluée en fonction du degré de «recyclabilité» d'une construction (pondération = 2/3) ainsi que de sa «problématique» lors de l'élimination (pondération = 1/3), c'est-à-dire, que l'on considère, si les résidus issus de l'incinération ou les matériaux à mettre en décharge sont problématiques. Les graphiques en toile d'araignée, qui comprennent six à huit axes, offrent une vue d'ensemble complète sur les critères d'évaluation des matériaux isolants objectivement mesurables. Les utilisateurs de tels profils peuvent ensuite fixer eux-mêmes les priorités quant à l'importance de ces critères. En ce qui concerne le domaine d'application des **toitures plates**, le matériau dont la fabrication présente le meilleur bilan du point de vue impact environnemental est le polystyrène expansé (EPS), et en particulier l'EPS graphité. Cela tient essentiellement au poids spécifique de ces matériaux, notablement plus léger que les autres par rapport au pouvoir isolant requis pour un toit plat praticable. Les matériaux isolants minéraux obtiennent des résultats supérieurs pour la durée d'utilisation (verre cellulaire) et l'absence de matières potentiellement nocives .

Le domaine d'application des **façades ventilées** laisse un grand choix de matériaux isolants. Soulignons que les sous-constructions n'ont une incidence significative sur l'évaluation que pour des matériaux isolants dont l'épaisseur dépasse 25 cm. Ainsi, comparés aux systèmes sur chevilles (vis à double filetage), les systèmes sur console consomment bien plus de ressources. En effet, les ponts thermiques créés et les quantités de matériel nécessaires sont plus importants. Les matériaux dont la fabrication est la plus respectueuse de l'environnement sont les fibres de bois à faible densité et les fibres de chanvre. Cependant, l'utilisation de matériaux végétaux ou alvéolaires organiques combustibles est limitée pour ce domaine d'application, en raison des exigences de protection contre les incendies à satisfaire. Par ailleurs, les différences de prix sont moins marquées que dans d'autres domaines d'application.

En ce qui concerne les **façades compactes**, les panneaux en EPS obtiennent de bien meilleurs résultats que les panneaux en laine de roche ou les panneaux composites (faits d'un cœur en PF mousse phénolique - formaldéhyde de résol - inséré dans une enveloppe en EPS), et ce, qu'il s'agisse des impacts environnementaux lors de la fabrication, des coûts d'investissement ou encore des risques de mise en œuvre. La laine de roche obtient les meilleurs résultats au niveau de la facilité de d'élimination ainsi que de l'absence de matières potentiellement nocives. Dans cette comparaison, les panneaux composites en mousse phénolique ne présentent pas d'avantage particulier.

Enfin, s'agissant des **murs extérieurs enterrés**, il convient – en termes simplifiés – de choisir entre une fabrication limitant les impacts environnementaux et l'absence de matières potentiellement nocives. D'un côté, on trouve ainsi l'EPS à haute densité, dont la fabrication présente deux fois moins d'impacts environnementaux que le verre cellulaire (ressources consommées, émissions de polluants, CO<sub>2</sub>), et de l'autre, le verre cellulaire, qui se distingue par l'absence de matières potentiellement nocives. Comparativement aux autres isolants les panneaux en XPS présentent le plus d'éléments potentiellement nocifs; cependant, leur impact environnemental à la fabrication est bien plus faible que celui des panneaux en verre cellulaire.

# 1. Objectifs et conception

## 1.1 Objectifs

La société swisspor AG figure en Suisse parmi les leaders de la fabrication de matériaux d'isolation; elle offre une vaste gamme de matériaux isolants et de services pour minimiser les pertes thermiques des bâtiments. En matière d'isolation des bâtiments, il ne s'agit plus seulement de veiller aux aspects techniques et logistiques. Mais, de plus en plus, de prendre également en compte les principes de la durabilité. Ainsi, les caractéristiques, critères ou facteurs à considérer pour déterminer une solution correcte et optimale n'en sont que plus compliqués.

D'après le mandant, l'objectif est de contribuer à la discussion en analysant un grand nombre de faits objectifs. En particulier, les profils des matériaux isolants devraient présenter leurs caractéristiques de manière transparente, en veillant à ce qu'elles restent claires et simples. Les graphiques en toile d'araignée (cf. fig. 1) présentent le grand avantage de montrer visuellement de manière relativement simple six à huit critères, sans devoir tous les pondérer les uns par rapport aux autres. Ce type de présentation offre ainsi un aperçu rapide des critères à considérer, et ainsi un accès aisé à la problématique; elle permet également à l'utilisateur de pondérer les différents critères à sa guise. Enfin, le projet de présentation en toile d'araignée vise à permettre aux différentes parties concernées de mieux prendre en compte les principes de la durabilité. En particulier, les graphiques en toile d'araignée doivent servir:

- de support visuel aux représentants ou conseillers de l'entreprise pour présenter les matériaux aux clients;
- d'outil d'aide à la décision pour les responsables de l'entreprise lors du développement technique de produits et de constructions, ainsi que pour les discussions stratégiques;
- d'outil d'aide à la décision aux maîtres d'ouvrage, architectes ou autres professionnels de la construction pour choisir des produits ou constructions appropriés.

swisspor AG a mandaté la société «Büro für Umweltchemie» («bureau pour la chimie environnementale») pour le développement de la méthodologie et de la forme des graphiques en toile d'araignée selon la méthode «Spider», permettant d'assurer l'objectivité et l'indépendance requises pour les ques-

tions d'évaluation et d'appréciation d'analyse. Le présent rapport final concernant ce projet vise en outre à assurer une certaine transparence par rapport à ces questions.

## 1.2 Conception des graphiques en toile d'araignée (selon la méthode «Spider»)

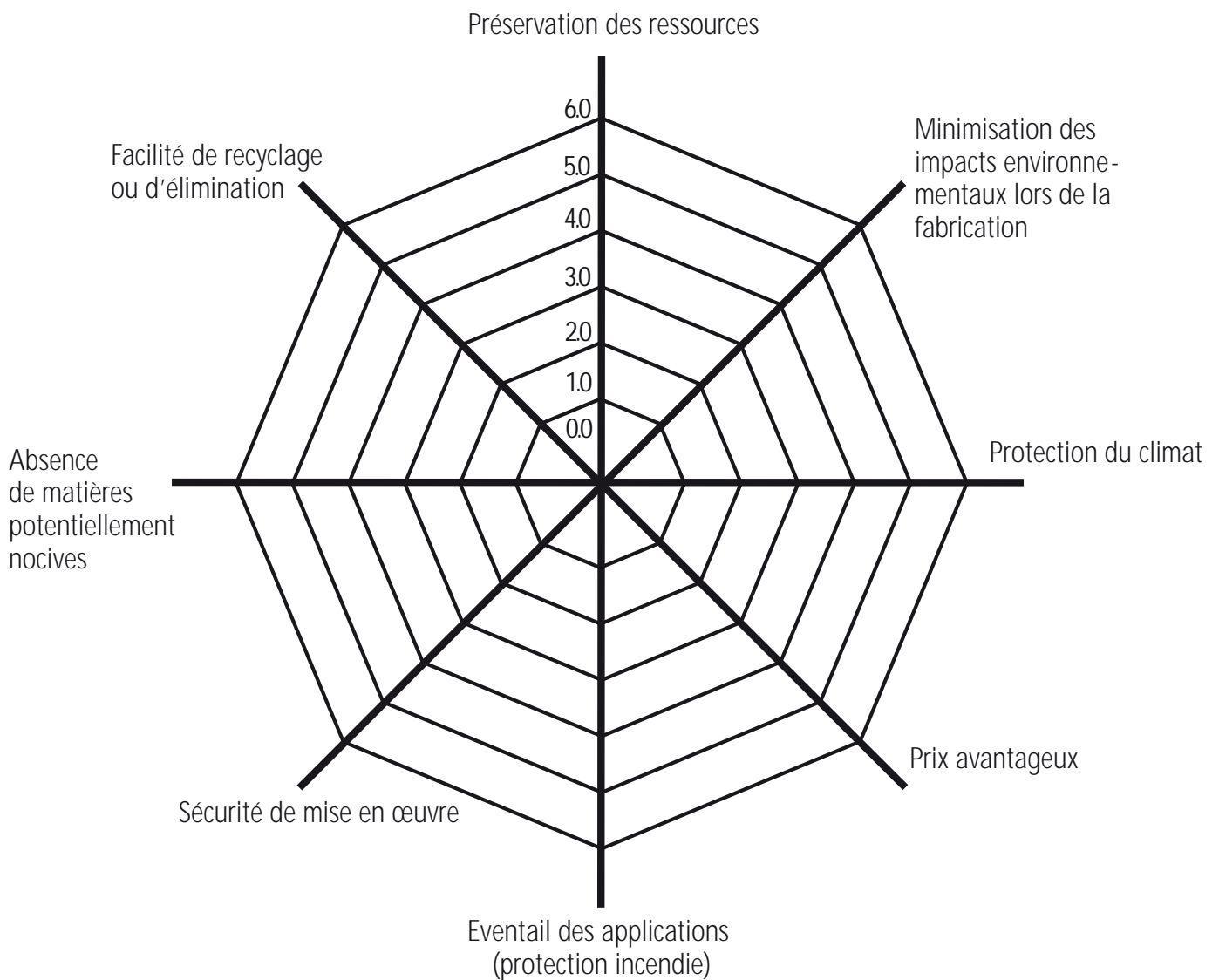
Le projet vise à élaborer une série de profils en toile d'araignée couvrant les principales applications et les types de matériaux isolants les plus utilisés.

1. Les caractéristiques, sélectionnées selon un point de vue global, considèrent le cycle de vie entier, les coûts ainsi que les facteurs influençant la résistance ainsi que la facilité d'utilisation des matériaux.
2. Les caractéristiques sont quantifiées, évaluées et pondérées selon des critères qui doivent être les plus objectifs et les plus reconnus possibles par les professionnels de la branche.
3. Les caractéristiques définissant les axes des graphiques en toile d'araignée sont choisies et nommées de façon que l'appréciation et la direction (sens des axes) puissent être identifiées sans équivoque.
4. L'échelle adoptée pour les caractéristiques (axes) permet d'interpréter clairement les données et d'indiquer les valeurs extrêmes pour le système de comparaison des matériaux considéré.

Le graphique 1 ci-joint présente un choix de caractéristiques possibles. Le concept de présentation selon la méthode «Spider» implique que l'échelle soit la même pour tous les axes, que tous les axes évoluent selon la même logique et qu'ils soient quantifiés. Le système d'évaluation adopté nous est bien connu: il s'agit du système utilisé dans les écoles, allant de 1 à 6, où la meilleure «note» est 6. Pour cette raison, le libellé des caractéristiques doit exprimer une qualité (c.-à-d. une valeur positive).

graphique 1

Principaux critères d'évaluation des matériaux isolants du point de vue de la durabilité; libellé des axes définissant la présentation en toile d'araignée (système «Spider») indiquant une qualité



Tab. 1

## Caractéristiques et mode de détermination de ces dernières

Caractéristique (libellé de l'axe)	Mode de quantification	Spécifications et sources	Echelle	Particularités/divergences pour certaines applications / remarques
<b>Préservation des ressources</b>	Energie grise en MJ, seulement pour la fabrication (élimination exclue)	Données selon cahier technique SIA 2032 ou la recommandation KBOB 2009/1 «Données des écobilans dans la construction»; grandeur de référence: surface de l'enveloppe (en m <sup>2</sup> ) à pouvoir isolant normalisé, y c. ponts thermiques, y c. matériaux auxiliaires, selon limites de système définies	Meilleure note (valeur la plus basse) = 6 Valeur double = 3 Diminution exponentielle $\infty = 0$	Critère présenté pour tous les domaines d'application Les valeurs revêtent un caractère scientifique et officiel (EPF, SIA); cependant, leur pertinence et leur fiabilité ne sont pas homogènes.
<b>Minimisation des impacts environnementaux lors de la fabrication</b>	Unités de charge environnementale (UCE), seulement pour la fabrication (élimination exclue)			
<b>Protection du climat</b>	Potentiel de réchauffement global (PRG), CO <sub>2eq</sub> [kg / m <sup>2</sup> ], seul. pour la fabrication (élimination exclue)			
<b>Prix avantageux</b>	[Fr. / m <sup>2</sup> ], coûts des matériaux et de travail (rendu posé)	Calculs des coûts spécifiques par le associations de branche et les fournisseurs, mêmes limites de système que pour les bilans de matières et d'énergie		Critère présenté pour tous les domaines d'application
<b>Faibles risques liés à la mise en œuvre</b>	2 critères quantitatifs, 3 critères qualitatifs pondérés (différemment) en fonction du domaine d'application	Risques au plan de l'hygiène du travail Emissions de COV Poids des panneaux isolants Elasticité de forme Sensibilité aux intempéries	Système de points additionnés avec pondération de critères, min. = 1 à max. = 6	Pondération différente suivant le domaine d'application Les émissions de COV sont seulement considérées pour les toitures plates; l'élasticité de forme est davantage pondérée pour les isolations extérieures crépies; le poids des panneaux est pondéré plus fortement pour les façades ventilées
<b>Eventail des applications (protection incendie)</b>	1 critère quantitatif, 2 critères qualitatifs	Indice d'incendie (comportement au feu) Nombre d'étages ou niveaux sans mesure particulière Importance des mesures de protection contre les incendies	Système de points additionnés avec pondération de critères, min. = 1 à max. = 6	Critère appliqué seulement pour les façades ventilées; évaluation selon les applications pratiques en matière de protection incendie
<b>Absence de matières potentiellement nocives</b>	Quantité et phrases R des éléments soumis à l'obligation d'étiquetage	Facteurs d'influence selon règlement technique TRGS 440: pondération des différentes phrases R	Interpolation linéaire 6 (absence de matières potentiellement nocives) à valeur de référence (pire cas) = 1	Critère présenté pour tous les domaines d'application. Les modes d'étiquetage varient, car les matières potentiellement nocives présentes dans les matériaux ne font pas tous l'objet d'une classification officielle.
<b>Durée d'utilisation</b>	Années: valeur moyenne entre la durée d'utilisation économique et celle physique	SIA 480 et travail de recherche allemand	Linéaire entre 0 et 65 années (1-6)	Critère appliqué seulement pour les toitures plates, pour lesquelles différentes durées d'utilisation sont reconnues par les professionnels de la branche
<b>Facilité de recyclage ou d'élimination</b>	4 critères qualitatifs pour la facilité de recyclage 2 critères semi-quantitatifs officiellement définis	Facilité de déconstruction <sup>1</sup> Disponibilité de la technologie Disponibilité de la logistique Neutralité des coûts Qualité des matériaux inertes Qualité des résidus issus de l'incinération	Système de points additionnés avec pondération de critères, min. = 1 à max. = 6	Critère présenté pour tous les domaines d'application Pondération identique dans tous les systèmes

<sup>1</sup> La «facilité de déconstruction» désigne ici la facilité à retirer et à séparer les différents éléments des matériaux isolants pour les trier en des fractions valorisables.



---

*Le tableau 1 présente et explique brièvement toutes les caractéristiques choisies. Celles-ci ne sont pas utilisées pour tous les domaines d'application (cf. dernière colonne du tableau ou chap. 1.4). En effet, il n'est par exemple judicieux d'utiliser le critère «Eventail des applications», que dans les cas où l'application est limitée en raison du fait que les comportements au feu diffèrent d'un matériau isolant à l'autre (façades ventilées). Les caractéristiques utilisées sont décrites et commentées de manière plus approfondie dans les chapitres 2 et 3. Les libellés des axes ont été formulés de telle sorte qu'ils soient compréhensibles (sans qu'aucune connaissance spécifique ne soit nécessaire) et qu'ils expriment une qualité (caractéristique positive). Pour tous les paramètres, l'échelle adoptée va de 0 à 6 (où 6 représente la meilleure notation) – un système de notation qui doit être explicite dans le libellé de l'axe. La deuxième colonne précise quel mode de quantification est utilisé pour l'appréciation (axe). Dans la présentation en toile d'araignée, tous les paramètres sont exprimés en termes quantitatifs, même ceux qui sont plutôt de nature qualitative, tels que la facilité de déconstruction ou de recyclage par exemple. Or pour quantifier, il convient de se baser sur des données objectives. Dans cette optique, les conditions aux limites et les sources sont indiquées dans la troisième colonne. Dans la présentation en toile d'araignée, les résultats doivent être présentés selon une échelle uniforme. La colonne 4 précise succinctement quelle échelle est adoptée dans les différents axes. Enfin, la dernière colonne contient des informations concernant de possibles divergences dans les quatre champs d'application ainsi que d'autres remarques importantes pour comprendre les graphiques en toile d'araignée.*

### 1.3 Choix des caractéristiques à prendre en compte

La nécessité, au plan conceptuel, de quantifier les données limite le nombre de caractéristiques pouvant être prises en compte. Ainsi, la présentation «Spider» ne permet pas de montrer des caractéristiques qui ne seraient que qualitatives. En outre, les données et autres informations utilisées pour les modèles quantitatifs doivent être objectives, reproductibles et reconnues par les professionnels de la branche. Ces contraintes font que l'on se heurte vite à certaines limites s'agissant de représenter concrètement certains critères qu'il serait pourtant souhaitable de considérer. Cela est notamment le cas pour les critères de la résistance ou de la facilité de recyclage ou d'élimination.

### 1.4 Domaines d'application et matériaux d'isolation

Les matériaux d'isolation usuels sont comparés les uns aux autres pour les quatre champs d'application principaux du domaine du bâtiment. Etant donné que les mêmes matériaux présentent des propriétés physiques différentes (masse volumique apparente, résistance, conductivité thermique) suivant le domaine d'application concerné, ils ne sont comparés qu'à l'intérieur d'un même domaine d'application. Les systèmes sont normalisés du point de vue du pouvoir isolant, qui se fonde sur un coefficient U de 0,15 W/(m<sup>2</sup>·K), sauf dans le cas de d'une isolation périmétrique (murs extérieurs enterrés). Cela signifie que les comparaisons portent sur des quantités de matériaux (dispositifs auxiliaires inclus) qui présentent le même coefficient U – y c. les ponts thermiques (sous-constructions dans les façades ventilées). Il s'agit ainsi d'un système orienté vers le futur, qui implique que certains isolants présentant une valeur lambda plus élevée aient une épaisseur allant jusqu'à 30 cm. Ces types de construction ne sont en effet encore que peu usités pour les façades ventilées ou compactes et n'ont pas encore été beaucoup testés aux niveaux statique et physique. Les systèmes de comparaison sont présentés de manière succincte dans le tableau 2.

Tab. 2

## Domaines d'application et matériaux d'isolation

Application / pouvoir isolant	Limites de système	Systèmes possibles	Variantes
<b>Toiture plate</b> praticable ou avec végétalisation extensive, U = 0,15 (isolation seulement)	matériaux isolants et fixation (bitume dans le cas du verre cellulaire)	polystyrène expansé (EPS) standard, EPS graphité, polyuréthane (PUR), laine de roche, verre cellulaire, polystyrène extrudé (XPS)	parement en PUR, alu. / voile minéralisé (non-tissé)
<b>Façade ventilée</b> sur briques de terre cuite U = 0,15 (construction entière, y c. les ponts thermiques)	y c. fixation et sous-constructions pour 20 kg / m <sup>2</sup> de panneaux de façades, jusqu'à la face intérieure du revêtement (incluse)	EPS graphité, laine de roche, laine de verre, fibres de chanvre, fibres de bois à faible densité, verre cellulaire	masse volumique apparente (EPS graphité) consoles / chevilles d'écartement (laine minérale, fibres de chanvre)
<b>Façade compacte (isolation thermique extérieure crépie)</b> , U = 0,15 (matériaux isolants seulement)	y c. fixation, sans grillage ni crépi	EPS standard, EPS graphité, laine de roche, panneaux composites de mousse phénolique (PF <sup>2</sup> )	
Murs extérieurs enterrés ( <b>isolation périmétrique</b> ) sans eaux souterraines U = 0,2 (matériaux isolants seulement)	y c. fixation, sans plaques de protection ou de filtrage	EPS à haute densité, XPS, verre cellulaire	

*Tab.2: Pour les façades ventilées, les fibres de bois à faible densité, les fibres de chanvre et le verre cellulaire figurent parmi les matériaux usuels en tant qu'alternatives. Quant aux trois autres applications mentionnées, aucune autre alternative particulière n'est disponible ou n'a été testée au niveau des propriétés physiques du matériau concerné.*

## 2. Méthodologie

### 2.1 Bilans de matières et d'énergie

Les critères «préservation des ressources», «minimisation des impacts environnementaux lors de la fabrication» ou «protection du climat» se fondent sur des bilans de matières et d'énergie prenant en compte les étapes du cycle de vie allant de l'extraction des matières premières à la fabrication du produit final, prêt à l'emploi et quittant l'usine du fabricant ou importateur chargé sur camion (ou train). Les trois critères précités, qui figurent dans tous les domaines d'application, se basent sur des chiffres officiels; ils contiennent cependant également une part d'appréciation. Pour le critère **Préservation des ressources** est considérée la somme de toutes les dépenses en énergie non renouvelable (fossile, nucléaire, etc.). En particulier, on tient compte des ressources rares et dont l'utilisation engendre des nuisances environnementales considérables. La méthode de calcul se fonde exclusivement sur les données en consommation d'énergie des entreprises. La méthode concernant le critère **Minimisation des impacts environnementaux lors de la fabrication** est celle utilisée pour les écobilans, dite de la «saturation écologique». Cette dernière prend en compte quelques dizaines de paramètres concernant les émissions de polluants dans l'air, les eaux et les sols; elle tient en outre compte de la rareté des ressources et de la quantité de surfaces de sols utilisés. Soulignons que sur le plan purement méthodologique, ces éléments ne jouent qu'un rôle mineur. L'appréciation générale est exprimée par un score, c.-à-d. un chiffre unique (il s'agit des unités de charge environnementale, UCE).

Pour le critère **Protection du climat**, on considère les équivalents de gaz à effet de serre (en kg de CO<sub>2</sub>), qui représentent pour l'essentiel la quantité d'agents énergétiques fossiles consommés, sans l'énergie hydraulique, éolienne ou nucléaire – au contraire de l'énergie grise qui englobe tant l'énergie fossile que l'énergie nucléaire.

Fiabiles et hautement informatifs, les chiffres indiqués sont issus du bilan énergétique (énergie grise). Le critère de la protection du climat désigne surtout les émissions de CO<sub>2</sub> d'agents énergétiques fossiles. En effet, les émissions de CO<sub>2</sub> des énergies fossiles (primaires), par exemple celles issues de la production de ciment, ne jouent qu'un rôle mineur pour les profils des matériaux isolants présentés sous forme de toile d'araignée. La valeur informative de l'effet de serre n'est pas

beaucoup plus élevée que celle de l'énergie grise. De toute évidence, les UCE (il s'agit des unités de charge environnementale, UCE) ne sont pas très pertinentes pour ce calcul. En effet, la méthode impliquée requiert de prendre en compte un grand nombre de données sur les émissions de polluants issues du peu de bilans de matières et d'énergie fiables et représentatifs existants.

Toutes les valeurs indiquées se fondent sur la base de données ecoinvent V2.01, à l'exception des données pour les fibres de chanvre, qui proviennent du fabricant. Ces données ont été rendues plausibles par le label «natureplus» et adaptées aux limites de système du présent projet. Les données sur les panneaux de fibres de bois à faible densité ont été reprises des documents relatifs au contrôle de certification «natureplus»; elles ont également été adaptées en fonction des limites de système susmentionnées. Il n'est pas possible de déterminer dans quelle mesure ces données sont comparables aux valeurs officielles fixées dans le cahier technique SIA 2032 – il se peut que les tendances dégagées coïncident. Les valeurs pour les panneaux composites en PF/EPS (panneaux isolants présentant un cœur en mousse phénolique enrobé dans une enveloppe en polystyrène expansé) ont été déterminées d'après les pourcentages applicables en Suisse, en fonction de la composition de ces panneaux. Soulignons que les valeurs du verre cellulaire figurant dans ecoinvent revêtent un caractère «politique»: les auteurs de l'étude partent du principe que le site de fabrication de Tessengerlo (B) utilise un courant vert certifié pour la production destinée à la Suisse et à l'Autriche, comprenant 97,8 % d'énergie hydraulique et 2,2 % d'énergie hydraulique<sup>5</sup>. Or les marchés de ces pays représentent env. ¼ de la production totale. Ainsi, les bilans de matières et d'énergie comprennent une part d'énergies renouvelable et non renouvelable au sein du même site et

*Le tableau 3 ci-après présente les données de base pour les matériaux isolants. La plupart des données utilisées pour les graphiques en toile d'araignée proviennent du projet de l'EPF «ecoinvent», qui devraient être publiées dans le cahier technique 2032 «Energie grise»<sup>3</sup>.*

<sup>3</sup> www.ecoinvent.ch, Version V2.01, Swiss Centre for Life Cycle Inventories; Zurich 2007. (Centre suisse pour les inventaires de cycle de vie écologiques)

<sup>5</sup> Life Cycle Inventory Foamglas Pittsburg Corning (Schweiz) AG, Bau- und Umweltchemie, Zurich, juillet 2006. («Analyse du cycle de vie du verre cellulaire»)

Tab. 3

## Bilans de matières et d'énergie des matériaux isolants

Matériaux isolants	MJ/kg	UCE/kg	kg CO <sub>2</sub> /kg	Remarques
Fibres de chanvre	25.7	2178	0.210	Florapan, contributions Isover/IBO <sup>4</sup> , données non disponibles dans ecoinvent V2.01, données plausibles, non vérifiables dans le détail (désignation sous le label «natureplus»)
Fibres de bois à faible densité	20.80	999	0.937	panneaux spéciaux fabriqués par Homatherm renforcés par des fibres synthétiques, données calculées à partir du contrôle «natureplus» et modifiées pour garder des limites de systèmes uniformes (ne correspond pas aux panneaux Pavatherm)
Verre cellulaire «courant vert»	19.5	896	1.150	à partir de ecoinvent V2.01, production belge, part élevée de courant vert seulement pour une partie de la production belge
Verre cellulaire	34.2	1572	1.578	issu de la production belge avec courant mélangé (renouvelable et non renouvelable) pour toute l'exploitation
Laine de roche	21.7	2120	1.460	production suisse
Laine de verre	45.1	2240	1.490	production suisse, part élevée d'énergie hydraulique et nucléaire (courant suisse)
Polyuréthane	100.0	5040	4.210	valeur moyenne européenne
Panneau composite en PF	109.2	2996	3.743	calculé à partir d'EPS et de PF (mousse phénolique prise séparément)
EPS graphité CH 6 % de matériaux recyclés	95.2	3307	3.736	cf. ci-dessous
EPS standard CH 10 % de matériaux recyclés	95.5	3302	3.747	calculé à partir d'EPS standard (valeur moyenne européenne) et de graphite, le pourcentage de matériaux est celui applicable en Suisse
Polystyrène extrudé XPS/mix	92.4	6240	9.580	valeur moyenne de la production mondiale, 50 % de mousse à partir de CO <sub>2</sub> , 50 % de mousse à partir de HFC
Polystyrène extrudé XPS/CO <sub>2</sub>	96.7	3276	3.77	moussé à partir de CO <sub>2</sub> , données valables pour les produits suisses

<sup>4</sup> Institut für Baubiologie und -ökologie IBO (institut autrichien de biologie et d'écologie de la construction)

pour les mêmes produits. La situation est comparable à un agriculteur dont l'un des champs accueillerait une culture biologique et l'autre, une culture conventionnelle. Dans le cadre du présent projet, la valeur du verre cellulaire a été adaptée par rapport au «Verre cellulaire courant vert» (cf. ab. 3, sous «Verre cellulaire»): le courant vert n'a pas été attribué à une partie de la production, mais «réparti» proportionnellement sur toute la production. Ces modes d'attributions à l'intérieur d'un même site de production présentent de grandes différences (cf. tab. 3). En revanche, les valeurs présentées pour les matières alvéolaires organiques (granulat de polymère) se basent sur les valeurs moyennes européennes de douze grandes installations.

Les données concernant les produits en laine minérale et les panneaux de fibres de bois à faible densité proviennent des fabricants suisses. Les différences que présentent la laine de roche et la laine de verre s'expliquent avant tout par l'utilisation d'énergies différentes pour les procédés de fusion (combustibles fossiles pour la laine de roche, électricité pour la laine de verre). Soulignons que les données originales de l'XPS se présentent comme une moyenne et que les panneaux en cette matière ont été fabriqués à partir de différents gaz. Le présent projet n'ayant calculé les valeurs que pour les panneaux moussés à partir de CO<sub>2</sub> (conductivité thermique), les valeurs d'origine doivent être modifiées, une adaptation effectuée par les auteurs du projet ecoinvent<sup>9</sup>.

Pour les matériaux auxiliaires (cf. tab. 4), les données ont, dans la mesure du possible, également été reprises de la version la plus récente de la banque de données ecoinvent. Les données concernant les profilés en acier revêtus d'aluminium et de zinc se basent sur différents corpus de données et sur des réflexions faites par analogie. Les données concernant les colles ou ciment-colles ont été calculées sur la base des recettes standard ainsi que de leurs composants. Relevons que les valeurs pour les métaux sont relativement élevées par rapport à d'autres versions précédentes. Dans le cadre du présent projet, il n'est guère possible d'expliquer concrètement l'influence de ces changements, ayant un impact significatif sur les comparaisons entre matériaux d'isolation. En effet, pour les façades

ventilées, les sous-constructions forment des ponts thermiques et rendent plus difficile la fixation de la couche isolante à la façade.

L'échelle adoptée pour les caractéristiques **Préservation des ressources**, **Minimisation des impacts environnementaux lors de la fabrication** et **Protection du climat** suit le principe suivant: la valeur la plus basse obtient la meilleure note (6), les valeurs les plus élevées obtiennent les plus mauvaises notes (notes inversement proportionnelles à la valeur).

$$\text{Note } X = 6(\text{valeur}_x/\text{valeur}_{\min})$$

A titre d'exemple, selon ce système d'échelle, une isolation qui présenterait une valeur de CO<sub>2</sub> double par rapport à la valeur la plus basse (pour une même application) obtiendrait la note 3. Une valeur  $v_x$  très élevée obtiendrait une note proche de zéro. L'échelle adoptée correspond ainsi à la manière dont le non-spécialiste «lit» et interprète spontanément un graphique en toile d'araignée.

<sup>9</sup> Alhaus, H.J., et al.; Polystyrene extruded (XPS) ecological assessment of insulation material for XPS-insulation plates with carbon dioxide as blowing agent. («Polystyrène extrudé (XPS): Evaluation écologique des matériaux isolants des panneaux en XPS où le gaz propulseur utilisé est le CO<sub>2</sub>».)

Tab. 4

## Bilans de matières et d'énergie des matériaux auxiliaires

	MJ/kg	UCE/kg	kg CO <sub>2</sub> /kg	Utilisation	Remarques
Bois massif suisse, séché artificiellement	3.9	439	0.214	sous-construction de façade	bois de résineux raboté
Acier au chrome-nickel	91.3	10700	5.850	sous-construction de façade	comptabilisé comme tôle
Profilés en aluminium	132.0	10000	9.270	sous-construction de façade	32 % de matériaux recyclés
Feuilles en aluminium	124.0	9610	8.850	parement de matériau isolant en PUR	32 % de matériaux recyclés
Profilés en acier galvanisé à chaud	30.5	4760	2.030	sous-construction de façade	37 % de matériaux recyclés, seul. galvanisés
Profilés en acier avec revêtement en alu./zinc	54.4	8497	3.624	sous-construction de façade	d'après des réflexions faites par analogie, composition
Cheilles du système RDS <sup>6</sup> de Rogger par kg	101.8	10023	6.379	fixation de sous-construction	valeur moyenne pour différentes grandeurs
Polyester GFV <sup>7</sup>	148.0	7050	8.700	cheilles de fixation	
Profilé en caoutchouc EPDM <sup>8</sup>	98.8	2580	2.670	fixation	calcul à partir de lés d'étanchéité en EPDM
Résine PF, départ usine	123.9	3370	4.220	matériaux isolants composites en PF (résol)	ecoinvent, 2.01V, #1673
Additifs plastiques	57.8	1331	1.830	composants des matériaux isolants	comptabilisés comme acide phtalique départ usine (approximation)
Bitume chaud	54.4	907	0.568	toiture compacte	
Colle bitumineuse bicomposant (2K) (type PC 56)	21.6	480	0.565	fixation de verre cellulaire pour une isolation périmétrique	calcul à partir de la recette
Colle bitumineuse monocomposant (1K)	37.0	600	0.621	fixation des isolants alvéolaires organiques pour une isolation périmétrique	calcul à partir de la recette
Bitume	53.3	511	0.580	composant de produit	ecoinvent, 2.01V, #1538, départ raffinerie suisse
Ciment	3.2	299	0.720	composant de produit	ecoinvent, 2.01V, #489, CEM II 32.5 A-L
Colle bitumineuse/ciment-colle	6.4	447	0.386	fixation de façade	10 % de résine acrylique, calcul à partir de la recette standard

<sup>6</sup> «Rogger-Sicherheits-Distanzschrauben» (vis de sécurité de fixation à distance Rogger)

<sup>7</sup> «Glasfaserverstärkung» (armature de stratifié verre-résine)

<sup>8</sup> terpolymère éthylène-propylène-diène

## 2.2 Prix avantageux

L'axe «prix avantageux» recouvre les coûts d'investissement à l'intérieur des limites de systèmes définis, c.-à-d. les coûts pour les matériaux isolants et les matériaux auxiliaires, ainsi que les coûts de la mise en œuvre pour des hypothèses standard. En revanche, il ne comprend pas les frais d'entretien, qui sont presque impossibles à quantifier et, dans la plupart des cas, à différencier (cf. chap. 2.5 Durée d'utilisation). Les données concernant les coûts d'investissement ont été recensées d'après les mêmes sources et selon les mêmes conditions aux limites, afin que les différents systèmes restent comparables. L'état des prix est celui de l'automne 2008.

L'échelle adoptée pour l'axe Prix avantageux suit le même principe que celui des valeurs des bilans de matières et d'énergie, où les notes sont inversement proportionnelles à la valeur (la note 6 correspond à la valeur la plus basse, les notes proches de 0 aux valeurs les plus élevées).

$$\text{Note } x = 6(\text{valeur}_x / \text{valeur}_{\min})$$

Selon ce système, un dispositif de construction dont la note s'élève à 2 est trois fois plus cher que celui dont les coûts d'investissement sont les plus bas. L'échelle adoptée correspond ainsi à la manière dont le non-spécialiste «lit» et interprète spontanément un graphique en toile d'araignée.

Tab. 5

# Conditions de collecte des données sur les coûts

Application / pouvoir isolant	Limites de systèmes pour les prix	Coûts des matériaux	Coûts de la mise en œuvre
<b>Toitures plates</b> praticables avec végétalisation extensive, $U = 0,15$ (isolation seul.)	matériaux isolants et fixation (bitume dans le cas du verre cellulaire)	recette quantité moyenne + chutes de matériaux + frais généraux des matériaux + transport et RPLP <sup>11</sup> + moyens de levage + bitume + gaz	coûts salariaux et rendements, prise en compte du nombre de couches
<b>Façades ventilées</b> sur briques de terre cuite $U = 0,15$ (construction entière, y c. les ponts thermiques)	y c. fixation et sous-constructions et lattage/ profilés pour la ventilation 20 kg/m <sup>2</sup> de panneaux de façades, jusqu'à la face intérieure de du revêtement (incluse)	recette quantité moyenne + chutes de matériaux + frais généraux des matériaux + transport et RPLP + moyens de levage + bitume + matériaux auxiliaires	coûts salariaux et rendements, prise en compte du nombre de couches de la fixation
<b>Façades compactes (isolation extérieure crépie)</b> $U = 0,15$ (matériaux isolants seul.)	matériaux isolants y c. fixation, sans grillage ni crépi	prix indicatif des matériaux, colle-ciment et chevilles de fixation	coûts salariaux et rendements, prise en compte de la fixation et des adaptations
<b>Murs extérieurs enterrés (isolation périmétrique)</b> sans eaux souterraines, $U = 0,2$ (matériaux isolants seul.)	matériaux isolants y c. fixation, sans plaques de protection ou de filtrage	prix indicatif des matériaux, colles	coûts salariaux et rendements, prise en compte de la fixation et des adaptations

Le tableau 5 présente dans quelles conditions les données sur les coûts ont été recensées. Ces données ont été collectées par des groupes de travail propres à l'entreprise swisspor, qui ont collaboré avec des experts des associations de branche concernées<sup>10</sup>. Les coûts des matériaux ont été calculés d'après les listes de prix, en déduisant les rabais habituels. Les matériaux figurant dans les catalogues présentent différents prix d'achat ou taux de remise. Ainsi, le calcul est effectué sur la base de l'échelonnement de quantités du catalogue des matériaux normés (CMN) correspondant à celui du catalogue des prix normalisés (CAN): les petites quantités du CAN sont attribuées au prix des petites quantités du CMN, les quantités moyennes du CAN aux prix des quantités moyennes du CMN, etc.



### 2.3 Sécurité de mise en œuvre

Le tableau 6 présente les risques liés à la mise en œuvre des matériaux isolants pour les quatre domaines d'application choisis. La sécurité de mise en œuvre porte sur deux aspects: santé des collaborateurs, d'une part, et sécurité technique, d'autre part. Des **risques liés à l'hygiène du travail** peuvent apparaître, lorsque, selon la SUVA, la mise en œuvre des produits requiert de prendre certaines mesures de sécurité. En particulier, des mesures de protection contre les fibres pouvant pénétrer dans les poumons sont nécessaires lors de la mise en œuvre de produits à base de laine minérale, ou encore contre les vapeurs de bitume lors de la mise en œuvre du bitume chaud; les émissions de COV liées aux vapeurs de bitume constituent par ailleurs un risque pour l'environnement, et indirectement pour la santé. Enfin, pour mesurer les risques au niveau de l'hygiène du travail, on considère également le **poids des panneaux par m<sup>2</sup>**. Plus ce poids est important, plus les risques sont importants au plan physique pour les personnes manipulant les panneaux (maux de dos, etc.). Ainsi, un panneau de verre cellulaire de 120 mm d'épaisseur et de 60x100 cm d'envergure pèse 8 kg, tandis qu'un panneau en polystyrène expansé aux mêmes dimensions pèse cinq fois moins.

Le **comportement à la déformation** est utilisé comme critère pour mesurer les risques lors de la mise en œuvre des panneaux d'isolation. Il faut, par principe, considérer que les panneaux rigides sont plus difficiles à mettre en œuvre (adaptations de détails) et plus sensibles aux variations de température ainsi que d'humidité. Ils accroissent ainsi les risques lors de la mise en œuvre, qui requiert une attention accrue de la part des personnes qui les manipulent, afin de prévenir toute erreur ou dommage; on parle à ce propos souvent de «tolérance aux défauts» d'un produit. Enfin, un autre risque lié à la mise en œuvre découle de la **sensibilité aux intempéries**. Les matériaux d'isolation doivent impérativement être installés alors qu'ils sont secs pour prévenir tout dommage ultérieur. Relevons que les risques liés à la mise en œuvre sont plus élevés pour les matériaux absorbant l'eau que pour ceux qui ne l'absorbent pas.

Tab. 6

## Mise en œuvre: pondération des caractéristiques

Désignation	Méthode d'évaluation	Pondération: points max. par critère			
		Toitures plates	Façades ventilées	Façades compactes	Murs extérieurs enterrés
Risques au niveau de l'hygiène du travail	mesures de protection officielles pour la mise en œuvre selon SUVA: présentes = 0 ou absentes = max.	2	2	2	2
Poids des panneaux [kg/m <sup>2</sup> ]	valeur la plus basse = max; valeur la plus élevée = 0, interpolation linéaire	1	1.5	1.5	3
Comportement à la déformation	rigide = 0 ou élastique = max.	1	2	1.5	1
Sensibilité aux intempéries	capacité d'absorption d'eau: grande = 0 ou nulle = max.; moindre = max./2	2	0.5	1	0
Sécurité de mise en œuvre	total des points possibles	6	6	6	6

L'échelle adoptée correspond au système de points présentés dans le tableau 6. Les critères ont été sélectionnés et pondérés selon le « bon sens » et selon la pratique sur les chantiers. Le tableau 7 présente la manière dont sont pondérés les différents facteurs, qui sont additionnés pour déterminer le risque lié à la mise en œuvre. Les risques au plan de l'hygiène du travail sont pondérés comme suit: ils entraînent toujours une déduction de 2 points sur le total, indépendamment de l'application dont il s'agit. Le poids des panneaux pour les toitures plates a une pondération plus faible que pour les autres applications, où les panneaux doivent être levés et posés à la verticale. Quant au comportement à la déformation, sa pondération est plus élevée si les matériaux isolants sont utilisés pour des façades que des murs extérieurs enterrés ou des toitures plates. En effet, les façades comportent en général plus de raccords, nécessitant un ajustement précis. La sensibilité aux intempéries a une incidence certaine sur les toitures plates et les façades compactes: les dommages liés à des panneaux d'isolation humides sont nettement plus importants que lorsqu'il s'agit de façades ventilées. En revanche, cette caractéristique ne joue aucun rôle pour les murs extérieurs enterrés.

Selon ce système, la note 6 est attribuée à un matériau isolant souple, léger, n'absorbant pas l'eau, dont la mise en œuvre n'émet pas de COV et ne présente pas de risque pour l'hygiène du travail (possible en théorie mais pas dans la pratique). La plus mauvaise note est 0 (là aussi, dans la réalité, aucun matériau ne peut atteindre cette note). L'appréciation reflète ainsi le fait que tous les matériaux présentent des avantages et des inconvénients au plan de leur mise en œuvre. Selon ce système, les matériaux alvéolaires organiques ou fibreux organiques, ont tendance à être plus sûrs que les produits minéraux au niveau de la sécurité de mise en œuvre.

Tab. 7

## Mise en œuvre: évaluation des caractéristiques

Désignation	Méthode d'évaluation	XPS EPS à haute densité	EPS PUR	Laine minérale	Verre cellulaire	Isolants organiques
Risques au niveau de l'hygiène du travail	mesures de protection officielles pour la mise en œuvre selon SUVA: présentes = 0 ou absentes = max.	pas de risques	pas de risques	risques	pas de risques <sup>12</sup>	pas de risques
Poids des panneaux [kg/m <sup>2</sup> ]	valeur la plus basse = max; valeur la plus élevée = 0, interpolation linéaire	en général peu élevé	en général peu élevé	dépend de l'application	élevé	poids moyen
Comportement à la déformation	rigide = 0 ou souple = max.	rigide	rigide	élastique	rigide	élastique
Sensibilité aux intempéries	Capacité de rétention d'eau: grande = 0 ou nulle = max.; moindre = max./2	nulle	moindre	grande	nulle	grande

<sup>12</sup> sauf pour la pose de bitume chaud sur les toitures plates

## 2.4 Absence de matières potentiellement nocives

Le terme «**matières potentiellement nocives**» est utilisé ici comme synonyme de «**composants problématiques aux plans écologique et toxicologique**», au sens de la recommandation SIA 493<sup>13</sup>. Il s'agit plus précisément de ces composants qui ne sont pas liés chimiquement aux matériaux isolants qui les contiennent et auxquels s'appliquent une à plusieurs des phrases R mentionnées dans la recommandation. Parmi ces composants, on ne tient compte ni des monomères non polymérisés mélangés à des polymères, ni du pentane, parce que celui-ci se volatilise et «sort» des matériaux isolants relativement vite, et qu'il est déjà pris en compte comme gaz d'expansion lors de l'étape de fabrication du produit. Le tableau 8 présente les différents composants pour les produits dans lesquels on les retrouve. Dans le polystyrène expansé, il s'agit de l'HBCD (hexabromocyclododécane), un additif ignifuge; dans les matériaux isolants en PUR, du TCP (phosphate de tris (2-chloro-1-méthyléthyle)) ainsi que d'un catalyseur. Les données concernant les panneaux composites en PF ont pu être collectées auprès du fabricant étranger à la condition qu'elles soient traitées de manière confidentielle. Précisons ainsi seulement que ces panneaux contiennent des substances devant obligatoirement être classifiées dans une liste officielle et dont les concentrations varient énormément.

A titre de référence sont présentés deux autres matériaux qui contiennent généralement des composants problématiques aux plans écologique et toxicologique. Il s'agit de la laine de mouton traitée avec un antimite à base d'urée (le sulcofuron) ainsi que des fibres de cellulose traitées avec un agent ignifuge et anticorrosif (mélange acide borique et borax). Les quantités indiquées pour ces deux substances correspondent aux concentrations habituellement rencontrées dans ces produits. Les deux matériaux isolants susmentionnés ne figurent pas dans les graphiques en toile d'araignée: ils servent uniquement à rendre plausible la méthode utilisée ici.

Soulignons à ce propos que la méthodologie appliquée n'implique pas une évaluation des risques au sens strict du terme: elle vise simplement à mesurer le potentiel de nuisance environnementale des composants, sans considérer dans quelle mesure ces derniers se disséminent effectivement dans l'environnement durant les phases d'utilisation et d'élimination (ou de valorisation).

---

*La classification dans le tableau 8 n'est pas sans équivoque. En effet, les seuls composants à faire partie d'une classification officielle sont ceux des panneaux composites en PF<sup>18</sup>, classification qui correspond à la législation et au mode de classification européens. Les phrases R caractérisant le HBCD sont reprises d'une proposition du service de protection de l'environnement allemand (UBA)<sup>19</sup> à Berlin, raison pour laquelle elles sont définies comme étant «semi-officielles». Quant aux phrases R du sulcofuron, de l'acide borique et du borax, elles proviennent de leurs fiches de sécurité. Or ces dernières peuvent varier suivant le fabricant concerné. Au final, le but de l'évaluation est de mesurer la quantité et le potentiel de danger des polluants. Dans la méthodologie adoptée sont pris en compte différents facteurs d'influence, permettant d'évaluer des substances de substitution<sup>20</sup>, et les concentrations sont toujours multipliées par le plus haut facteur d'influence attribué à une phrase R. Cette méthodologie a été élaborée par rapport à la question des postes de travail; cependant, en se fondant sur des réflexions faites par analogie, on peut la généraliser.*

*Les résultats de l'évaluation sont présentés à la dernière ligne du tableau 8. Selon ces résultats, l'XPS présente le potentiel de danger (par unité de quantité) le plus élevé, et la laine de mouton le potentiel le plus faible. Une certaine incertitude prévaut quant à la classification, comme en témoigne clairement l'exemple de la laine de mouton. En effet, il est très peu probable que le sulcofuron soit seulement caractérisé par la phrase R22 – ce que le fabricant australien laisse suggérer<sup>21</sup>. En effet, il s'agit d'un insecticide (antimite), qui, d'après sa fonction, présente un certain degré de toxicité. C'est notamment pour cette raison que la laine de mouton, qui apparaît comme très respectueuse de l'environnement lors de sa fabrication, n'a pas été prise en compte pour les comparaisons sous forme de graphiques en toile d'araignée.*

Dans les graphiques «Spider», les facteurs d'influence mentionnés dans le tableau 8 sont en outre multipliés par les volumes nécessaires du point de vue des performances normalisées. Le potentiel de danger est également toujours en lien avec la quantité. L'échelle adoptée est la suivante: un matériau présentant le plus grand potentiel de danger obtient la note 1; un matériau dont le potentiel de danger est nul, la note 6; tous les matériaux intermédiaires suivent une interpolation linéaire.

Tab. 8

## Composants problématiques au niveau environnemental et pondération de ces derniers

Désignation	EPS	XPS	Polyuréthane (PUR)	Panneau composite en PF	laine minérale	Verre cellulaire	Fibres de chanvre	Fibres de bois à faible densité <sup>14</sup>	Références <sup>15</sup>	
									Laine de mouton	Cellulose
Composants problématique aux plans écologique et toxicologique	présents	présents	présents	présents	absents	absents	absents	absents	présents	présents
Désignation	hexabromocyclododécane HBCD	hexabromocyclododécane HBCD	phosphate de tris (2-chloro-1-méthyléthyle) TCP	connu <sup>16</sup>	–	–	–	–	sulcofuron	borax/acide borique
Teneur totale	0.5 %	1.5 %	6 %	4.7 % (*0.9) 0.5 % (0.1)	–	–	–	–	1 %	8% (4+4)
Classification	R33, R50/53, R64	R33, R50/53, R64	R20/21/22, R52/53	R20/21/22, R29, R35	–	–	–	–	R20/22, R51/53	R20/21/22, R36/37/38 -40, Borax, R62/63
Sources <sup>17</sup>	semi-officielles	semi-officielles	semi-officielles	officielles	–	–	–	–	fiche de sécurité	fiche de sécurité
Facteurs d'influence selon règlement TRGS 440	1000	1000	50/100	10/500/1000	–	–	–	–	10	10/100
Pondération selon règlement TRGS 440 [par kg]	500	1500	400	185	0	0	0	0	10	440

<sup>13</sup> Recommandation SIA 493 «Déclaration sur les caractéristiques écologiques de produits utilisés dans la construction», Zurich 1997

<sup>14</sup> Les additifs que sont l'urée et le phosphate d'ammonium comme retardateurs de flammes ne sont pas soumis à l'obligation d'étiquetage selon le règlement REACH.

<sup>15</sup> A titre de comparaison, le tableau présente les données pour 30 cm de matériaux isolants en laine de mouton et en cellulose, qui contiennent en général des composants problématiques aux niveaux écologique et toxicologique.

<sup>16</sup> La société Kingspan a transmis par écrit à l'auteur les désignations chimiques des composants, à la condition que ces données restent confidentielles.

<sup>17</sup> Classifications officielles: annexe au règlement (cf. 7); classification semi-officielles: propositions pour une classification officielle (cf. 8)

<sup>18</sup> Annexe I de la Directive 67/548/CEE du Conseil relative à la classification, à l'emballage et à l'étiquetage des substances dangereuses, qui ont une valeur contraignante au sein de l'UE (REACH).

<sup>19</sup> Umweltbundesamt UBA: «Bromierte Flammschutzmittel – Schutzengel mit schlechten Eigenschaften?», Berlin, avril 2008. (Service de protection de l'environnement allemand UBA: «Retardateurs de flammes bromés – un ange protecteur aux piètres propriétés?»)

<sup>20</sup> Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermitteln von Gefahrstoffen und Methoden zur Ersatzstoffprüfung TRGS 440: B ArbB1, Heft 3/2002. («Règlement technique pour les substances dangereuses: Evaluation des substances dangereuses et méthodes pour examiner les substances de remplacement»)

<sup>21</sup> Material Safety Data Sheet, Sulcofuron; sigma-Aldrich Ltd., Australia, 19.4.2005. («Fiche de sécurité du sulcofuron»)

Tab. 9

## Durée d'utilisation des toitures chaudes

Désignation	EPS	XPS	Polyuréthane (PUR/PIR)	Laine de roche	Laine de verre	Verre cellulaire / toit compact
Durée d'utilisation physique <sup>22</sup> / [ans]	50	50	50	60	60	100
Durée d'utilisation selon norme SIA 480 / [ans]	30	30	30	30	30	30
<b>Durée d'utilisation moyenne</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>65</b>

### 2.5 Durée d'utilisation

La durée d'utilisation n'est considérée que pour les toitures plates. Pour les autres applications, aucune différence n'est généralement admise en matière de durée d'utilisation des isolants ou systèmes d'isolation. D'une part, tous les professionnels de la construction admettent que la résistance d'une toiture plate dépend sensiblement de la mise en œuvre, en particulier des raccords entre toit et d'autres éléments de construction. D'autre part, on sait également que, lorsque les lés d'étanchéité d'une toiture sont endommagés, dans un système compact entièrement recouvert de bitume, les dégâts peuvent être minimisés. Pour ces raisons, il serait erroné d'exclure le critère de la résistance (ou un critère analogue) des graphiques en toile d'araignée. Ainsi, le présent projet décrit une proposition de méthode pour inclure cette caractéristique, qui se fonde sur un projet de recherche allemand étudiant cette question de manière approfondie<sup>22</sup>. Cette méthode consiste à analyser les facteurs physiques, chimiques et biologiques du point de vue des potentiels et des risques, et à les mettre en rapport avec les contraintes des différentes applications. Décrite en détail dans le projet de recherche, la méthode de calcul est plus ou moins reproductible. Cette étude distingue les fibres de cellulose, les fibres minérales, les fibres minérales artificielles (FMA), le verre cellulaire et les mousses alvéolaires organiques. Les résultats sur la durée d'utilisation des toitures chaudes (toitures plates) sur le plan physique sont présentés à la deuxième ligne du tableau 9.

Ne considérer que les facteurs physiques pour la durée d'utilisation reviendrait à s'écarter quelque peu de la réalité: dans la pratique, il existe au bout du compte différentes raisons pour lesquelles cette durée est limitée. Pour prendre en compte cet état de fait, il est utile de tenir compte de la durée d'utilisation en quelque sorte normalisée par la norme SIA 480, qui prévoit pour les toits en général 30 ans<sup>23</sup> (contraintes importantes). La présentation en toile d'araignée des toitures plates montre la moyenne entre durées d'utilisation physique et économique.

Pour conserver une graduation de l'axe pertinente, l'échelle va de 1 à 6, où la durée d'utilisation varie entre 0 (valeur 1) et 65 ans (valeur 6).

<sup>22</sup> Gesellschaft für ökologische Bautechnik Berlin mbH; «Instrumente zur qualitätsabhängigen Abschätzung der Dauerhaftigkeit von Materialien und Konstruktionen»; Berlin, février 2005. (Société pour la construction écologique; «Instruments pour évaluer la durabilité des matériaux et des constructions en fonction de leur niveau de qualité»)

## 2.6 Valorisation ou élimination

La facilité de recyclage ou d'élimination<sup>24</sup> des matériaux isolants représentent les critères les plus difficiles à analyser (liens, interactions complexes entre différents facteurs), et ainsi à représenter sur les graphiques en toile d'araignée. D'une part, le degré de «recyclabilité» n'est pas objectivement mesurable; d'autre part, il convient de prendre en compte l'option «élimination» (et non seulement celle du recyclage). En effet, pour tous les domaines d'application, il y a fort à parier que les systèmes d'isolation ne sont démontés que lorsque ceux-ci sont endommagés. Or cela peut impliquer que certains produits mis au rebut, tels que ceux absorbant l'eau tout du moins, sont décomposés, voire pourris, si bien qu'ils ne peuvent plus être recyclés. C'est pourquoi les deux aspects (valorisation ou élimination) sont pris en compte. Cependant, la pondération de la facilité de recyclage est double par rapport à la facilité d'élimination.

Une autre condition à respecter pour garantir que les matériaux de construction puissent être recyclés est que ces matériaux, de natures diverses, doivent être faciles à retirer et à séparer; en particulier, les matériaux collés ou crépis sont plus difficiles à retirer et à trier proprement, et ce, pour toutes les applications. Dans ce même but, trois autres conditions doivent être remplies, qui se basent sur la recommandation SIA 493:

1. La technologie nécessaire doit être disponible dans la région d'approvisionnement concernée.
2. La logistique requise doit également être disponible en Suisse, c.-à-d. que le maître d'ouvrage (ou son représentant) doit disposer d'un interlocuteur qui lui permette de satisfaire aux conditions pour recycler les matériaux ne pouvant plus être utilisés et offre les filières requises à cet effet.
3. Enfin, la réintroduction du matériau dans le cycle de production dont il est issu (recyclage) ne doit pas être plus chère qu'une élimination (incinération ou mise en décharge) conforme aux prescriptions légales.

Si les trois conditions susmentionnées sont respectées, le matériau concerné peut être considéré comme étant hautement (c.-à-d. facilement) recyclable. Ces conditions ou critères d'évaluation «reçoivent» chacun un point, si bien qu'un matériau dont la **facilité de recyclage** est excellente obtient un score de 4. Dans le cas où les matériaux ne peuvent pas être recyclés, il s'agit alors de considérer les critères relatifs à la facilité d'élimination (élimination non problématique), qui figurent dans la recommandation SIA 493. En Suisse, les matériaux combustibles doivent obligatoirement être incinérés (cette obligation s'appliquera bientôt également en Europe) et les matériaux non combustibles, être mis en décharge. On considère l'incinération comme non problématique lorsque les résidus issus de ce processus ne dépassent pas certaines teneurs en halogènes ou en métaux lourds; quant à la mise en décharge, elle est réputée non problématique, si les matériaux inertes présentent une certaine qualité définie. Les différentes formes de polystyrène dépassent les valeurs limites de brome, en raison du HBCD; tous les autres matériaux isolants respectent les exigences précitées.

Les quantités de matériaux n'ont pas d'impact sur l'évaluation de la valorisation ou de l'élimination; le type d'application peut influencer cette évaluation, mais tout au plus pour le critère de la facilité de déconstruction (1 point). Tous les autres critères sont fonction du domaine d'application considéré.

<sup>23</sup> SIA 480 /SN 506 480: Calcul de rentabilité pour les investissements dans le bâtiment, Zurich, 2004.

<sup>24</sup> La «facilité de recyclage» désigne plus spécifiquement le degré de «recyclabilité»; par «facilité d'élimination», on entend une élimination non problématique au niveau des nuisances causées..



Tab. 10

## Facilité de recyclage ou d'élimination

Désignation	EPS	XPS	Polyuréthane (PUR/PIR)	Laine de roche	Laine de verre	Verre cellulaire	Isolants organiques	Mat. composites en PF	Pondération
Facilité de déconstruction	dépend du domaine d'application et de la fixation: déconstruction facile ou difficile				dépend du domaine d'application et de la fixation: déconstruction facile ou difficile				1
Technologie de recyclage en 2008	disponible	disponible	non disponible	disponible	disponible	disponible	non disponible	non disponible	1
Logistique en Suisse en 2008	disponible	non disponible	non disponible	disponible	disponible	non disponible	non disponible	non disponible	1
Neutralité des coûts du recyclage en 2008	assurée	non assurée	assurée	assurée	assurée	assurée	non assurée	non assurée	1
Degré de «recyclabilité»	3–4	1–2	0–1	3–4	3–4	1–2	0–1	0–1	4
Obligation d'incinérer	s'applique	s'applique	s'applique	ne s'applique pas	ne s'applique pas	ne s'applique pas	s'applique	s'applique	
Résidus issus de l'incinération (exigences SIA 493)	ex. non atteintes	ex. non atteintes	ex. atteintes	crit. non pertinent	crit. non pertinent	crit. non pertinent	ex. atteintes	ex. non atteintes	2
Obligation de mettre en décharge	ne s'applique pas	ne s'applique pas	ne s'applique pas	s'applique	s'applique	s'applique	ne s'applique pas	ne s'applique pas	ou
Qualité des matériaux inertes (exigences)	crit. non pertinent	crit. non pertinent	crit. non pertinent	ex. atteintes	ex. atteintes	ex. atteintes	crit. non pertinent	crit. non pertinent	2
Élimination non problématique	0	0	2	2	2	2	2	0	2

Le tableau 10 présente tous les sous-critères requis pour une évaluation globale. Le terme «facilité de recyclage» a nécessité une définition plus précise, car presque tout peut être recyclé. Il est par exemple possible de transformer pratiquement toutes les matières en une fraction très fine pouvant être utilisée comme matériau de remplissage pour de nouveaux matériaux de construction. Dans le présent projet, le recyclage désigne une valorisation matière au sens strict du terme: un produit qui ne peut plus être utilisé est récupéré et réintroduit dans le cycle de production dont il est issu (même fonction) et dans lequel il remplace donc une matière première «primaire» analogue. À l'exception du PUR et du PF (car faisant partie de matières plastiques thermodurcissables), les matériaux d'isolation répondent – en théorie – tous à la condition formulée dans cette définition.

## 3. Toitures plates

### 3.1 Dispositif de base et conditions aux limites

Cinq types d'isolation en matières alvéolaires organiques sont comparés à deux types d'isolations minérales. Les produits les plus courants sur le marché suisse ont été choisis. Toutes les épaisseurs de couche isolante et tous les poids spécifiques ont été calculés avec précision, indépendamment des épaisseurs courantes disponibles sur le marché pour les produits concernés. De même, toutes les méthodes quantitatives utilisées pour la représentation en toile d'araignée se basent sur des chiffres exacts, à l'exception de l'estimation des coûts, où les données ont dû être arrondies selon des procédés en usage dans la branche. La conductivité thermique est tirée de la norme SIA 279<sup>25</sup>; elle correspond, pour tous les produits, aux indications du fabricant.

On constate que les épaisseurs et les poids spécifiques varient fortement d'un produit à l'autre. Les épaisseurs vont de 18 cm (PUR) à 30 cm (laine de roche). L'isolant le plus léger (EPS graphité) pèse plus de dix fois moins que l'isolant le plus lourd (laine de roche). Pour atteindre la résistance physique nécessaire pour ce type d'application, il est nécessaire de choisir un produit possédant une masse volumique apparente élevée, ce qui pèjore sa conductivité thermique. Il s'ensuit que seuls les types d'isolants les moins épais peuvent être posés en une seule couche.

---

<sup>25</sup>  $\lambda_0$  correspond à 90 % de la valeur des fractiles, selon SIA 279.

Tab. 11

## Systemes d'isolation: types et propriétés physiques

Désignation	EPS 25 standard 23 cm	EPS 25 graphité 19 cm	XPS 23 cm	PUR revêtu d'aluminium 16 cm	PUR revêtu d'un voile minéral 17 cm	Laine de roche 30 cm	Verre cellulaire 27 cm
Produits	swissporEPS 150 toiture	swissporLAMBDA Roof	swissporXPS Jackodur KF 300 Standard SF	swissporPUR Alu	swissporPUR Voile	Panneaux isolants Flumroc MEGA	Plaques en verre cellulaire T4 WDS
Limites du système	isolation seule	isolation seule	isolation seule	isolation seule avec feuille d'aluminium	isolation seule avec voile minéralisé	isolation seule	isolation + 13 kg de bitume chaud
Masse volumique apparente [kg/m <sup>3</sup> ], sel. indications du fabricant	30	25	33	30	30	160	110
$\lambda$ [W/(m·K)], sel. cahier technique SIA 2001	0.034	0.029	0.035	0.024	0.026	0.045	0.040
$\lambda$ [W/(m·K)], sel. indications du fabricant	0.034	0.029	0.035	0.024	0.026	0.045	0.040
Epaisseur de l'isolant [m]	0.227	0.193	0.233	0.160	0.173	0.300	0.267
Nombre de couches	1	1	1	1	1	3	2
Poids spécifique [kg/m <sup>2</sup> ]	5.67	4.83	7.70	4.80	5.20	48.00	29.33

Le tableau 11 décrit les systèmes d'isolation et leurs propriétés physiques prises comme bases pour les calculs et évaluations qui suivent. Le dispositif de base est une toiture plate végétalisée et praticable, possédant un coefficient  $U = 0,15$  W/(m<sup>2</sup>·K) (seulement pour l'isolant), sans charges ou autres caractéristiques particulières.

### 3.2 Résultats

S'agissant des toitures plates, tous les graphiques mettent en évidence le rôle joué par le poids spécifique. Quant aux trois axes reflétant les **bilans de matières et d'énergie**, les mousses organiques (EPS, XPS et PUR) obtiennent de bien meilleurs résultats que la laine de roche ou le verre cellulaire, qui sont beaucoup plus lourds. Le gaz expanseur utilisé pour l'XPS est du CO<sub>2</sub>; ce matériau consomme bien plus de ressources et est plus dommageable pour l'environnement que celui utilisé pour l'expansion de l'EPS. La différence tient essentiellement au fait que le premier présente une masse volumique apparente (un poids par m<sup>2</sup>) plus importante. Du point de vue de la conductivité thermique, la différence entre l'EPS graphité et l'EPS standard ( $\Delta\lambda = 0,005 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ) est déterminante. Bien que possédant une conductivité thermique meilleure, le polyuréthane (PUR) est moins intéressant que les panneaux isolants en polystyrène et ce, en raison de sa densité plus élevée et de son plus grand impact sur l'environnement. Les deux produits en PUR ne se différencient guère du point de vue de leur parement: les panneaux revêtus d'aluminium n'offrent qu'un gain de poids de 400 g/m<sup>2</sup>, ce qui, au niveau du graphique entier, n'apporte pas un avantage visuellement déterminant. Pour un même pouvoir isolant, la laine de roche pèse outre dix fois plus que l'EPS graphité. Cette différence ne peut pas être compensée par les qualités environnementales de la laine de roche, qui sont certes meilleures par rapport à l'unité de poids, mais pas si l'on considère le poids nécessaire pour le même pouvoir isolant. En effet, la quantité d'énergie grise nécessaire pour la laine de roche est environ deux fois plus élevée, les impacts sur l'environnement, environ cinq fois plus importants, et les émissions de CO<sub>2</sub>, environ trois fois plus élevées que pour l'EPS graphité – des différences significatives. Pour une toiture plate compacte, il faut en outre rajouter aux 20 kg d'isolant, 13 kg de bitume chaud, qui sont également des facteurs déterminants.

Dans le cas d'une toiture plate, **les coûts d'investissement** sont déterminés par le coût des matériaux. Les frais de mise en œuvre ne représentent qu'une part de 15 à 20 % des coûts de matériaux. Le verre cellulaire est environ quatre fois plus cher que les matériaux isolants alvéolaire organiques. S'agissant toujours du critère financier, les isolants à base minérale sont défavorisés par leur poids.

Du point de vue de **la sécurité de mise en œuvre**, les panneaux en XPS viennent en tête. Ils n'ont qu'un seul défaut: leur faible élasticité de forme. Leurs avantages sont l'absence de risques sur le plan de l'hygiène du travail (2 points), leur légèreté et leur résistance aux intempéries. Les autres panneaux isolants alvéolaire organiques offrent également une bonne résistance aux intempéries. La laine de roche est péjorée par les risques qu'elle fait courir aux travailleurs en raison de ses fibres qui peuvent pénétrer dans leurs poumons, par sa grande fragilité aux intempéries et par son poids important. S'agissant des toitures compactes, on a considéré les vapeurs émises lors de la pose à chaud comme un facteur de risque sur le plan de l'hygiène du travail.

En ce qui concerne **l'absence de matières potentiellement noives**, les panneaux isolants en XPS obtiennent la plus mauvaise note (=1). Cela tient au fait que l'XPS contient les mêmes additifs pour augmenter sa résistance au feu que l'EPS, mais en quantités trois fois plus grandes. Les agents ignifuges des PUR, ainsi que son catalyseur sont plus importants en quantité, mais leur toxicité potentielle est bien moindre.

Sur le plan de la **durée d'utilisation**, le toit compact peut atteindre 65 ans. Les autres dispositifs d'isolation ont une durée de 40 à 45 ans – étant entendu qu'il s'agit d'une valeur moyenne entre la durée physique et une «durée économique» (cf. aussi chapitre 2.5).

S'agissant du critère de la **facilité de recyclage ou d'élimination**, les toitures compactes ne permettent pas de le remplir, tandis qu'il est rempli de manière optimale pour les autres formes de toitures. La laine de roche peut être recyclée ou éliminée sans problème (cf. aussi chap. 2.6). Les panneaux d'isolation à base d'EPS peuvent tous être recyclés de manière optimale, mais ils ne répondent pas au critère de la facilité d'élimination (élimination par incinération), car ils contiennent du brome, qui se retrouve dans les résidus de l'incinération et reste donc un problème. Les panneaux à base de PUR ou d'XPS ne sont pas recyclables selon la définition du recyclage donnée au chapitre 2.6. Cependant, le PUR remplit le critère de l'absence de résidus problématiques lors de l'incinération.

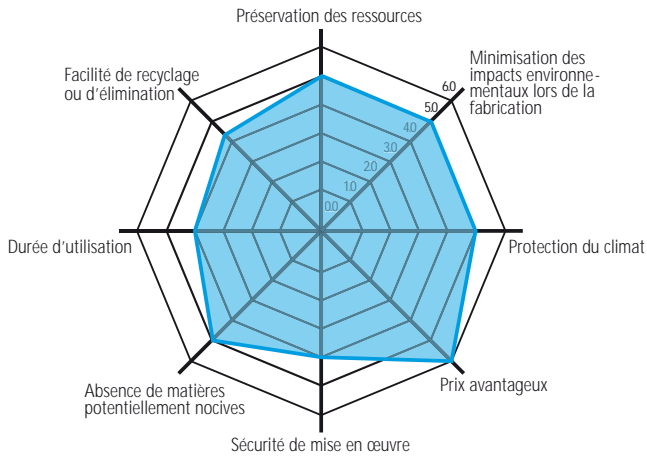
*La figure 2 représente l'évaluation selon le système «Spider» des données concernant les toitures plates. Toutes les données détaillées figurent dans les tableaux de l'annexe A.*

Fig. 2

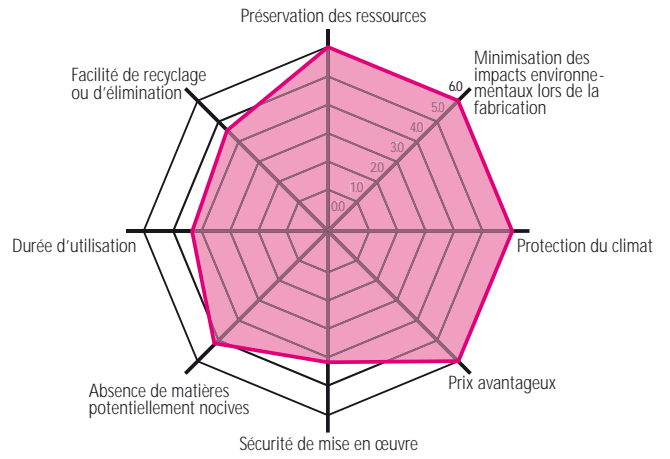
**Toitures plates, U de 0.15 W/(m<sup>2</sup>·K)**  
 avantages significatifs aux isolants en EPS



● EPS 25 standard 23 cm

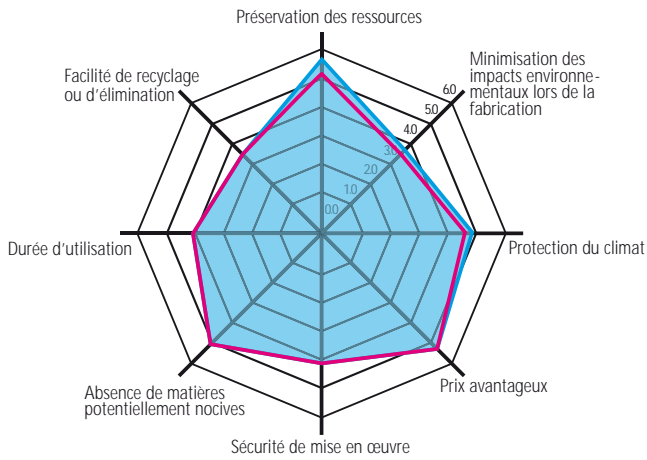


● EPS 25 graphité 19 cm

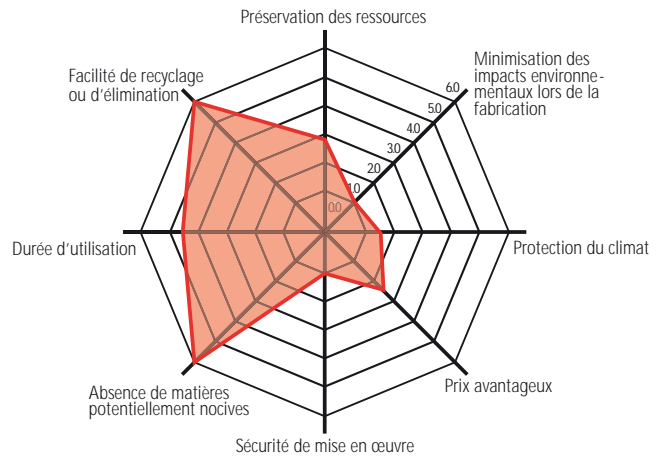


● PUR revêtu d'al. 16 cm

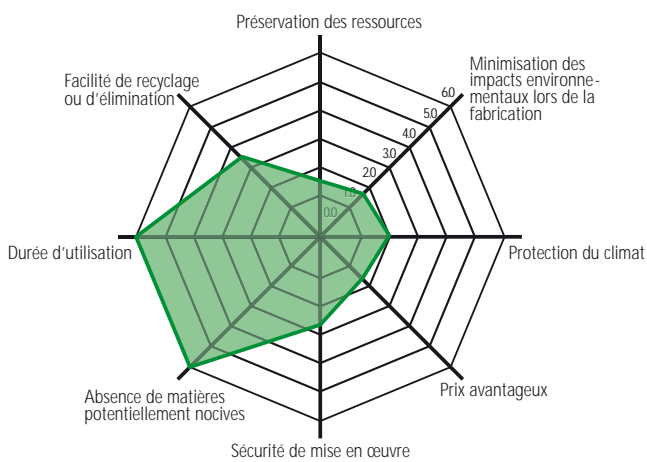
● PUR revêtu d'un voile min. 17 cm



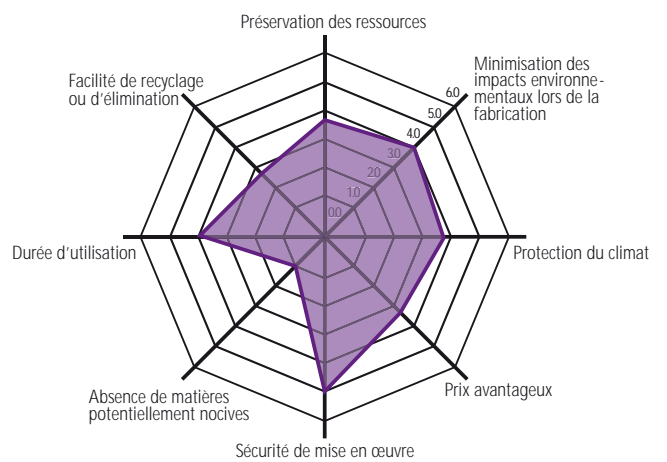
● Laine de roche 30 cm



● Verre cellulaire 27 cm



● XPS 23cm



## 4. Façades ventilées

### 4.1 Dispositif de base et conditions aux limites

Aux deux modes les plus courants d'isolation de façades (laine de roche ou laine de verre) sont comparés deux types d'isolant à base d'EPS. A ces produits conventionnels sont comparées trois solutions alternatives: deux produits à base de fibres végétales (fibres de bois ou de chanvre), ainsi que du verre cellulaire, que le fabricant offre également sur le marché comme isolant de façades ventilées. Les panneaux en fibres de bois à faible densité, liés avec la résine du bois lui-même et fabriqués selon un procédé humide ne se prêtent pas bien à l'isolation de façades sur de grandes épaisseurs. Les produits à base de fibres de bois les plus récents sont renforcés par des fibres synthétiques par un procédé spécial, et imprégnés<sup>26</sup>. Un tel procédé permet de réduire significativement la masse volumique apparente du produit. Pour les calculs, l'auteur de l'étude a choisi les produits disponibles sur le marché suisse et recommandés pour les façades ventilées. Toutes les épaisseurs d'isolants et tous les poids spécifiques ont été calculés avec exactitude, sans tenir compte des épaisseurs courantes disponibles sur le marché. De même, toutes les méthodes quantitatives utilisées pour la représentation en toile d'araignée se basent sur des chiffres exacts, à l'exception de l'estimation des coûts, où les données ont dû être arrondies selon des procédés en usage dans la branche. Sauf pour les fibres de chanvre, la conductivité thermique est tirée de la norme SIA 279<sup>27</sup> ; elle correspond, pour tous les produits, aux indications du fabricant.

On constate que les différences d'épaisseurs et de poids spécifiques entre les dix systèmes d'isolation sont également considérables dans le cas des façades ventilées. Les épaisseurs varient en effet entre 19 cm (EPS 15 graphité) et 30 cm (panneaux de fibres de chanvre posés avec consoles). Les isolants les plus légers (EPS graphité) sont dix fois plus légers que les isolants les plus lourds (verre cellulaire).

### 4.2 Résultats

S'agissant des façades ventilées, on observe que les graphiques «Spider» des différents systèmes d'isolation se ressemblent beaucoup plus que dans le cas des toitures plates. Quant aux trois axes représentant les bilans de matières et d'énergie, les isolants en EPS graphité sont proches des produits à base de fibres de chanvre et de bois (fixés par un système à chevilles). Il faut cependant remarquer que les systèmes de pose avec consoles utilisés pour les panneaux en fibres de chanvre et pour la laine de roche consomment plus de ressources naturelles que les dispositifs utilisant des chevilles. Cela est dû à la quantité plus importante de matériaux nécessaire pour le système de consoles (UKS<sup>28</sup>), induisant des ponts thermiques qui doivent être compensés par une surépaisseur d'isolation de 3 à 4 cm. En revanche, la laine de verre, nécessitant une épaisseur moindre que la laine de pierre. Elle peut être fixée par le système conventionnel Wagner (WSK<sup>29</sup>)

Du point de vue de la préservation des ressources et de la minimisation des impacts sur l'environnement, il faudrait, en toute logique, utiliser toujours le système de fixation à chevilles (Rogger), particulièrement pour les grandes épaisseurs d'isolation. Les matériaux présentant le moins d'impact sur l'environnement au moment de leur fabrication sont l'EPS 15 graphité, les fibres de bois à faible densité et les fibres de chanvre – l'appréciation de l'impact environnemental des fibres de chanvre reste cependant sujette à précaution<sup>30</sup>. Les différences entre produits constatées au niveau de la protection du climat sont dues, en règle générale, à la proportion de courant suisse utilisé lors de leur fabrication. En effet, la production de cette électricité, basée surtout sur l'énergie hydraulique et sur l'énergie nucléaire, n'entraîne que de faibles émissions de CO<sub>2</sub>. L'incidence de ce facteur est particulièrement manifeste dans la comparaison entre la laine de verre et la laine de roche: dans le cas de la laine de verre, les matières premières sont fondues avec de l'énergie électrique, tandis que pour la laine de roche, ce procédé se déroule dans des fours à coupole et l'agent énergétique est du coke. Le verre cellulaire a un impact relativement fort sur l'environnement, il exige beaucoup de ressources et émet beaucoup de CO<sub>2</sub>, alors même que les hypothèses à la base de son écobilan penchent fortement en sa faveur, puisque l'on a tablé sur du courant vert pour sa fabrication (cf. chap. 2.1).

<sup>26</sup> P. ex. HolzFlex standard de l'entreprise Homatherm avec une masse volumique apparente de 40 kg/m<sup>3</sup>.

<sup>27</sup>  $\lambda_0$  correspond à 90 % de la valeur des fractiles, selon SIA 279

Tab. 12

## Systemes d'isolation: types et propriétés physiques

Désignation	EPS 15 graphité 21 cm, avec chevilles	EPS 25 graphité 19cm, avec chevilles	Laine de roche 23 cm, avec chevilles	Laine de roche 26 cm, avec consoles	Laine de verre 21 cm, avec chevilles	Laine de verre 24 cm, avec consoles	Fibres de bois à faible densité 25, avec chevilles	Fibres de chanvre collées 26 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre 30 cm, avec consoles	Verre cellulaire collé 27 cm, avec chevilles
Produits	swisspor-Lambda Vento	swisspor-Lambda Vento Premium	Panneaux isolants Flumroc DUO	Panneaux isolants Flumroc DUO	Panneaux isolants de façade Isover BPF	Panneaux isolants de façade-Isover BPF	HOMATHER M holzFlex standard	Isover Florapan	Isover Florapan	Plaques en verre cellulaire T4 WDS
Limites du système: chevilles de fixation pour panneau isolant	Système Rogger avec chevilles de fixation	Système Rogger avec chevilles de fixation	Système Rogger avec chevilles de fixation	Système Wagner UKS, avec chevilles de fixation	Système Rogger avec chevilles de fixation	Système Wagner WSK, avec chevilles de fixation	Système Rogger, pose en 2 couches, la 1 <sup>re</sup> étant collée, avec chevilles de fixation	Système Rogger, pose en 2 couches, la 1 <sup>re</sup> étant collée, avec chevilles de fixation	Système Rogger, pose en 2 couches, avec chevilles de fixation	Système Rogger, pose en 2 couches, la 1 <sup>re</sup> étant collée, avec chevilles de fixation
Masse volumique apparente [kg/m <sup>3</sup> ], sel. indications du fabricant	15	25	60	60	40	40	40	35	35	110
$\lambda$ [W/m·K], sel. cahier technique SIA 2001	0.031	0.029	0.034	0.034	0.032	0.032	0.038	0.040	0.040	0.040
$\lambda$ [W/m·K], sel. indications du fabricant	0.031	0.029	0.034	0.034	0.032	0.032	0.038	0.040	0.040	0.040
Epaisseur de l'isolant [m]	0.207	0.191	0.227	0.255	0.214	0.240	0.251	0.264	0.300	0.264
Nombre de couches	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
<b>Poids spécifique de l'isolant [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>3.11</b>	<b>4.78</b>	<b>13.62</b>	<b>15.30</b>	<b>8.56</b>	<b>9.60</b>	<b>10.04</b>	<b>9.24</b>	<b>10.50</b>	<b>29.04</b>

Le tableau 12 décrit les systèmes d'isolation et leurs propriétés physiques prises comme bases pour les calculs et évaluations qui suivent. Le dispositif de base est une façade ventilée, possédant un coefficient  $U = 0,15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ , dont l'isolant est posé sur un mur en briques de terre cuite et couvert d'une plaque de protection de  $25 \text{ kg/m}^2$ . Les épaisseurs d'isolant requises ont été calculées pour la paroi extérieure prise dans son ensemble, en tenant compte des ponts thermiques dus aux systèmes de fixation et aux sous-constructions. Lorsque l'isolation est relativement épaisse, il est important de prendre en compte les éléments de la sous-construction, tant du point de vue de la quantité de matériaux nécessaires que des ponts thermiques induits, et donc du surplus d'isolation nécessaire pour les compenser. Les dispositifs nécessitant des épaisseurs d'isolation de plus de 25 cm sont inhabituels. S'agissant des isolants présentant une certaine élasticité, deux solutions de fixation ont été étudiées, à savoir le système Rogger, basé sur des chevilles, et le système Wagner, utilisant des consoles. Dans le système Rogger, les longues chevilles (vis) sont vissées dans le mur porteur à travers un lattage de bois (destiné à la ventilation de façade) et à travers toute l'épaisseur de l'isolant.

<sup>28</sup> Unterkonstruktionsystem (système de sous-construction)

<sup>29</sup> Wagner System Konsole (système de console Wagner)

<sup>30</sup> La même remarque s'applique probablement pour les unités de charge environnementale (UCE) des fibres de chanvre. Du fait que ces données n'existent pas, on a procédé à une estimation conservatrice de ces aspects sur la base d'une analogie avec d'autres produits, en particulier le coton.

Dans le cas des façades ventilées, **les coûts d'investissement** sont induits pour 2/3 par les coûts des matériaux, et pour 1/3 par les coûts de mise en œuvre (rapport 2:1). Les coûts de mise en œuvre sont significativement moins élevés pour les systèmes de pose basés sur des chevilles, que pour les systèmes avec consoles. Mis à part pour le verre cellulaire, les coûts globaux des dispositifs de pose basés sur le système à chevilles (Rogger) sont très proches d'un système à l'autre. Le coût du verre cellulaire est environ deux à trois fois plus élevé que pour les autres matériaux isolants, sans présenter d'avantages décisifs sur les autres critères.

Le critère **Eventail des applications** (qui désigne plus spécifiquement la fourchette des utilisations possibles) est utilisé dans le cas des façades ventilées pour évaluer les restrictions d'utilisation dues aux mesures de protection contre les incendies. Cette appréciation ne concerne donc que ce domaine d'application. La méthode est présentée dans le tableau 13. L'indice officiel d'incendie, le nombre d'étages ou niveaux pouvant être isolés sans mesures de protection particulières et l'importance des mesures pour prévenir les incendies entrent en considération pour obtenir la note finale: Eventail des applications. Alors que les isolants minéraux peuvent être posés sans précautions particulières sur des façades d'immeubles allant jusqu'à >7 étages, les isolants à base de fibres végétales ou organiques sont limités à quatre étages (sans protection). Pour les isolants à base d'EPS, un cloisonnement anti-feu doit être mis en place dès quatre niveaux et jusqu'à la limite des bâtiments élevés. Pour les isolants à base de fibres végétales, un crépi minéral est nécessaire, entraînant une augmentation des quantités de matériaux nécessaires et un surcroît considérable de travail de fixation. Les points de pondération de la dernière colonne ne suivent pas forcément tous exactement la même logique: pour que cela soit possible, il faudrait identifier et recenser en détail les multiples mesures qui les sous-tendent.

Du point de vue de la **sécurité de mise en œuvre**, les panneaux en fibres de chanvre obtiennent la meilleure note. Leur manipulation sur le chantier n'entraîne en effet aucun risque du point de vue de l'hygiène du travail (2 points); en outre, ils sont comparativement légers et élastiques. Pour les façades ventilées, l'élasticité de forme est systématiquement pondérée de manière plus importante que la sensibilité aux intempéries. En effet, l'impact des intempéries (humidité) est moins important pour des isolants posés dans des façades ventilées que pour des isolants de toitures plates. A propos de la laine de roche et de la laine de verre, il faut prendre en compte les dangers potentiels du point de vue de l'hygiène du travail, en raison du risque de pénétration de ces fibres dans les pou-

mons; ces deux isolants se caractérisent encore par un poids, une élasticité de forme et une sensibilité aux intempéries moyens. Les fibres végétales ont le même profil, sauf que l'on peut les mettre en œuvre sans prendre de mesures de protection particulières. Le désavantage des isolants alvéolaires organiques est leur faible élasticité de forme. Le verre cellulaire résiste bien aux intempéries, mais ce critère est pondéré plus faiblement pour les façades ventilées.

L'échelle de l'axe concernant **l'absence de matières potentiellement nocives** est définie d'après la toxicité potentielle du produit le moins bon, c'est-à-dire l'XPS, qui, pour le même pouvoir isolant que les autres matériaux, obtient la note 1 (cf. chap. 2.4). Cette méthode permet d'éviter des biais par rapport aux autres domaines d'application. L'XPS contient les mêmes additifs pour augmenter sa résistance au feu que l'EPS, mais en quantités trois fois plus grandes. Dans la figure 3, les systèmes d'isolation à base d'EPS obtiennent donc tous la note 6 du point de vue du critère de l'absence de polluants.

Pour ce qui est des critères relatifs au **recyclage ou à l'élimination**, tous les systèmes de pose sans colle sont facilement «déconstructibles». Pour les panneaux en fibres de chanvre fixés avec des chevilles, la première couche d'isolation doit être collée, de même que pour le verre cellulaire. Par ailleurs, la laine de roche ou de verre est à la fois facilement recyclable ou facilement éliminable (cf. aussi chap. 2.6). Les systèmes d'isolation à base d'EPS peuvent tous être recyclés de manière optimale. Ils ne remplissent cependant pas entièrement le critère de la facilité d'élimination, car l'EPS contient du brome, qui se retrouve dans les résidus de l'incinération et reste donc un problème. Les panneaux isolants en fibres de chanvre ou de bois, ou en verre cellulaire ne remplissent pas le critère de recyclage, car il n'existe aucune filière de récupération pour ce matériau (cf. chap. 2.6)

*La figure 3 représente l'évaluation selon le système «Spider» des données concernant les façades ventilées. Toutes les données détaillées figurent dans les tableaux de l'annexe B.*



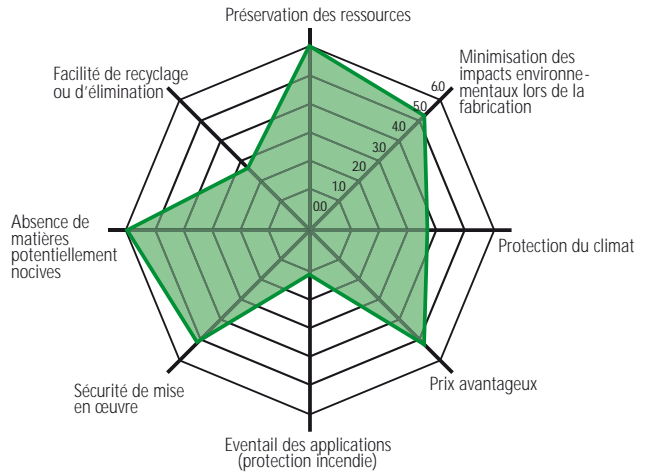
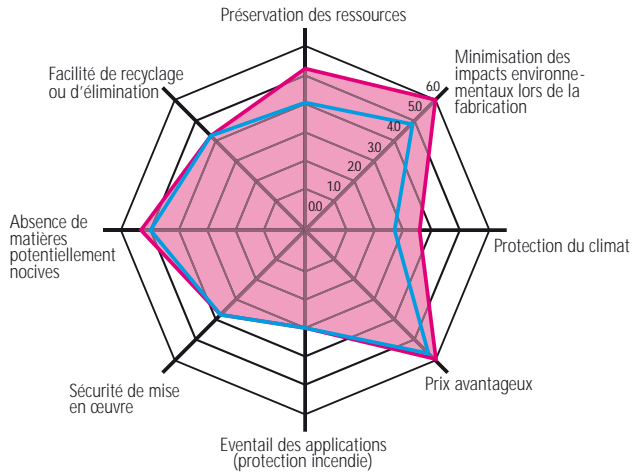
Fig. 3

**Façades ventilées, U de 0.15 W/(m².K)**  
de 19 à 30 cm pour un même pouvoir isolant



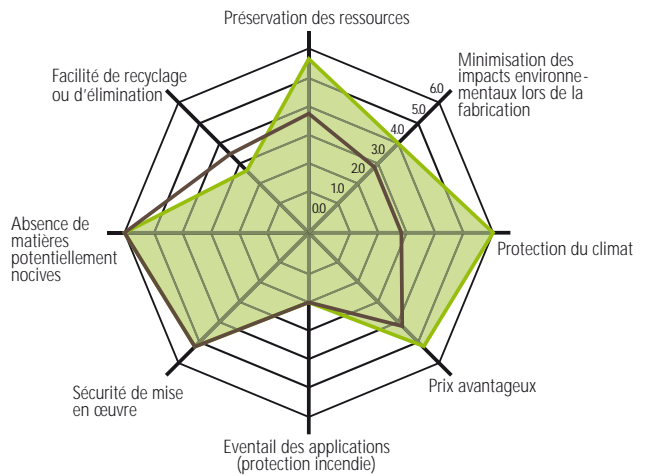
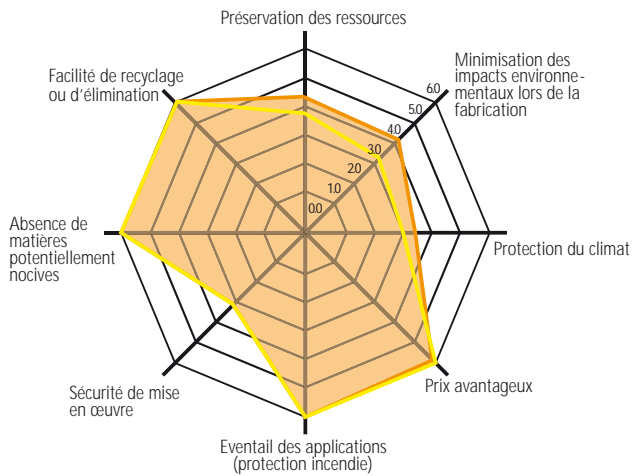
- EPS 25 graphité chevilles d'écartement 19 cm
- EPS 15 graphité chevilles d'écartement 21 cm

- Fibres de bois à faible densité, chevilles d'écartement 25 cm



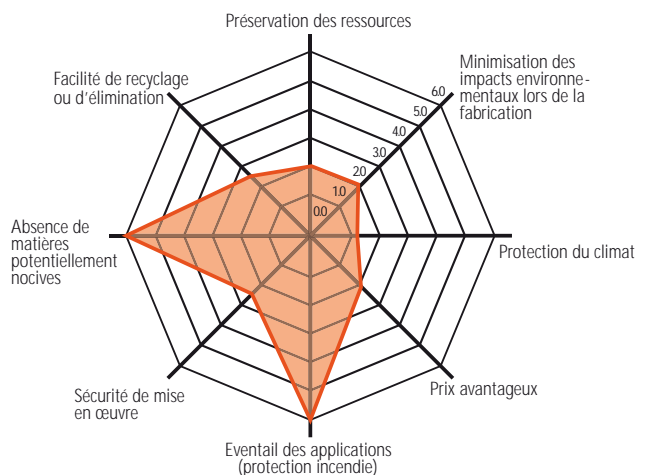
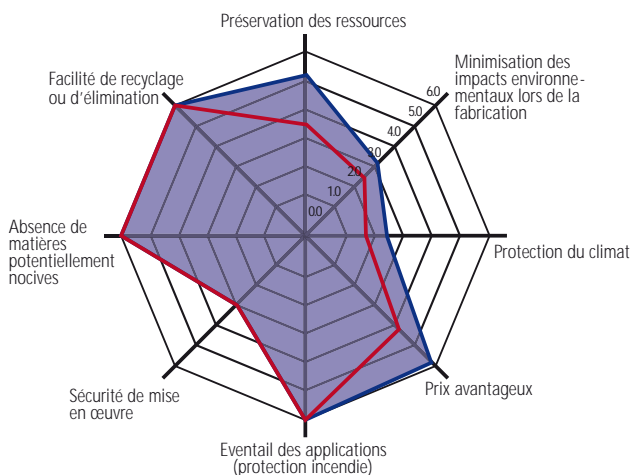
- Laine de verre chevilles d'écartement 21 cm
- Laine de verre sur console 24 cm

- Fibres de chanvre collées chevilles d'écartement 26 cm
- Fibres de chanvre sur console 30 cm



- Laine de roche chevilles d'écartement 23 cm
- Laine de roche sur console 26 cm

- Verre cellulaire collé chevilles d'écartement 27cm



Tab. 13

## Evaluation des mesures de protection contre les incendies dans le cas des façades ventilées

Désignation	EPS 15 graphité 21 cm, avec chevilles	EPS 25 graphité 19 cm, avec chevilles	Laine de roche 23 cm, avec chevilles	Laine de roche 26 cm, avec consoles	Laine de verre 21 cm, avec chevilles	Laine de verre 24 cm, avec consoles	Fibres de bois à faible densité 25 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre collées 26 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre 30 cm, avec consoles	Verre cellulaire collé 27 cm, avec chevilles	Pondération
Indice d'incendie (comportement au feu)	5.10	5.10	6.30	6.30	6.30	6.30	4.30	5.30	5.30	6.30	2
Nbre d'étages ou niveaux sans mesures spéciales	4	4	>7	>7	>7	>7	4	4	4	4	1
Mesures	cloisonnement pare-feu	cloisonnement pare-feu	aucune	aucune	aucune	aucune	crépi minéral	crépi minéral	crépi minéral	aucune	
Importance des mesures de protection contre les incendies	moyenne	moyenne	nulle	nulle	nulle	nulle	élevée	élevée	élevée	nulle	2
Protection contre les incendies (note)	2.8	2.8	6.0	6.0	6.0	6.0	1.0	2.0	2.0	6.0	1+5

# 5. Façades compactes (isolations thermiques extérieures crépies)

## 5.1 Dispositif de base et conditions aux limites

La comparaison porte sur deux types d'isolant à base d'EPS, un panneau en laine de roche et un panneau composite en PF. L'isolant composite est fait d'un cœur en phénol-formaldéhyde (PF, phénol) inséré dans une enveloppe en EPS. Ce type de panneau se distingue par une très faible conductivité thermique, notamment grâce à un gaz particulier qui remplit les cellules. Pour les calculs, l'auteur de l'étude a choisi les produits disponibles sur le marché suisse et recommandés pour les façades compactes. Toutes les épaisseurs d'isolants et tous les poids spécifiques ont été calculés avec exactitude, sans tenir compte des épaisseurs courantes disponibles sur le marché. De même, toutes les méthodes quantitatives utilisées pour la représentation en toile d'araignée se basent sur des chiffres exacts, à l'exception de l'estimation des coûts, où les données ont dû être arrondies selon des procédés en usage dans la branche. La conductivité thermique est tirée de la norme SIA 279<sup>31</sup>; elle correspond, pour tous les produits, aux indications du fabricant.

Les épaisseurs d'isolants vont de 15 cm environ (panneau composite en PF) à 23 cm (EPS 15 standard). Le matériau isolant le plus léger (EPS graphité) est près de sept fois plus léger que la laine de roche. Dans ce domaine d'application également, le coût de mise en œuvre est un facteur décisif lorsqu'on tient compte des évaluations quantitatives dans l'analyse globale.

## 5.2 Résultats

Sur les trois axes représentant les **bilans de matières et d'énergie**, les résultats des panneaux en EPS graphité sont environ deux fois meilleurs que ceux des panneaux composites en mousse phénolique PF ou des panneaux en laine de roche. Dans ce domaine d'application également, les différences de notation sont dues aux différences de poids spécifique entre matériaux. Même les panneaux composites en mousse phénolique PF, qui présentent pourtant une conductivité thermique faible, exigent presque deux fois plus de matériaux que les panneaux en EPS graphité. Le ciment-colle

composé de ciment et d'adjuvants plastiques joue un rôle secondaire dans le bilan global des différents matériaux isolants. Par exemple, 4 kg de ciment-colle ne représentent que 25 MJ, en comparaison des 300 à 600 MJ nécessaires pour fabriquer l'isolant lui-même.

Les coûts de mise en œuvre représentent, à l'intérieur des limites du système retenues, entre 10 et 20 % des **coûts totaux d'investissement**. Quant aux impacts sur l'environnement, on constate, selon une première approximation, qu'ils évoluent parallèlement aux coûts d'investissement. Les isolants les moins dommageables pour l'environnement sont aussi les moins chers. Cependant, cette règle ne s'applique pas dans la comparaison entre les deux types de panneaux à base d'EPS, ni entre les panneaux composites en mousse phénolique PF et ceux en laine de roche.

S'agissant des différents critères définissant la **sécurité de mise en œuvre**, ils sont pondérés quelque peu différemment dans le cas des façades compactes que dans celui des façades ventilées. Comme dans les autres domaines d'application, l'absence de risque sur le plan de l'hygiène du travail permet d'obtenir 2 points sur l'échelle de 6, tandis qu'un bon comportement à la déformation et un poids optimal valent 1,5 point et la résistance aux intempéries, 1 point – ce dernier critère est particulièrement délicat pour les isolations crépies.

Les isolants en EPS et les panneaux composites en PF obtiennent 4 points pour le critère de la sécurité de mise en œuvre. La raison pour laquelle ces matériaux n'atteignent pas les 6 points est liée à l'absence d'élasticité et à une légère sensibilité aux intempéries. Les panneaux en laine de roche ne se distinguent pas du point de vue de leur sécurité de mise en œuvre, mais en raison de leur légère élasticité. Lourds et sensibles aux intempéries, ils nécessitent en outre un équipement de protection pour les ouvriers qui en font la pose.

Bien que les isolants à base d'XPS ne soient pas présentés pour ce domaine d'application, l'échelle de l'axe concernant **l'absence de matières potentiellement nocives** est dé-

<sup>31</sup>  $\lambda_D$  correspond à 90 % de la valeur des fractiles, selon SIA 279

<sup>32</sup> RÈGLEMENT (CE) N° 1907/2006 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH)

Tab. 14

## Systemes d'isolation: types et propriétés physiques

Désignation	EPS 15 graphité collé 19 cm	EPS 15 standard collé 23 cm	Laine de roche collée 22 cm	Panneaux composites en PF, collés 15 cm
Produits	swissporLambda Plus	swissporEPS Façades/Progress	Panneaux isolants compacts Flumroc	gonon HiCompact
Limites du système de construction	1 couche, collée	1 couche, collée	1 couche, collée	1 couche, collée
Masse volumique apparente [kg/m <sup>3</sup> ], sel. indications du fabricant	15	15	90	37.5
$\lambda$ [W/m·K], sel. cahier technique SIA 2001	0.031	0.038	0.036	0.024
$\lambda$ [W/m·K], sel. indications du fabricant	0.031	0.038	0.036	0.024
Epaisseur de l'isolant [m]	0.187	0.229	0.217	0.145
Nombre de couches	1	1	1	1
Poids spécifique de l'isolant [kg/m <sup>2</sup> ]	2.81	3.44	19.53	5.44
Colles minérales [kg/m <sup>2</sup> ]	4.000	4.000	5.500	4.250
Cheilles de fixation PA (3 pces / m <sup>2</sup> / couche) [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	0.120	0.000
<b>Total [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>15.11</b>	<b>15.74</b>	<b>33.45</b>	<b>13.14</b>

finie d'après la toxicité potentielle du produit le moins bon, c'est-à-dire l'XPS, qui obtient, pour le même pouvoir isolant que les autres matériaux, la note 1 (cf. chap. 2.4). Cette méthode permet d'éviter des biais par rapport aux autres domaines d'application. L'XPS contient les mêmes agents ignifuges que l'EPS, mais en quantités trois fois plus grandes. Le résultat de cette réflexion se reflète sur l'évaluation des produits à base d'EPS, qui est moins bonne que les produits entièrement satisfaisants du point de vue de leurs émissions de matières potentiellement nocives (cf. fig. 4). Les panneaux composites en mousse phénolique PF contiennent eux des composants soumis à l'obligation d'étiqueter au sens du règlement concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH)<sup>32</sup>, mais les quantités et les pondérations de ces composants sont à peu près sembla-

bles à celles des panneaux en EPS. Les composants des panneaux composites en mousse phénolique nous ont été communiqués par le fabricant à l'étranger, à la condition que ces données restent confidentielles.

Parmi les critères relatifs à **l'élimination**, la facilité de déconstruction n'est assurée dans aucun des systèmes d'isolation des façades compactes. En effet, en l'état actuel des techniques d'élimination, il est quasiment impossible de séparer le ciment-colle et les couches de crépis du panneau isolant proprement dit. Ainsi, aucun des systèmes n'est recyclable de manière optimale. Deux points ont été retirés aux panneaux en EPS, en raison des résidus problématiques qu'ils laissent après leur incinération (cf. aussi chap. 2.6). La laine de roche est le produit dont l'élimination est la plus facile en particulier parce que les couches de mortier qui y adhèrent après

démontage ne compliquent pas ce processus (cet aspect ne peut cependant pas être pris en compte formellement dans le présent système d'évaluation). Les panneaux composites en mousse phénolique PF ne peuvent pas être recyclés au sens des critères fixés ici, car il s'agit de plastiques thermodurcissables (duroplastés). Comme il s'agit d'un produit composite à base d'EPS et de mousse phénolique, il ne peut pas être incinéré sans produire de résidus problématiques.

*Le tableau 14 décrit les systèmes d'isolation et leurs propriétés physiques prises comme bases pour les calculs et évaluations qui suivent. Le dispositif de base est une façade compacte, possédant un coefficient  $U = 0,15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ , dont l'isolant est fixé sur un mur en briques de terre cuite. Les épaisseurs d'isolant requises ont été calculées pour la paroi extérieure prise dans son ensemble, en tenant compte des ponts thermiques dus au système de fixation, mais sans le système de crépissage. Tous les dispositifs d'isolation supportent différents systèmes de crépissage. Pour les panneaux en laine de roche, une petite couche d'apprêt au mortier posée sur l'isolant a été comptabilisée, car, lors du crépissage, il faut poser une couche plus épaisse de crépi que pour les surfaces bien plates des panneaux isolants en matières plastiques.*

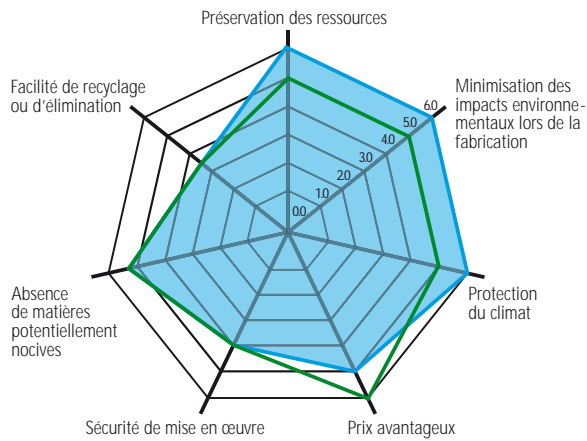


Fig. 4

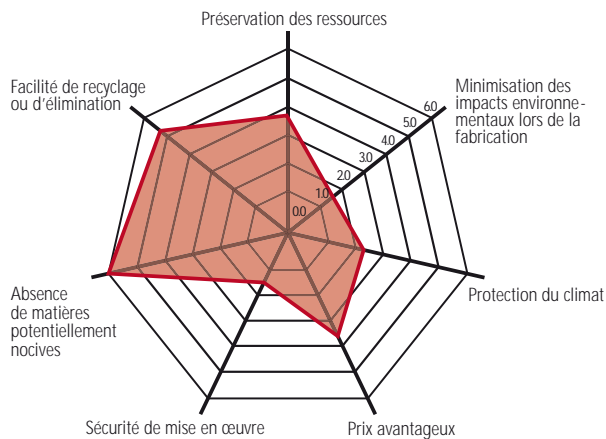
## Façades compactes, U de 0.15 W/(m<sup>2</sup>·K)

presque tout parle en faveur de l'EPS

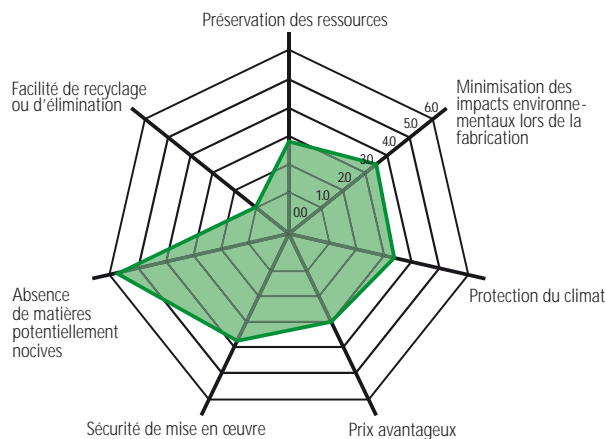
- EPS 15 graphité collé 19 cm
- EPS 15 standard collé 23 cm



- Laine de roche collée 22 cm



- Panneaux composites en PF, collés 15 cm



La figure 4 représente sous forme de toile d'araignée, les données concernant les façades compactes. Toutes les données détaillées figurent dans les tableaux de l'annexe C. Si les graphiques en toile d'araignée font apparaître des avantages significatifs pour l'EPS, la laine de roche obtient de meilleures notes quant à sa facilité d'élimination ou à l'absence de matières potentiellement nocives. Les graphiques de la méthode «Spider» font apparaître de nets avantages pour les isolants en EPS et EPS graphité.

## 6. Murs extérieurs enterrés (isolations périmétriques)

### 6.1 Dispositif de base et conditions aux limites

Par «isolation périmétrique», on entend l'isolation des murs extérieurs enterrés (sous-sols). Le tableau 15 décrit les systèmes d'isolation et leurs propriétés physiques prises comme bases pour les calculs et évaluations qui suivent. Le dispositif de base est un mur en béton isolé par une couche dont le coefficient  $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Les épaisseurs d'isolant requises ont été calculées pour la paroi extérieure prise dans son ensemble, en tenant compte des ponts thermiques dus au système de fixation. Chacun des systèmes d'isolation comprend la couche de colle, telle qu'elle est recommandée par les fabricants du système. En revanche, la couche de protection de l'isolation ou d'éventuelles plaques drainantes ne font pas partie du système étudié.

La comparaison porte sur les trois matériaux isolants les plus courants: le polystyrène expansé à haute densité, le polystyrène extrudé et le verre cellulaire. L'EPS à haute densité est également désigné par l'appellation «mousse rigide de polystyrène expansé»; très semblable à l'EPS normal, il est également fabriqué à partir de particules pré-moussées. Le choix est obligatoirement restreint à ces types de produits, car ils doivent tous, pour ce domaine d'application, être résistants à l'eau. Pour les calculs, l'auteur de l'étude a choisi les produits disponibles sur le marché suisse et recommandés pour les isolations périmétriques. Il a délibérément éliminé de son choix les produits spéciaux offrant une fonction intégrée de drai-

nage. Toutes les épaisseurs d'isolants et tous les poids spécifiques ont été calculés avec exactitude, sans tenir compte des épaisseurs courantes disponibles sur le marché. De même, toutes les méthodes quantitatives utilisées pour la représentation en toile d'araignée se basent sur des chiffres exacts, à l'exception de l'estimation des coûts, où les données ont dû être arrondies selon des procédés en usage dans la branche. La conductivité thermique est tirée de la norme SIA 279<sup>33</sup>; elle correspond, pour tous les produits, aux indications du fabricant.

Les épaisseurs d'isolants vont de 16 cm environ (pour l'EPS) à 19 cm (pour le verre cellulaire). Comparées aux autres domaines d'application, ces épaisseurs sont très proches les unes des autres. Cela se comprend aisément, puisque les conductivités thermiques sont très semblables d'un matériau à l'autre. De même, les poids spécifiques sont assez similaires les uns par rapport aux autres. Seul le verre cellulaire se distingue par un poids spécifique près de trois fois plus élevé que l'EPS à haute densité.

---

<sup>33</sup>  $\lambda_0$  correspond à 90 % de la valeur des fractiles, selon SIA 279

Tab. 15

## Systèmes d'isolation: types et propriétés physiques

Désignation	EPS à haute densité 16 cm	XPS 17 cm	Verre cellulaire 19 cm
Produits	swissporEPS Plaques périmétriques	swissporXPS Jackodur KF 300 Standard SF	Plaques en verre cellulaire T4 WDS
Limites du système de construction	isolation en 1 couche colle bitumineuse monocomposant (1K)	isolation en 1 couche bitumineuse monocomposant (1K)	isolation en 1 couche colle bitumineuse à froid PC 56
Masse volumique apparente [kg/m <sup>3</sup> ], sel. indications du fabricant	30	33	110
$\lambda$ [W/m·K], sel. cahier technique SIA 2001	0.033	0.035	0.040
$\lambda$ [W/m·K], sel. indications du fabricant	0.033	0.035	0.040
Epaisseur de l'isolant [m]	0.156	0.165	0.189
Nombre de couches	1	1	1
Poids spécifique de l'isolant [kg/m <sup>2</sup> ]	4.68	5.45	20.79
Colle bitumineuse monocomposant (1K) [kg/m <sup>2</sup> ]	3.000	3.000	0.000
Colle bitumineuse bicomposant (2K), de type PC 56 [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	6.000
<b>Total [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>7.68</b>	<b>8.45</b>	<b>27.08</b>



## 6.2 Résultats

S'agissant des trois axes définissant les **bilans de matières et d'énergie**, les deux isolants à base de polystyrène sont, comparés aux autres produits, proches l'un de l'autre: ils ont pour ainsi dire une parenté certaine. Le verre cellulaire a environ deux fois plus **d'impact sur l'environnement** que les deux autres types de matériaux isolants.

Les coûts de mise en œuvre représentent, à l'intérieur des limites du système retenues, entre 10 et 15 % des **coûts totaux d'investissement**. En raison du prix des matériaux de base, le verre cellulaire est environ deux fois plus cher que l'EPS à haute densité, et environ 30 % plus cher que l'XPS.

S'agissant des isolations périmétriques, les caractéristiques définissant la **sécurité de mise en œuvre** sont pondérées différemment que dans les autres domaines d'application. La sensibilité aux intempéries n'est pas prise en compte, car tous les produits doivent résister à l'eau dans ce domaine d'application. Il reste trois critères, qui sont pondérés de manière égale, à raison de 2 points par critère. Les types d'isolants ne se distinguent que sur le critère du poids des panneaux. Sur cet axe de la sécurité de mise en œuvre, c'est donc le seul critère discriminant. L'absence de risques sur le plan de l'hygiène du travail est notée de 2 points dans tous les domaines d'application. Dans le cas présent, ce critère est rempli pour tous les produits. Les colles utilisées ne nécessitent pas un équipement de protection particulier pour les ouvriers chargés de leur mise en œuvre.

L'échelle de l'axe concernant **l'absence de matières potentiellement nocives** se base sur la toxicité potentielle du produit le moins bon, c'est-à-dire l'XPS (cf. chap. 2.4). Les colles ne contiennent pas de composants soumis à l'obligation d'étiquetage, qu'il serait pertinent de prendre en considération au niveau de l'utilisation. Dans la figure 5, on voit que les matériaux isolants en EPS présentent environ 30 % de matières nocives en moins que les matériaux en XPS. Sur ce même axe, le verre cellulaire obtient meilleure note, juste devant l'EPS, car il n'entraîne aucune émission de matières potentiellement nocives lors de sa fabrication, selon le critère retenu dans cette méthode d'évaluation.

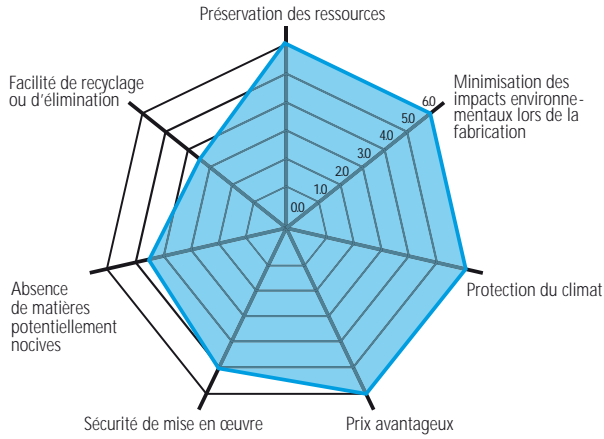
S'agissant des **critères relatifs à l'élimination**, la facilité de déconstruction dans le cas des isolations périmétriques, n'est pour ainsi dire pas donnée. Il est probable que, même à l'avenir, la déconstruction ordonnée des isolants des murs extérieurs enterrés sera réservée à quelques cas particuliers; dans la majorité des cas, il ne sera pas possible de recycler les matériaux isolants. En d'autres termes, tous les systèmes d'isolation périmétrique perdent un point sur ce critère de la facilité de déconstruction. Les isolants à base de polystyrène se voient grevés de déductions supplémentaires en raison des résidus problématiques issus de leur traitement dans les usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM); pour l'XPS, cette déduction est due à l'impossibilité de recycler le produit. S'agissant du verre cellulaire, contrairement aux affirmations du fabricant qui le déclare recyclable, il est certes possible de l'éliminer dans des décharges contrôlées pour matériaux inertes (ce qui lui vaut 2 points), mais pas de le recycler. En effet, le «recyclage» du verre cellulaire est tout au plus un «downcycling» permettant de récupérer du sable de moindre valeur pour la construction des routes, ou d'autres matériaux de substitution du gravier.

Fig. 5

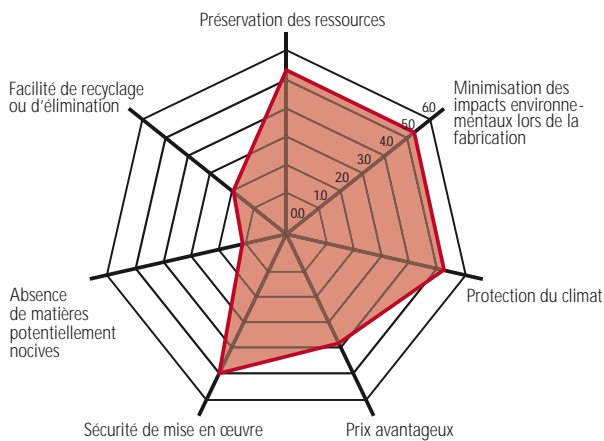
## Isolations périmétriques, U de 0.20 W/(m²·K)

préservation des ressources ou absence de polluants, il faut choisir...

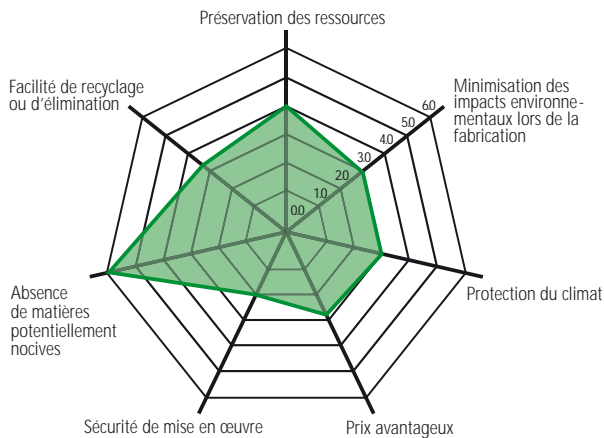
### ● EPS à haute densité 16 cm



### ● XPS 17cm



### ● Verre cellulaire 19 cm



La figure 5 représente sous forme de toile d'araignée les données concernant les isolations périmétriques. Toutes les données détaillées figurent dans les tableaux de l'annexe D. Dans ce domaine d'application, les graphiques en toile d'araignée montrent que les produits se ressemblent beaucoup. Cependant le polystyrène expansé à haute densité obtient presque partout les meilleures notes, à l'exception du critère qualifiant l'absence de matières potentiellement nocives.

# Annexe A: Données sur les isolations de toitures plates

Toit praticable avec végétalisation extensive, sans caractéristique particulière ou charge: coefficient U: 0.15 W/(m²·K)

Résumé Echelle des graphiques en toile d'araignée	EPS 25 standard 23 cm	EPS 25 graphité 19 cm	XPS 23 cm	PUR revêtu d'aluminium 16 cm	PUR revêtu d'un voile minéral 17 cm	Laine de roche 30 cm	Verre cellulaire 27 cm
Préservation des ressources	5.1	6.0	3.7	5.6	5.2	2.7	1.6
Minimisation des impacts environnementaux lors de la fabrication	5.1	6.0	3.8	3.6	3.3	0.9	1.7
Protection du climat	5.1	6.0	3.7	4.8	4.5	1.5	2.0
Prix avantageux	6.0	6.0	3.5	5.2	5.4	2.3	1.5
Sécurité de mise en œuvre	4.0	4.0	4.9	4.0	4.0	1.0	2.4
Absence de matières potentiellement nocives	4.8	5.0	1.0	5.2	5.1	6.0	6.0
Durée d'utilisation	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.5	6.0
Facilité de recyclage ou d'élimination	4.3	4.3	2.7	3.5	3.5	6	3.5

## Conditions aux limites et grandeurs de référence

Désignation	EPS 25 standard 23 cm	EPS 25 graphité 19 cm	XPS 23 cm	PUR revêtu d'aluminium 16 cm	PUR revêtu d'un voile minéral 17 cm	Laine de roche 30 cm	Verre cellulaire 27 cm
Masse volumique apparente [kg/m³], sel. indications du fabricant	25	25	33	30	30	160	110
Produits	swissporEPS 150 toiture	swisspor-LAMBDA Roof	swissporXPS Jackodur KF 300 Standard SF	swissporPUR Alu	swissporPUR Voile	Panneaux isolants Flumroc MEGA	Plaques en verre cellulaire T4 WDS
Limites du système	isolation seule	isolation seule	isolation seule	isolation seule avec feuille d'alu.	isolation seule avec voile minéralisé	isolation seule	isolation + 13 kg de bitume chaud
$\lambda$ [W/(m·K)], sel. cahier technique SIA 2001	0.034	0.029	0.035	0.024	0.026	0.045	0.040
$\lambda$ [W/(m·K)], sel. indications du fabricant	0.034	0.029	0.035	0.024	0.026	0.045	0.040
Epaisseur de l'isolant [m]	0.227	0.193	0.233	0.160	0.173	0.300	0.267
Nombre de couches	1	1	1	1	1	3	2
Poids spécifique [kg/m²]	5.67	4.83	7.70	4.80	5.20	48.00	29.33

# Annexe A: Données sur les isolations de toitures plates

Toit praticable avec végétalisation extensive, sans caractéristique particulière ou charge: coefficient U: 0.15 W/(m²·K)

## Conditions aux limites et grandeurs de référence

Désignation	EPS 25 standard 23 cm	EPS 25 graphité 19 cm	XPS 23 cm	PUR revêtu d'aluminium 16 cm	PUR revêtu d'un voile minéral 17 cm	Laine de roche 30 cm	Verre cellulaire 27 cm
<b>Bilans de matières et d'énergie</b>							
Energie grise [MJ/kg]	96	95	97	96	96	22	34
Unités de charge environnementale [UCE/kg]	3'302	3'307	3'276	5'040	5'040	2'120	1'572
CO <sub>2eq</sub> [kg/kg]	3.75	3.74	3.77	4.21	4.21	1.46	1.58
Energie grise [MJ/m²]	541	460	745	492	532	1'042	1'710
Unités de charge environnementale [UCE/m²]	18'709	15'982	25'225	26'787	28'829	101'760	57'903
CO <sub>2aeq</sub> [kg/m²]	21	18	29	23	24	70	54
<b>Coûts d'investissement</b>							
Coûts des matériaux (1000 m²) [Fr./m²]	Fr 51.00	Fr 50.90	Fr 95.00	Fr 59.90	Fr 57.60	Fr 129.75	Fr 209.00
Coûts de mise en œuvre [Fr./m²]	Fr 9.30	Fr 8.95	Fr 9.30	Fr 8.90	Fr 8.90	Fr 25.15	Fr 33.00
Coûts totaux [Fr./m²]	Fr 60.30	Fr 59.85	Fr 104.30	Fr 68.80	Fr 66.50	Fr 154.90	Fr 242.00
<b>Mise en œuvre</b>							
Risques au niveau de l'hygiène du travail	aucuns	aucuns	aucuns	aucuns	aucuns	présents	présents
Poids des panneaux [kg/m²]	5.67	4.83	7.70	4.80	5.20	48.00	29.33
Comportement à la déformation	rigide	rigide	rigide	rigide	rigide	élastique	rigide
Sensibilité aux intempéries	moindre	moindre	nulle	moindre	moindre	+ ou - grande	nulle
Sécurité de mise en œuvre	4.0	4.0	4.9	4.0	4.0	1.0	2.4

# Annexe A: Données sur les isolations de toitures plates

Toit praticable avec végétalisation extensive, sans caractéristique particulière ou charge: coefficient U: 0.15 W/(m<sup>2</sup>·K)

Désignation	EPS 25 standard 23 cm	EPS 25 graphité 19 cm	XPS 23 cm	PUR revêtu d'aluminium 16 cm	PUR revêtu d'un voile minéral 17 cm	Laine de roche 30 cm	Verre cellulaire 27 cm
<b>Composants problématiques pour l'environnement</b>							
Composants problématiques pour l'environnement	présents	présents	présents	présents	présents	absents	absents
Poids des panneaux [kg/m <sup>2</sup> ]	5.667	4.833	7.700	4.800	5.200	48.000	29.333
Potentiel pondéré par unité de quantité	500	500	1500	400	400	0	0
Pondération selon le modèle de facteurs d'influence du règlement TRSG 440	2833	2417	11550	1920	2080	0	0
<b>Résistance (durabilité)</b>							
Cahier technique SIA 480	30	30	30	30	30	30	30
Résistance (durée d'utilisation)/année	50	50	50	50	50	60	100
Total (moyenne)	40	40	40	40	40	45	65
<b>Valorisation ou élimination</b>							
Facilité de déconstruction	grande	grande	grande	grande	grande	grande	nulle
Technologie de recyclage en 2008	disponible	disponible	disponible	non disponible	non disponible	disponible	disponible
Logistique en Suisse en 2008	disponible	disponible	non disponible	non disponible	non disponible	disponible	non disponible
Neutralité des coûts du recyclage en Suisse en 2008	s'applique	s'applique	ne s'applique pas	ne s'applique pas	ne s'applique pas	s'applique	ne s'applique pas
Degré de «recyclabilité»	4	4	2	1	1	4	1
Obligation d'incinérer	s'applique	s'applique	s'applique	s'applique	s'applique	ne s'applique pas	ne s'applique pas
Résidus issus de l'incinération (exigences SIA 493)	ex. non atteintes	ex. non atteintes	ex. non atteintes	ex. atteintes	ex. atteintes	–	–
Obligation de mettre en décharge	ne s'applique pas	ne s'applique pas	ne s'applique pas	ne s'applique pas	ne s'applique pas	s'applique	s'applique
Qualité des matériaux inertes (exigences)	–	–	–	–	–	ex. atteintes	ex. atteintes
Élimination non problématique	0	0	0	2	2	2	2

# Annexe B:

## Données sur les isolations de façades ventilées

Façade ventilée dont l'isolant est fixé sur un mur en briques de terre cuite, y c. fixation et 25 kg/m<sup>2</sup> de revêtement de façade coefficient U: 0.15 W/(m<sup>2</sup>·K) sans coupe-vent construction dans son ensemble

Résumé Echelle des graphiques en toile d'araignée	EPS 15 graphité 21 cm, avec chevilles	EPS 25 graphité 19 cm, avec chevilles	Laine de roche 23 cm, avec chevilles	Laine de roche 26 cm, avec consoles	Laine de verre 21 cm, avec chevilles	Laine de verre 24 cm, avec consoles	Fibres de bois à faible densité 25 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre collées 26 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre 30 cm, avec consoles	Verre cellulaire collé 27 cm, avec chevilles
Préservation des ressources	5.3	3.9	5.2	3.5	4.3	3.8	6.0	5.6	3.8	1.9
Minimisation des impacts environnementaux lors de la fabrication	6.0	4.8	3.2	2.4	4.2	3.5	5.4	3.8	2.8	2.1
Protection du climat	3.6	2.7	2.5	1.6	3.3	2.9	3.7	6.0	2.7	1.2
Prix avantageux	6.0	5.5	5.8	4.3	5.7	5.8	5.2	5.3	4.1	2.0
Eventail des applications (protection incendie)	2.8	2.8	6.0	6.0	6.0	6.0	1.0	2.0	2.0	6.0
Sécurité de mise en œuvre	3.8	3.7	2.9	2.8	3.2	3.1	5.1	5.1	5.1	2.5
Absence de matières potentiellement nocives	5.3	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Facilité de recyclage ou d'élimination	4.3	4.3	6	6	6	6	2.7	2.7	3.5	2.7

### Conditions aux limites et grandeurs de référence

Désignation	EPS 15 graphité 21 cm, avec chevilles	EPS 25 graphité 19 cm, avec chevilles	Laine de roche 23 cm, avec chevilles	Laine de roche 26 cm, avec consoles	Laine de verre 21 cm, avec chevilles	Laine de verre 24 cm, avec consoles	Fibres de bois à faible densité 25 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre collées 26 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre 30 cm, avec consoles	Verre cellulaire collé 27 cm, avec chevilles
Masse volumique apparente [kg/m <sup>3</sup> ], sel. indications du fabricant	15	25	60	60	40	40	40	35	35	110
Produits	swisspor-Lambda Vento	swisspor-Lambda Vento Premium	Panneaux isolants Flumroc DUO	Panneaux isolants Flumroc DUO	Panneaux isolants de façade Isover BPF	Panneaux isolants de façade Isover BPF	HOMATHERM holzFlex standard	Isover Florapan	Isover Florapan	Plaques en verre cellulaire T4 WDS
Limites du système: chevilles de fixation pour panneau isolant	Système Rogger avec chevilles de fixation	Système Rogger avec chevilles de fixation	Système Rogger avec chevilles de fixation	Système Wagner UKS avec chevilles de fixation	Système Rogger avec chevilles de fixation	Système Wagner WSK, avec chevilles de fixation	Système Rogger, pose en 2 couches, la 1re étant collée, avec chevilles de fixation	Système Rogger, pose en 2 couches, la 1re étant collée, avec chevilles de fixation	Système Rogger, pose en 2 couches, avec chevilles de fixation	Système Rogger, pose en 2 couches, la 1re étant collée, avec chevilles de fixation
λ [W/m·K], sel. cahier technique SIA 2001	0.031	0.029	0.034	0.034	0.032	0.032				0.040
λ [W/m·K], sel. indications du fabricant	0.031	0.031	0.034	0.034	0.032	0.032	0.038	0.040	0.040	0.040
Epaisseur de l'isolant [m]	0.207	0.191	0.227	0.255	0.214	0.240	0.251	0.264	0.300	0.264

# Annexe B: Données sur les isolations de façades ventilées

Façade ventilée dont l'isolant est fixé sur un mur en briques de terre cuite, y c. fixation et 25 kg/m<sup>2</sup> de revêtement de façade coefficient U: 0.15 W/(m<sup>2</sup>.K) sans coupe-vent construction dans son ensemble

## Conditions aux limites et grandeurs de référence

Désignation	EPS 15 graphité 21 cm, avec chevilles	EPS 25 graphité 19 cm, avec chevilles	Laine de roche 23 cm, avec chevilles	Laine de roche 26 cm, avec consoles	Laine de verre 21 cm, avec chevilles	Laine de verre 24 cm, avec consoles	Fibres de bois à faible densité 25 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre collées 26 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre 30 cm, avec consoles	Verre cellulaire collé 27 cm, avec chevilles
Nombre de couches	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Poids spécifique de l'isolant [kg/m <sup>2</sup> ]	<b>3.11</b>	<b>4.78</b>	<b>13.62</b>	<b>15.30</b>	<b>8.56</b>	<b>9.60</b>	<b>10.04</b>	<b>9.24</b>	<b>10.50</b>	<b>29.04</b>
Chevilles du système RDS de Rogger (3.5 Stk. pro m <sup>2</sup> ) [kg/m <sup>2</sup> ]	0.420	0.420	0.455	0.000	0.420	0.000	0.490	0.490	0.000	0.490
Lattage d'isolation [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Colle-ciment [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.000	6.000	0.000	7.500
Consoles WSK, profilés en acier avec revêtement en alu./zinc [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.000	0.000	0.000	0.000
Consoles UKS, alu. brut [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	0.000	0.290	0.000	0.000	0.000	0.000	0.290	0.000
Profilé en L, avec revêtement en alu./zinc [kg/m <sup>2</sup> ]	0.540	0.540	0.540	0.000	0.540	1.080	0.540	0.540	0.000	1.080
Profilés en U ou oméga / système d'assemblage de profilés, alu. brut [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	0.000	1.940	0.000	0.000	0.000	0.000	1.940	0.000
Ancrages Hilti, chevilles cadre (HRD) galvanisés à chaud [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000
Ancrages Hilti, tige d'ancrage HAS M, CNS [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	0.000	0.049	0.000	0.030	0.000	0.000	0.049	0.000
Nombres de fixations	3x1	3x1	3x1	3x1	1.5x3	1.5x3	0.5x3	0.5x3	1.5x3	0.000
Chevilles de fixation PA (3 pces / m <sup>2</sup> / couche) [kg/m <sup>2</sup> ]	0.180	0.180	0.180	0.180	0.270	0.270	0.090	0.090	0.270	0.000
Profilé en caoutchouc 2.46 lm/m <sup>2</sup> [kg/m <sup>2</sup> ]	0.400	0.400	0.400	0.000	0.400	0.400	0.400	0.400	0.000	0.400
Lattage en bois pour ventilation de façade 2.46 lm/m <sup>2</sup> [kg/m <sup>2</sup> ]	2.200	2.200	2.200	0.000	2.200	2.200	2.200	2.200	0.000	2.200
<b>Total [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>6.85</b>	<b>8.52</b>	<b>17.40</b>	<b>17.76</b>	<b>12.39</b>	<b>14.02</b>	<b>19.76</b>	<b>18.96</b>	<b>13.05</b>	<b>40.71</b>

# Annexe B:

## Données sur les isolations de façades ventilées

Façade ventilée dont l'isolant est fixé sur un mur en briques de terre cuite, y c. fixation et 25 kg/m<sup>2</sup> de revêtement de façade coefficient 0.15 W/(m<sup>2</sup>·K) sans coupe-vent construction dans son ensemble

Désignation	EPS 15 graphité 21 cm, avec chevilles	EPS 25 graphité 19 cm, avec chevilles	Laine de roche 23 cm, avec chevilles	Laine de roche 26 cm, avec consoles	Laine de verre 21 cm, avec chevilles	Laine de verre 24 cm, avec consoles	Fibres de bois à faible densité 25 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre collées 26 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre 30 cm, avec consoles	Verre cellulaire collé 27 cm, avec chevilles
<b>Bilans de matières et d'énergie</b>										
Matériau isolant [MJ/m <sup>2</sup> ]	296	455	296	332	386	433	209	237	270	993
Sous-construction [MJ/m <sup>2</sup> ]	147	147	150	325	160	173	179	179	339	205
Total énergie grise [MJ/m <sup>2</sup> ]	442	601	446	657	546	606	388	417	609	1'198
Matériau isolant [UCE/m <sup>2</sup> ]	10'267	15'789	28'874	32'436	19'174	21'504	10'033	20'128	22'873	45'651
Fixation [UCE/m <sup>2</sup> ]	12'065	12'065	12'415	24'093	12'699	16'988	14'813	14'813	24'728	19'437
Unité de charge environnementale Total [UCE/m <sup>2</sup> ]	22'331	27'853	41'290	56'529	31'874	38'492	24'845	34'940	47'600	65'087
Isolation CO <sub>2eq</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	12	18	20	22	13	14	9	2	2	46
Sous-construction CO <sub>2eq</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	8	8	8	23	9	10	10	10	23	11
Total CO <sub>2eq</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	19	26	28	45	21	24	19	12	26	57
<b>Coûts d'investissement</b>										
Coûts des matériaux (1000 m <sup>2</sup> ) [Fr./m <sup>2</sup> ]	Fr 66.80	Fr 76.80	Fr 69.85	Fr 92.00	Fr 67.80	Fr 68.00	Fr 80.00	Fr 73.80	Fr 94.00	Fr 231.80
Coûts de mise en œuvre [Fr./m <sup>2</sup> ]	Fr 37.55	Fr 37.55	Fr 38.05	Fr 54.50	Fr 41.55	Fr 39.55	Fr 41.55	Fr 45.05	Fr 59.00	Fr 75.55
Coûts totaux [Fr./m <sup>2</sup> ]	Fr 104.35	Fr 114.35	Fr 107.90	Fr 146.50	Fr 109.35	Fr 107.55	Fr 121.55	Fr 118.85	Fr 153.00	Fr 307.35



# Annexe B: Données sur les isolations de façades ventilées

Façade ventilée dont l'isolant est fixé sur un mur en briques de terre cuite, y c. fixation et 25 kg/m<sup>2</sup> de revêtement de façade coefficient U: 0.15 W/(m<sup>2</sup>.K) sans coupe-vent construction dans son ensemble

Désignation	EPS 15 graphité 21 cm, avec chevilles	EPS 25 graphité 19 cm, avec chevilles	Laine de roche 23 cm, avec chevilles	Laine de roche 26 cm, avec consoles	Laine de verre 21 cm, avec chevilles	Laine de verre 24 cm, avec consoles	Fibres de bois à faible densité 25 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre collées 26 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre 30 cm, avec consoles	Verre cellulaire collé 27 cm, avec chevilles
<b>Eventail des applications</b>										
Indice d'incendie (comportement au feu)	5.10	5.10	6.30	6.30	6.30	6.30	4.30	5.30	5.30	6.30
Nbre d'étages ou niveaux sans mesures spéciales	4	4	>7	>7	>7	>7	4	4	4	>7
Mesures	cloisonnement pare-feu	cloisonnement pare-feu	aucune	aucune	aucune	aucune	crépi minéral	crépi minéral	crépi minéral	aucune
Importance des mesures de protection contre les incendies	moyenne	moyenne	nulle	nulle	nulle	nulle	élevée	élevée	élevée	nulle
Protection contre les incendies (note)	2.8	2.8	6.0	6.0	6.0	6.0	1.0	2.0	2.0	6.0
<b>Sécurité de mise en œuvre</b>										
Risques au niveau de l'hygiène du travail	aucuns	aucuns	présents	présents	présents	présents	aucuns	aucuns	aucuns	aucuns
Poids des panneaux [kg/m <sup>2</sup> ]	3.11	4.78	13.62	15.30	8.56	9.60	10.04	9.24	10.50	29.04
Comportement à la déformation	rigide	rigide	élastique	élastique	élastique	élastique	élastique	élastique	élastique	rigide
Sensibilité aux intempéries	moindre	moindre	+ ou - grande	+ ou - grande	+ ou - grande	+ ou - grande	+ ou - grande	+ ou - grande	+ ou - grande	nulle
Sécurité de mise en œuvre	3.8	3.7	2.9	2.8	3.2	3.1	5.1	5.1	5.1	2.5
<b>Absence de matières potentiellement nocives</b>										
Composants problématiques pour l'environnement	présents	présents	absents	absents	absents	absents	absents	absents	absents	absents
Poids des panneaux [kg/m <sup>2</sup> ]	3.11	4.78	13.62	15.30	8.56	9.60	10.04	9.24	10.50	29.04
Potentiel pondéré par unité de quantité	500	500	0	0	0	0	0	0	0	0
Pondération selon le modèle de facteurs d'influence du règlement TRSG 440	1552.5	2387.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

# Annexe B: Données sur les isolations de façades ventilées

Façade ventilée dont l'isolant est fixé sur un mur en briques de terre cuite, y c. fixation et 25 kg/m<sup>2</sup> de revêtement de façade coefficient U: 0.15 W/(m<sup>2</sup>·K) sans coupe-vent construction dans son ensemble

Désignation	EPS 15 graphité 21 cm, avec chevilles	EPS 25 graphité 19 cm, avec chevilles	Laine de roche 23 cm, avec chevilles	Laine de roche 26 cm, avec consoles	Laine de verre 21 cm, avec chevilles	Laine de verre 24 cm, avec consoles	Fibres de bois à faible densité 25 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre collées 26 cm, avec chevilles	Fibres de chanvre 30 cm, avec consoles	Verre cellulaire collé 27 cm, avec chevilles
<b>Valorisation ou élimination</b>										
Facilité de déconstruction	+ou - grande	+ou - grande	+ou - grande	+ou - grande	+ou - grande	+ou - grande	faible	faible	+ou - grande	faible
Technologie de recyclage en 2008	disponible	disponible	disponible	disponible	disponible	disponible	non disponible	non disponible	non disponible	non disponible
Logistique en Suisse en 2008	disponible	disponible	disponible	disponible	disponible	disponible	non disponible	non disponible	non disponible	non disponible
Neutralité des coûts du recyclage en Suisse en 2008	s'applique	s'applique	s'applique	s'applique	s'applique	s'applique	ne s'applique pas	ne s'applique pas	ne s'applique pas	ne s'applique pas
Degré de «recyclabilité»	4	4	4	4	4	4	0	0	1	0
Obligation d'incinérer	s'applique	s'applique	ne s'applique pas	ne s'applique pas	ne s'applique pas	ne s'applique pas	s'applique	s'applique	s'applique	ne s'applique pas
Résidus issus de l'incinération (exigences SIA 493)	ex. non atteintes	ex. non atteintes					ex. atteintes	ex. atteintes	ex. atteintes	
Obligation de mettre en décharge	ne s'applique pas	ne s'applique pas	s'applique	s'applique	s'applique	s'applique	ne s'applique pas	ne s'applique pas	ne s'applique pas	s'applique
Qualité des matériaux inertes (exigences)			ex. atteintes	ex. atteintes	ex. atteintes	ex. atteintes				ex. atteintes
Élimination non problématique	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2

# Annexe C: Données sur les isolations thermiques extérieures crépies

Isolant fixé sur un mur en briques de terre cuite, y c. fixation, sans crépi: coefficient U 0.15 W/(m<sup>2</sup>·K) y c. mur en béton construction dans son ensemble

Résumé Echelle des graphiques en toile d'araignée	EPS 15 graphité collé 19 cm	EPS 15 standard collé 23 cm	Laine de roche collée 22 cm	Panneaux composites en PF, collés 15 cm
Préservation des ressources	6.0	5.0	3.7	2.8
Minimisation des impacts environnementaux lors de la fabrication	6.0	5.1	1.5	3.6
Protection du climat	6.0	5.0	2.3	3.3
Prix avantageux	4.9	6.0	3.6	2.9
Sécurité de mise en œuvre	4.0	3.9	1.5	3.8
Absence de matières potentiellement nocives	5.4	5.3	6.0	5.7
Facilité de recyclage ou d'élimination	3.5	3.5	5.2	1

## Conditions aux limites et grandeurs de référence

Désignation	EPS 15 graphité collé 19 cm	EPS 15 standard collé 23 cm	Laine de roche collée 22 cm	Panneaux composites en PF, collés 15 cm
Masse volumique apparente [kg/m <sup>3</sup> ], sel. indications du fabricant	15	15	90	37.5
Produits	swissporLambda Progress	swissporEPS Façades/Progress	Panneaux isolants compacts Flumroc	gonon HiCompact
Limites du système de construction	isolation en 1 couche avec coupe de segment, collé	isolation en 1 couche avec coupe de segment, collé	isolation en 1 couche, collée	isolation en 1 couche, collée
λ [W/(m·K)], sel. cahier technique SIA 2001	0.031	0.038	0.036	0.024
λ [W/(m·K)], sel. indications du fabricant	0.031	0.038	0.036	0.024
Epaisseur de l'isolant [m]	0.187	0.229	0.217	0.145
Nombre de couches	1	1	1	1
Poids spécifique de l'isolant [kg/m <sup>2</sup> ]	2.81	3.44	19.53	5.44
Colle minérale [kg/m <sup>2</sup> ]	4.000	4.000	5.500	4.250
Cheilles de fixation PA (3 pces / m <sup>2</sup> / couche) [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	0.120	0.000
<b>Total [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>15.11</b>	<b>15.74</b>	<b>33.45</b>	<b>13.14</b>

# Annexe C: Données sur les isolations thermiques extérieures crépies

Isolant fixé sur un mur en briques de terre cuite, y c. fixation, sans crépi: coefficient U 0.15 W/(m<sup>2</sup>·K) y c. mur en béton construction dans son ensemble

## Conditions aux limites et grandeurs de référence

Désignation	EPS 15 graphité collé 19 cm	EPS 15 standard collé 23 cm	Laine de roche collée 22 cm	Panneaux composites en PF, collés 15 cm
<b>Bilans de matières et d'énergie</b>				
Matériau isolant [MJ/m <sup>2</sup> ]	267	328	424	594
Fixation [MJ/m <sup>2</sup> ]	26	26	53	27
Energie grise totale [MJ/m <sup>2</sup> ]	293	354	477	621
Matériau isolant [UCE/m <sup>2</sup> ]	9'275	11'341	41'404	16'291
Fixation [UCE/m <sup>2</sup> ]	1'787	1'787	3'303	1'899
Unité de charge environnementale Total [UCE/m <sup>2</sup> ]	11'062	13'128	44'707	18'190
Isolation CO <sub>2eq</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	10	13	29	20
Fixation CO <sub>2eq</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	2	2	3	2
Total CO <sub>2eq</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	12	14	32	22
<b>Coûts d'investissement</b>				
Coûts des matériaux (1000 m <sup>2</sup> ) [Fr./m <sup>2</sup> ]	Fr 63.00	Fr 49.00	Fr 88.50	Fr 114.00
Coûts de mise en œuvre [Fr./m <sup>2</sup> ]	Fr 11.50	Fr 11.50	Fr 12.50	Fr 13.25
Coûts totaux [Fr./m <sup>2</sup> ]	Fr 74.50	Fr 60.50	Fr 101.00	Fr 127.25
<b>Sécurité de mise en œuvre</b>				
Risques au niveau de l'hygiène du travail	aucuns	aucuns	présents	aucuns
Poids des panneaux [kg/m <sup>2</sup> ]	2.81	3.44	19.53	5.44
Comportement à la déformation	rigide	rigide	élastique	rigide
Sensibilité aux intempéries	moindre	moindre	+ ou - grande	moindre
Sécurité de mise en œuvre	4.00	3.94	1.50	3.76

# Annexe C: Données sur les isolations thermiques extérieures crépies

Isolant fixé sur un mur en briques de terre cuite, y c. fixation, sans crépi: coefficient U 0.15 W/(m<sup>2</sup>·K) y c. mur en béton construction dans son ensemble

## Conditions aux limites et grandeurs de référence

Désignation	EPS 15 graphité collé 19 cm	EPS 15 standard collé 23 cm	Laine de roche collée 22 cm	Panneaux composites en PF, collés 15 cm
<b>Absence de matières potentiellement nocives</b>				
Composants problématiques pour l'environnement	présents	présents	absents	présents
Poids des panneaux [kg/m <sup>2</sup> ]	2.81	3.44	19.53	5.44
Potentiel pondéré par unité de quantité	500	500	0	145
Pondération selon le modèle de facteurs d'influence du règlement TRSG 440	1403	1718	0	789
<b>Valorisation ou élimination</b>				
Facilité de déconstruction	faible	faible	faible	faible
Technologie de recyclage en 2008	disponible	disponible	disponible	non disponible
Logistique en Suisse en 2008	présents	disponible	disponible	non disponible
Neutralité des coûts du recyclage en Suisse en 2008	s'applique	s'applique	s'applique	ne s'applique pas
Degré de «recyclabilité»	3	3	3	0
Obligation d'incinérer	s'applique	s'applique	ne s'applique pas	s'applique
Résidus issus de l'incinération (exigences SIA 493)	ex. non atteintes	ex. non atteintes	–	ex. non atteintes
Obligation de mettre en décharge	ne s'applique pas	ne s'applique pas	s'applique	ne s'applique pas
Qualité des matériaux inertes (exigences)	–	–	ex. atteintes	–
Élimination non problématique	0	0	2	0

## Annexe D: Données sur les isolations périmétriques

Isolant sur un mur en béton, y c. fixation sans protection mécanique/plaque de drainage:  
coefficient U: 0.20 W/(m<sup>2</sup>·K) y c. mur en béton construction dans son ensemble

Résumé Echelle des graphiques en toile d'araignée	EPS à haute densité 16 cm	XPS 17 cm	Verre cellulaire 19 cm
Préservation des ressources	6.0	5.3	4.0
Minimisation des impacts environnementaux lors de la fabrication	6.0	5.3	2.9
Protection du climat	6.0	5.2	3.2
Prix avantageux	6.0	3.9	2.8
Sécurité de mise en œuvre	5.0	4.9	2.0
Absence de polluants	4.6	1.0	6.0
Facilité de recyclage ou d'élimination	3.5	1.8	3.5

### Conditions aux limites et grandeurs de référence

Désignation	EPS à haute densité 16 cm	XPS 17 cm	Verre cellulaire 19 cm
Masse volumique apparente [kg/m <sup>3</sup> ], sel. indications du fabricant	30	33	110
Produits	swissporEPS Plaques périmétriques	swissporXPS Jackodur KF 300 Standard SF	Plaques en verre cellulaire T4 WDS
Limites du système de construction	isolation en 1 couche, colle bit- umineuse monocomposant (1K)	isolation en 1 couche, colle bit- umineuse monocomposant (1K)	isolation en 1 couche colle bitumineuse à froid PC 56
$\lambda$ [W/(m·K)], sel. cahier technique SIA 2001	0.033	0.035	0.040
$\lambda$ [W/(m·K)], sel. indications du fabricant	0.033	0.035	0.040
Epaisseur de l'isolant [m]	0.156	0.165	0.189

### Conditions aux limites et grandeurs de référence

Désignation	EPS à haute densité 16 cm	XPS 17 cm	Verre cellulaire 19 cm
Nombre de couches	1	1	1
Poids spécifique de l'isolant [kg/m <sup>2</sup> ]	4.68	5.45	20.79
Colle bitumineuse monocomposant (1K) [kg/m <sup>2</sup> ]	3.000	3.000	0.000
Colle bitumineuse bicomposant (2K), Typ PC 56 [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	6.000
Plaque de drainage [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	0.000
Réserve [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	0.000
Réserve [kg/m <sup>2</sup> ]	0.000	0.000	0.290
<b>Total [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>7.68</b>	<b>8.45</b>	<b>27.08</b>

### Bilans de matières et d'énergie

Matériau isolant [MJ/m <sup>2</sup> ]	447	527	711
Fixation [MJ/m <sup>2</sup> ]	111	111	129
Energie grise totale [MJ/m <sup>2</sup> ]	558	637	840
Matériau isolant [UCE/m <sup>2</sup> ]	15'451	17'838	32'682
Fixation [UCE/m <sup>2</sup> ]	1'799	1'799	2'880
Unité de charge environnementale Total [UBP/m <sup>2</sup> ]	17'250	19'637	35'562
Isolation CO <sub>2eq</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	17	21	33
Fixation CO <sub>2eq</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	2	2	3
CO <sub>2aeq</sub> Total [kg/m <sup>2</sup> ]	19	22	36

## Annexe D: Données sur les isolations périmétriques

Isolant sur un mur en béton, y c. fixation sans protection mécanique/plaque de drainage:  
coefficient U: 0.20 W/(m<sup>2</sup>·K) y c. mur en béton construction dans son ensemble

### Conditions aux limites et grandeurs de référence

Désignation	EPS à haute densité 16 cm	XPS 17 cm	Verre cellulaire 19 cm
-------------	---------------------------	-----------	------------------------

#### Coûts d'investissement

Coûts des matériaux (1000 m <sup>2</sup> ) [Fr./m <sup>2</sup> ]	Fr 51.90	Fr 83.10	Fr 113.40
Coûts de mise en œuvre [Fr./m <sup>2</sup> ]	Fr 7.40	Fr 8.10	Fr 12.80
Coûts totaux [Fr./m <sup>2</sup> ]	Fr 59.30	Fr 91.20	Fr 126.20

#### Sécurité de mise en œuvre

Risques au niveau de l'hygiène du travail	aucuns	aucuns	aucuns
Poids des panneaux [kg/m <sup>2</sup> ]	4.68	5.45	20.79
Comportement à la déformation	rigide	rigide	rigide
Sensibilité aux intempéries	moindre	moindre	nulle
Sécurité de mise en œuvre	5.00	4.86	2.00

#### Absence de matières potentiellement nocives

Composants problématiques pour l'environnement	présents	présents	absents
Poids des panneaux [kg/m <sup>2</sup> ]	4.680	5.445	20.790
Potentiel pondéré par unité de quantité	500	1500	0
Pondération selon le modèle de facteurs d'influence du règlement TRSG 440	2340.0	8167.5	0.0

### Conditions aux limites et grandeurs de référence

Désignation	EPS à haute densité 16 cm	XPS 17 cm	Verre cellulaire 19 cm
-------------	---------------------------	-----------	------------------------

#### Valorisation ou élimination

Facilité de déconstruction	faible	faible	faible
Technologie de recyclage en 2008	disponible	disponible	disponible
Logistique en Suisse en 2008	disponible	non disponible	non disponible
Neutralité des coûts du recyclage en Suisse en 2008	s'applique	ne s'applique pas	ne s'applique pas
Degré de «recyclabilité»	3	1	1
Obligation d'incinérer	s'applique	s'applique	ne s'applique pas
Résidus issus de l'incinération (exigences SIA 493)	ex. non atteintes	ex. non atteintes	–
Obligation de mettre en décharge	ne s'applique pas	ne s'applique pas	s'applique
Qualité des matériaux inertes (exigences)	–	–	ex. atteintes
Élimination non problématique	0	0	2

Le rapport circonstancié sur l'évaluation des isolants selon la méthode «Spider», contenant les informations détaillées sur la méthodologie ainsi que toutes les données sur les matériaux, peut être téléchargé sur le site swisspor à l'adresse: [www.isolation-spider.ch](http://www.isolation-spider.ch)

Le rapport circonstancié sur l'évaluation des isolants selon la méthode «Spider», contenant les informations détaillées sur la méthodologie ainsi que toutes les données sur les matériaux, peut être téléchargé sur le site swisspor à l'adresse: [www.isolation-spider.ch](http://www.isolation-spider.ch)

*Seule la version allemande fait foi*

Sur mandat de swisspor AG, 6312 Steinhausen, étude et rapport réalisé par Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, 8006 Zürich

 büro für  
umweltchemie

 swisspor