

## Master 2 Recherche ECD

### Module « Eco-conception et Construction Durable »

K. ABAHRI- A. BOURDOT - A. FERAILLE - M. GUEGUEN - B. MOREL - A.D. TRAN LE

#### EXAMEN

Mercredi 16/12/2020

Une feuille manuscrite A4 recto-verso, calculatrice interdite - durée 3h

**Il est conseillé de traiter chacun des exercices (indépendants)**

**Chacun des exercices sera rédigé sur une copie séparée**

**Donner des réponses concises en les justifiant.**

<b>1</b>	<b><u>EXERCICE 1 (ADELAIDE FERAILLE)</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b>2</b>	<b><u>EXERCICE 2 (ANH DUNG TRAN LE)</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b>3</b>	<b><u>EXERCICE 3 (BENOIT MOREL)</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b>4</b>	<b><u>EXERCICE 4 (KAMILIA ABAHRI)</u></b>	<b><u>6</u></b>
	<b><u>ANNEXES</u></b>	<b><u>9</u></b>

## 1 Exercice 1 (Adelaide FERAILLE)

- 1.1. Rappeler les 4 étapes de l'Analyse de Cycle de Vie selon la norme ISO 14040
- 1.2. Rappeler les principes de base de l'approche ACV. Que permettent-ils d'éviter ?
- 1.3. Donner un exemple d'indicateur d'impact et son unité?
- 1.4. Imaginons que l'on réalise une ACV destinée à comparer l'utilisation de sacs en plastique avec celle de sacs en papier. Le sac doit être réutilisé comme sac poubelle or le sac en papier ne peut pas être réutilisé.

Capacité des sacs plastiques : 9l

Capacité des sacs en papier : 13,5l

- 1.4.1. Quelle est l'unité fonctionnelle et le flux de référence associé dans cet exemple ?
- 1.4.2. Dans quels cas doit-on utiliser les allocations ?

## 2 Exercice 2 (Anh Dung TRAN LE)

Dans le cadre d'un projet de recherche réalisé dans le laboratoire LTI de l'Université de Picardie Jules Vernes (FR), le comportement hygrothermique d'une paroi à l'échelle 1 constituée par différents matériaux (voir la Figure 1 ci-dessus pour le schéma et les matériaux utilisés) a été étudié. La paroi est instrumentée par les capteurs hygrothermiques (température (T) et humidité relative RH) dont les positions des capteurs sont notées de 1 à 8. Les valeurs de mesure sont données dans Tableau 1 (T en °C, RH (-) et la pression de vapeur d'eau  $P_v$  en Pa).

- 2.1. Que signifie une paroi testée à l'échelle 1 ? Quels sont les isolants utilisés ? Quelle est la résistance thermique de l'isolant sachant que sa conductivité thermique est de  $0.038 \text{ W/(m.K)}$ ?
- 2.2. Commenter le profil de température de la paroi ? Expliquer la chute de la température dans la paroi ?
- 2.3. Commenter et expliquer le profil de la pression de vapeur d'eau de la paroi ? Expliquer le rôle de pare-vapeur ?
- 2.4. Commenter et expliquer le profil de l'humidité relative de la paroi ?

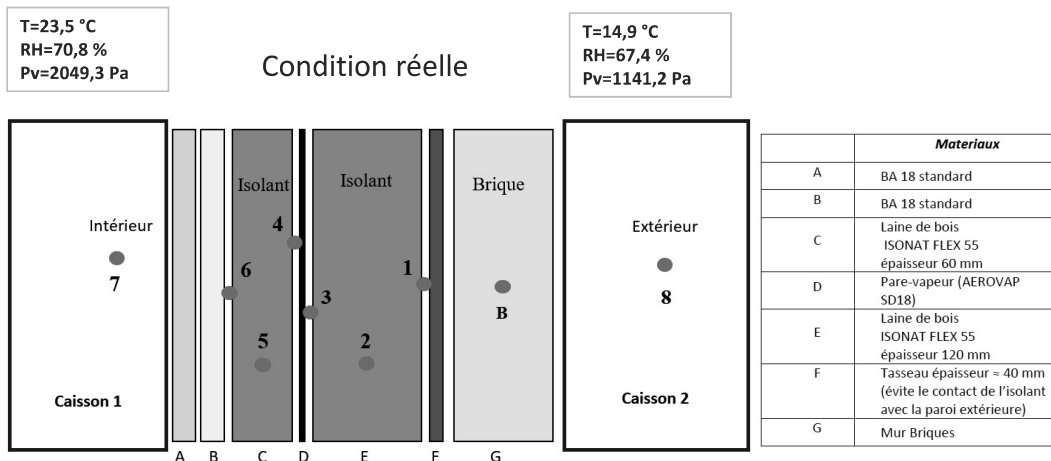


Figure 1: Paroi étudiée et ses compositions

$T_{int} (T7)$	$T6$	$T5$	$T4$	$T3$	$T2$	$T1$	$T_{B2}$	$T_{ext} (T8)$
23,5	21,4	20,8	20,0	19,4	17,7	14,1	13,1	14,9

$RH_{int} (RH7)$	$RH6$	$RH5$	$RH4$	$RH3$	$RH2$	$RH1$	$RH_B$	$RH_{ext} (RH8)$
0,71	0,66	0,67	0,70	0,48	0,53	0,68	0,77	0,67

$Pv_{int} (Pv7)$	$Pv6$	$Pv5$	$Pv4$	$Pv3$	$Pv2$	$Pv1$	$Pv_B$	$Pv_{ext} (Pv 8)$
2049	1680	1648	1651	1081	1068	1106	1164	1141

Tableau 1: Les valeurs mesurées

### 3 Exercice 3 (Benoît MOREL)

#### 3.1 Produits pour l'isolation

La situation considérée est la rénovation complète d'une maison individuelle imposant de totalement renouveler son isolation. Le mode d'isolation retenu pour celle-ci est l'ITI.

##### 3.1.1 Définitions

- Question 3.1.1-A : Que signifient ITI, ITE, ITR?
- Question 3.1.1-B : Citer un avantage de l'ITE par rapport à l'ITI concernant la régulation de température d'une habitation.

##### 3.1.2 Calcul de performance

- Question 3.1.2 : Sur la base d'un  $R = 5\text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  et une surface de mur extérieure de  $100\text{ m}^2$ , calculer l'énergie perdue (en kWh) par cette surface durant une année (assimilée à 200 jours de chauffage avec un gradient moyen de température de  $10\text{ °C}$ ).

### 3.1.3 Sélection du matériau d'isolation pour une isolation en comble perdu

Vous avez à installer une isolation thermique dans les combles perdus afin d'atteindre un R d'au moins  $10\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$  pour satisfaire au critère BEPOS. La hauteur disponible est de 40 cm en moyenne et l'isolation pré-existante n'est pas réutilisable. Pour effectuer cette rénovation vous avez accès à trois laines de verre dont les fiches techniques sont à votre disposition en Annexes et dont les infos coûts matière et dimensions sont dans le tableau 2 :

Référence commerciale	Fabriqueur	Coût
GR32	SAINT GOBAIN ISOVER	Rouleau de 270*120 cm en épaisseur 120mm : 36,00€/rouleau
Comblissimo	SAINT GOBAIN ISOVER	Laine de verre en flocons (en vrac) 66,04€/sac de 17,3 kg
MRK 40	URSA	Rouleau de 850*120 cm en épaisseur de 200 mm 38,03€/rouleau

Tableau 2 : Informations coûts matière et dimensions des matériaux isolants

- Question 3.1.3-A : A l'aide des fiches techniques de chaque produit (en annexes), déduire ou calculer leur épaisseur minimale requise pour obtenir une résistance thermique murale  $R \geq 3 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$
- Question 3.1.3-B : Calculez le coût au  $\text{m}^2$  isolé pour chaque laine de verre
- Question 3.1.3-C : Quelle laine de verre sélectionnez-vous et pourquoi ?

### 3.1.4 Dimensionnement de l'isolation murale

Vous devez maintenant isoler les murs. La solution retenue est l'ITI et vous avez le choix entre les laines de verre GR32 et MRK40 d'une part, et à toutes leurs épaisseurs présentées dans leurs fiches techniques.

- Question 3.1.4-A : En vous basant sur les fiches techniques en annexes, déduire ou calculer leur épaisseur minimale requise pour obtenir une résistance thermique murale  $R \geq 5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ .
- Question 3.1.4-B : Considérant une longueur totale de mur extérieur de 100 m et d'une hauteur de 2,50 m, le coût total de chaque matière en supposant que leur prix unitaire d'une épaisseur à une autre est uniquement indexé sur leur conductivité thermique par chaque produit et calculer la surface au sol occupée
- Question 3.1.4-C : Quel raisonnement appliquez-vous pour choisir l'une de ces deux laines de verre pour l'isolation murale en indiquant les paramètres non précisés dans l'énoncé qu'il vous faut avoir pour vous finaliser votre choix ?

## 3.2 Questions 2- Panneaux Isolant sous Vide

On considère deux PIV décrits dans le tableau 3 dont le comportement de Knudsen du gaz est rappelé par l'équation (1) donnant la conduction gazeuse et par la figure 2.

$$\lambda_{cg} = \frac{\lambda_{cg0}}{1 + C \frac{T}{\phi.P}} \quad (1)$$

avec  $\lambda_{cg0} = 25 \text{ mW}/(\text{m.K})$  et  $C = 5.0 \cdot 10^{-5} \text{ m.Pa}/\text{K}$

	Référence SP	Référence FV
à base de :	Silice pyrogénée	Fibre de verre
A l'état neuf (pression interne initiale $P_{int} = 1 \text{ mbar}$ ), la conductivité $\lambda_i =$	4.5 mW/(m.K)	3.0 mW/(m.K)
Diamètre de pores représentatif	250 nm	10 $\mu\text{m}$

Tableau 3: Caractéristiques des deux PIV considérés

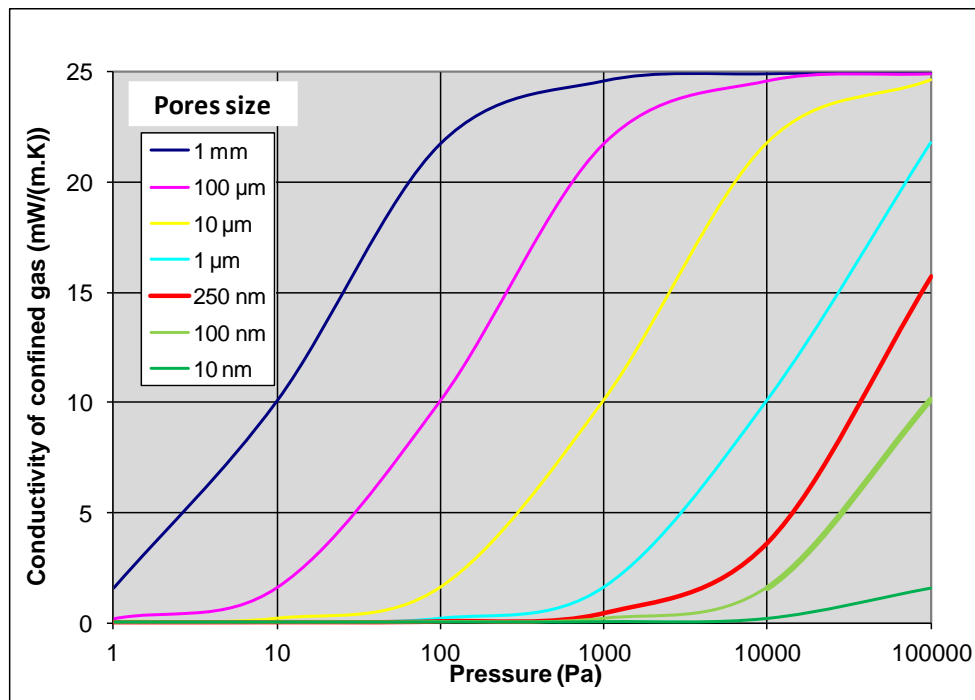


Figure 2: Evolution de la conductivité en fonction de la pression d'un gaz pour différentes tailles de pore.

### 3.2.1 Pression en fin de vie

On définit la fin de vie des PIV comme l'état pour lequel sa conductivité atteint 10 mW/(m.K) du fait de l'augmentation de la pression interne principalement à cause de la perméance de l'air au travers de l'enveloppe barrière.

- Question 3.2.1 : Déterminer pour chacun des PIV la pression correspondant à cette fin de vie. Pour cela, nous feront l'hypothèse que la contribution gazeuse au transfert thermique n'est pas couplée à celle du solide.

### 3.2.2 Durabilité

- Question 3.2.2 : Commenter le comportement de ces deux PIV vis-à-vis de leur durabilité dans des conditions d'emploi identiques. Quelles conséquences peut-on en tirer concernant les enveloppes barrières ?

## 4 Exercice 4 (Kamila ABAHRI)

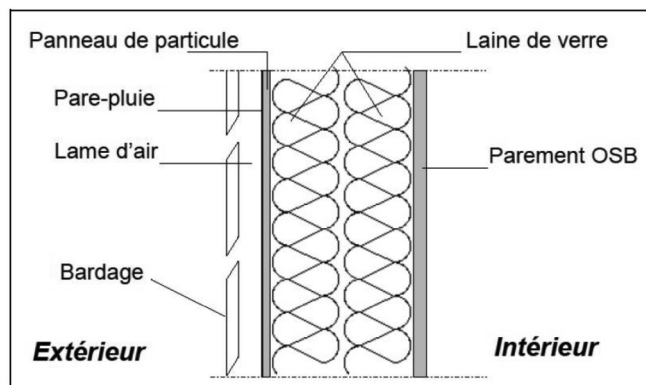
Pour accompagner l'essor des maisons à Haute Qualité Environnemental, le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), a mis en place une expérimentation « *maison à ossature bois* » menée à l'échelle du bâtiment en climat réel. L'objectif à terme de cette expérimentation est la réduction de la consommation énergétique, la préservation du bâti initial (choix de matériaux et techniques compatibles), et aussi l'amélioration du confort et des conséquences de l'humidité sur la santé des usagers.

Dans ce qui suit, on s'intéresse à l'analyse du *choix des matériaux* de construction constituant la « maison à ossature bois ».

Cette maison se compose d'une pièce principale (surface : 20,7 m<sup>2</sup> ; volume 50,7 m<sup>3</sup>). L'ensemble de l'ossature de la cellule est réalisé en « *bois épicea* ».

La partie courante de la paroi verticale est présentée dans le schéma de la **Figure 3** et comporte les éléments suivants (de l'intérieur vers l'extérieur) :

- Parements intérieurs non jointés en « *OSB* » (Oriented Strand Board - panneau à copeaux orientés) d'épaisseur 0,015 m ;
- « *Laine de verre* » (2 panneaux de 0,08 m) ;
- Panneaux de particules (0,01 m) jointés avec du mastic ;
- Film pare-pluie multicouche en polypropylène étanche à l'air et à l'eau liquide et perméable à la vapeur d'eau ;
- Lamme d'air (0,027 m) ;
- Bardage en « *bois mélèze* » (0,02 m)



**Figure 3** : Schéma en coupe de la paroi verticale

4.1. Tout d'abord, citer en quelques mots les enjeux (3 maximum) qui expliquent comment la « *maison à ossature bois* » peut répondre aux exigences d'une Eco-Conception ?

Les propriétés thermiques, à l'état sec, des matériaux utilisés sont indiqués dans le **Tableau 1**. Les résultats des mesures de ces propriétés thermiques ont montré que pour le cas de la ouate de cellulose des variations plus importantes ont été observées, en particulier sur la *masse volumique* (écart relatifs de plus de 20%).

- 4.2. Expliquer en une quelques mots pourquoi la ouate de cellulose a présenté des propriétés thermiques variables ?
- 4.3. Qu'est ce qui va se passer si les propriétés thermiques (Tableau 4) ont été mesurés à 70% d'humidité relative ?

Tableau 4 : Propriétés thermiques moyennes des matériaux secs à 23 °C

Matériaux	$\rho_{\text{Sec}}$ (kg.m <sup>-3</sup> )	$\lambda_{\text{Sec}}$ (mW.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	$C_{p,\text{Sec}}$ (J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
Epicéa	366,9	90,1	1300
Panneau de particules	700,2	106,7	1270
OSB	601,6	97,9	1450
Plaque de plâtre	712,5	190	1010
Laine de verre	19,4	32,0	760
Fibres de bois	133,7	37,2	1200
Ouate de cellulose <sup>(1)</sup>	50,0	42,0	1100

- 4.4. Définissez tous les matériaux biosourcés constituant cette maison ossature (selon tableau 4). Indiquez s'ils sont *totalem*ent ou *partiellem*ent biosourcés.
- 4.5. Citer 3 paramètres importants qui permettent de faire un meilleur choix d'un isolant thermique pour le bâtiment.
- 4.6. Commentez le choix des isolants thermiques dans cette maison.
- 4.7. Si on remplace la laine de verre par l'isolant de fibre de bois, est ce qu'on aura les mêmes fonctions thermiques et hydriques ? Argumentez votre réponse.
- 4.8. Qu'elle est la fonction principale assurée par l'OSB dans cette étude ? Argumentez votre réponse.

L'isolation de la toiture de cette maison ossature incorpore 8 Kg/m<sup>2</sup> SP de l'isolant de fibre de bois.

- 4.9. Argumentez si cette maison répond ou non au label bâtiment biosourcés ? si c'est le cas indiquez le niveau du label ?

Afin d'analyser le comportement hydrique des matériaux incorporés dans la « maison ossature bois », des mesures expérimentales des isothermes de sorption de ces matériaux ont été effectuées. Après séchage des matériaux, leurs courbes de sorption ont été mesurées en plaçant les échantillons dans des étuves pour différentes consignes d'humidité relative (30, 50, 65, 80 et 94 %) en maintenant la température à 23 °C. Les comparaisons des courbes de sorption pour les différents matériaux étudiés sont indiquées dans la **Figure 4**.

- 4.10. Interprétez ces figures.
- 4.11. En s'appuyant sur ces interprétations donner votre avis et argumenter le bon choix de l'isolant qui pourra servir comme référence pour la maison ossature.

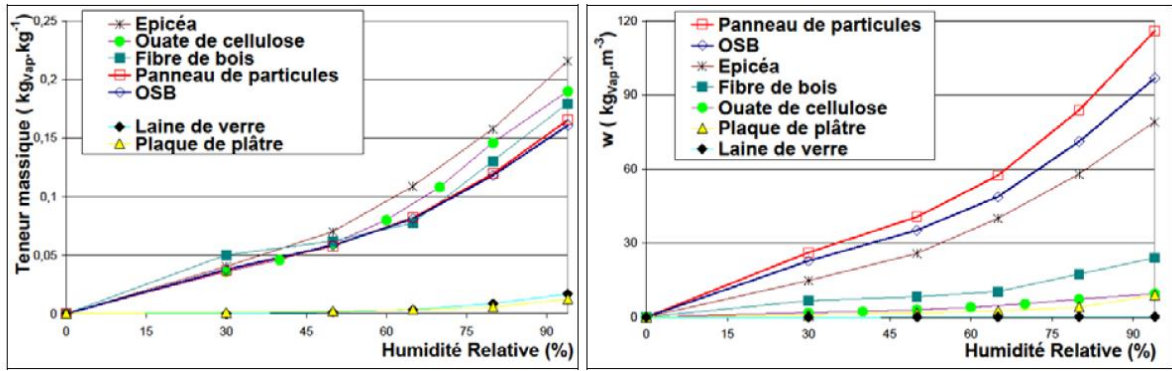


Figure 4 : Comparaison de courbes de sorption (teneur massique à gauche, taux d'humidité à droite) pour les différents matériaux utilisés dans la cellule



# Annexes

## Comblissimo, la laine à souffler plus écologique

### PERFORMANCES THERMIQUES

Haute performance thermique  
Maison BBC-Effinergie

Valeur minimale pour  
bénéficier du crédit d'impôt

Résistance thermique (m <sup>2</sup> .K/W)	Épaisseur minimale (mm)	Pouvoir couvrant (kg/m <sup>2</sup> )	Nombre minimal de sacs pour 100 m <sup>2</sup>
10	460	5,35	31
9,5	435	5,1	30
9	415	4,8	28
8,5	390	4,55	27
8	370	4,3	25
7,5	345	4	24
7	320	3,75	22
6,5	300	3,5	21
6	275	3,2	19
5,5	255	2,95	17
5	230	2,7	16
4,5	205	2,4	14
4	185	2,15	13

### RÉFÉRENCES ET CONDITIONNEMENT

#### • Comblissimo

Référence Isover	Kg/sac	Sacs par palette
84679	17,3	36

Les sacs de Comblissimo sont livrés sur palette bois. Les sacs et les palettes doivent être stockés à l'abri des intempéries.

### COMPOSANTS DU SYSTÈME D'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

#### • Membrane Stopvap

Référence Isover	Longueur	Largeur	Conditionnement
84911	40 m	1,5 m	1 rouleau 60 ml

#### • Suspente Intégra 2

Référence Isover	Produit	Conditionnement
85601	Suspente Intégra 2 12-16	50 pièces / colis

#### • Adhésif Vario KB1

Référence Isover	Longueur	Largeur	Conditionnement
73432	40 m	0,06 m	8 rouleaux / carton

#### • Mastic Vario DS

Référence Isover	Capacité	Conditionnement
72430	310 ml	12 cartouches / carton

#### • Machine Ma Comblissimo : pour souffler la laine Comblissimo

Référence Isover	Débit	Dimensions	Poids	Conditionnement
81901	1 200 m <sup>3</sup> /h	60 x 65 x 85 cm	42 kg	1 pièce



**Saint-Gobain Isover**  
1, rue Gardénat Lapostol  
92282 Suresnes cedex  
France  
Tél : +33 (0)1 40 99 24 00  
Fax : +33 (0)1 41 44 81 40

[www.isover.fr](http://www.isover.fr)  
[www.toutsurlisolation.com](http://www.toutsurlisolation.com)  
[www.isolationthermique.fr](http://www.isolationthermique.fr)

Ce document est fourni à titre indicatif; notre société se réservant le droit de modifier les informations contenues dans celui-ci à tout moment. Saint-Gobain Isover décline toute responsabilité en cas d'utilisation ou de mise en œuvre des matériaux non conforme aux règles prescrites dans la présente documentation, les documents techniques (DTU, Avis Techniques, ...) et les règles de l'art applicables.

ASSISTANCE TECHNIQUE  
N° 1 828 00 04 02  
S.A.R.L. - 750 7 00

SAINT-GOBAIN ISOVER est la société au capital de 45 710 000 € - 312 379 076 RCS NANTERRE - Conception : TINGUI 39 59 64 39 - Imprimé en France sur papier issu de forêts gérées durablement PEFC et FSC 100% - FR COMB181810102 12





## Gamme GR 32 Roulé

Panneaux roulés de laine de verre semi-rigides pour l'isolation des murs

### DESCRIPTION DU PRODUIT


**GR 32 Roulé Revêtu Kraft :** panneaux semi-rigides en laine de verre à dérouler de forte résistance thermique. Il est revêtu d'un surfaçage en kraft quadrillé sur une face.

**GR 32 Roulé revêtu Kraft Alu :** référence revêtue d'un surfaçage aluminium.

### APPLICATIONS

#### en murs :

GR 32 Roulé peut être utilisé pour l'isolation sous ossature métallique des murs réguliers et irréguliers, conformément au DTU 25.41.

Dans ce cas, GR 32 Roulé est un composant du système d'isolation Optima Murs. 

GR 32 peut aussi être mis en œuvre derrière une contre cloison maçonnée traditionnelle.

### AVANTAGES

#### conception :

Permet de réaliser des bâtiments basse consommation. Surface habitable préservée grâce à un excellent rapport épaisseur/performance.



### mise en œuvre :

- Panneaux à dérouler autoportants faciles à manipuler.
- Panneaux de hauteur d'étage, pour une pose rapide et une limitation des joints.
- Panneaux quadrillés pour une découpe précise.

### logistique :

- Plus de surface sur une palette grâce à des rouleaux fortement compressés.
- Chantiers propres et chutes limitées grâce à des dimensions de panneaux adaptées.

### CARACTÉRISTIQUES

- Déclaration de conformité 
- Certification de la performance thermique Acermi : 02/018/100 
- Avis Technique : 9/05-806 (en cours de renouvellement)

	Code	Niveau	Unité
Conductivité thermique	$\lambda_D$	0,032	W(m.K)
Tolérance d'épaisseur	d	T3	-
Réaction au feu	Euroclasse	F	-
Absorption d'eau à court terme	WS	<1	kg/m <sup>2</sup> en 24 h

### RÉFÉRENCES ET CONDITIONNEMENT

Réf.	Revêtement	RD	Ep.	Long.	Larg.	Conditionnement		
		m <sup>2</sup> .K/W	mm	m	m	m <sup>2</sup> /colis	colis/pal.	m <sup>2</sup> /pal.
83118	kraft	5,00	160	2,70	1,20	3,24	12	38,88
83131	kraft	4,35	140	2,70	1,20	3,24	18	58,32
83311	kraft	3,75	120	2,70	1,20	3,24	30	97,20
83304	kraft	3,15	100	2,70	1,20	3,24	30	97,20
73512	kraft	3,15	100	5,40	1,20	6,48	12	77,76
94047	kraft	2,65	85	5,40	1,20	6,48	12	77,76
73513	kraft	2,35	75	5,40	1,20	9,72	12	116,64
94035	kraft	1,85	60	5,40	1,20	9,72	12	116,64
73514	kraft alu	3,15	100	5,40	1,20	6,48	12	77,76



**ISOVER**  
L'isolation responsable

URSA TERRA

 **MRK 40**

Matelas de laine de verre à dérouler revêtu sur une face d'un papier kraft quadrillé



### Valeurs R & conditionnements

Valeur R m <sup>2</sup> K/W	Épaisseur mm	Longueur mm	Largueur mm	Rouleaux/ colis	m <sup>2</sup> / colis	Colis/ palette	m <sup>2</sup> / palette	Dispo	Code SAP	Code EAN (colis)
1,50	60	12 500	1 200	1	15,00	24	360,00	D	20 62 020	5412424756404
2,00	80	11 000	1 200	1	13,20	24	316,80	D	20 62 021	5412424756510
2,50	100	8 000	600	2	9,60	24	230,40	D	20 62 023	5412424083425
2,50	100	8 500	1 200	1	10,20	24	244,80	S	20 62 022	5412424756534
3,00	120	6 500	1 200	1	7,80	24	187,20	S	20 62 024	5412424756626
3,50	140	5 500	1 200	1	6,60	24	158,40	D	20 62 025	5412424756565
4,00	160	5 500	1 200	1	6,60	24	158,40	S	21 39 094	4017916471585
4,50	180	4 500	1 200	1	5,40	24	129,60	D	20 62 028	5412424707260
5,00	200	4 050	600	2	4,86	24	116,64	D	21 39 104	4017916471769
5,00	200	4 500	1 200	1	5,40	24	129,60	S	20 62 029	5412424756619
5,50	220	3 500	1 200	1	4,20	24	100,80	D	20 62 030	5412424118714
6,00	240	3 750	1 200	1	4,50	24	108,00	S	21 39 095	4017916471608
6,50	260	3 500	1 200	1	4,20	24	100,80	S	21 39 093	4017916471561
7,00	280	2 800	1 200	1	3,36	18	60,48	S	21 36 911	4017916455288
7,50	300	2 600	1 200	1	3,12	18	56,16	S	21 36 016	4017916450344

S : Stock - Produit toujours en stock / D : Délai - Sans minimum de commande, délai nous consulter / NS : Non Stock - Avec minimum de commande, délai nous consulter

### Caractéristiques techniques

Caractéristiques obligatoires		
Conductivité thermique ( $\lambda_b$ )	W/(m.K)	<b>0,040</b>
Classement feu (EUROCLASSE)		<b>F</b>
Tolérance d'épaisseur		<b>T1</b>
Caractéristiques spécifiques		
Résistance à la vapeur d'eau (Z)	m <sup>2</sup> .h.Pa/mg	<b>1</b>

CE : Produit certifié conforme à la norme européenne NF EN 13162  
**Code de désignation** : MW-EN 13162-T1-21  
**DoP** : <http://dop.ursa-insulation.com>  
 N° 33UGW40KP16111  
**ACERMI** : Certificat n° 02/083/012  
**Classement sanitaire** : A+



### Avantages

- Large choix d'épaisseurs pour répondre à toutes les exigences
- Assurance d'une isolation thermique parfaite garantie par l'homogénéité du matelas

### Conseil URSA

- Associez notre système URSA SECO à MRK 40 pour une parfaite étanchéité à l'air

### Applications

- Combles perdus
- Plafonds

