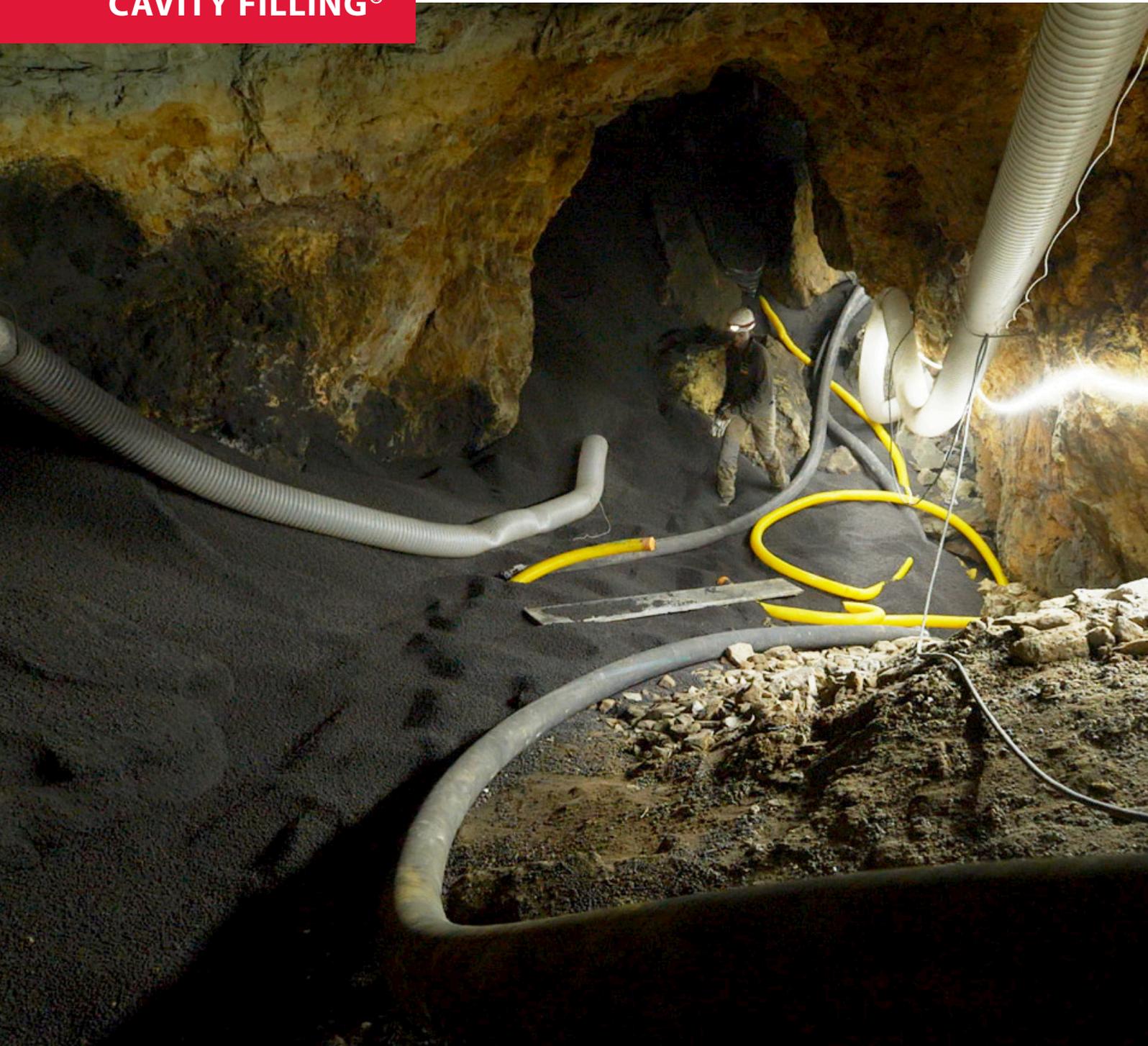


URETEK[®]

REDRESSEMENT FONDAMENTAL

CAVITY FILLING[®]



WWW.URETEK.NL - WWW.URETEK.BE



TABLE DES MATIÈRES

1	OBJET ET DESCRIPTION DU PROCÉDÉ	4
1.1	INTRODUCTION	4
1.1.1	OBJET	4
1.1.2	PRINCIPES FONDAMENTAUX	4
1.1.3	AVANTAGES DU PROCÉDÉ URETEK CAVITY FILLING®	6
1.2	DOMAINES D'APPLICATION	6
1.2.1	COMPLEMENT DE CAVITÉ	7
1.2.2	ISOLATION THERMIQUE SOUS DES PLANCHERS EN PORTE-À-FAUX	8
1.2.3	LIMITES DE COUVERTURE DU PROCÉDÉ	8
1.3	PRINCIPE ET APPLICABILITÉ D'URETEK CAVITY FILLING®	9
1.3.1	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	9
1.3.2	CRITÈRES DE FAISABILITÉ	10
1.3.3	ZONE DE TRAITEMENT	11
1.4	MATÉRIAUX	11
1.4.1	BILLES D'ARGILE EXPANSÉE	11
1.4.2	RÉSINE URETEK RESIN	13
1.4.2.2	Caractéristiques techniques	14
1.4.2.3	Produit fini injecté	16
1.4.3	ASSURANCE QUALITÉ	17
1.5	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE CAVITY FILLING®	17
2	MISE EN ŒUVRE	18
2.1	ÉLÉMENTS DE CONCEPTION	18
2.1.1	VISITE PRÉALABLE / RELEVÉS PRÉPARATOIRES	18
2.1.2	PLAN D'INTERVENTION	18
2.2	EXÉCUTION DES TRAVAUX	19
2.2.1	PERSONNEL ET MATÉRIEL	19
2.2.2	MISE EN ŒUVRE	20
2.2.2.1	Cavités accessibles	20
2.2.2.2	Cavités inaccessibles	22
2.2.3	SURVEILLANCE DES TRAVAUX ET CONTRÔLE	23
2.2.4	CONTRÔLES COMPLÉMENTAIRES ET ESSAIS	24
	ANNEXES	25

OBJET ET DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

1.1 INTRODUCTION

1.1.1 OBJET

Le procédé URETEK Cavity Filling® a pour objet :

- le remplissage de cavités souterraines, qu'elles soient naturelles, artificielles ou accidentelles, et notamment lorsque celles-ci présentent une instabilité, un risque d'effondrement ou un risque d'entraîner un affaissement en surface.
- le remplissage, voire l'isolation thermique, de vides sanitaires.

Pour la lecture de ce document, on comprendra sous le vocable « cavité » l'ensemble des espaces vides dans le sol tels que les cavités souterraines naturelles, les vides de dissolution, les carrières / mines / marnières souterraines, les galeries artificielles, les aqueducs, les tunnels, les cuves enterrées, les vides sanitaires, les caves, etc., le remplissage, voire l'isolation thermique, de vides sanitaires.

1.1.2 PRINCIPES FONDAMENTAUX Remplissage d'une cavité

Le procédé URETEK Cavity Filling® vise à combler les cavités et à restaurer la continuité structurelle de celles-ci, et se pose en solution pérenne sur le long terme. Le procédé comprend, en séquence :

- **une opération de remplissage** (comblement) par introduction, par soufflage ou de manière gravitaire, d'un matériau de comblement inerte de type billes d'argile expansée (*).
- **une opération de remplissage par introduction d'une résine polyuréthane expansive**. La résine URETEK est spécialement conçue pour remplir complètement la partie supérieure de la cavité par expansion, en mettant en tension le matériau de remplissage et en comprimant l'ensemble, créant ainsi un état de tension permanente sur les parois qui délimitent la cavité.



1 Comblement de la cavité avec des billes d'argile expansée.

2 Compression du matériau de remplissage et mise en tension de l'ensemble de la cavité.

En cas de présence au-dessus de la cavité d'un ouvrage sinistré, de terrains décomprimés ou de fontis, URETEK Cavity Filling® peut être associé à une consolidation des sols sus-jacents avec le procédé URETEK DeepInjection®.

Spécificités du procédé

Le procédé URETEK Cavity Filling® se distingue des autres solutions de traitement grâce à ses spécificités suivantes :

- **une efficacité immédiate**, rendant le procédé particulièrement pertinent dans le cas de travaux d'urgence. Les temps de mise en œuvre du procédé sont courts, les matériaux sont sans délai de prise et de séchage, les essais de contrôle sont réalisables sans délai d'attente.
- **le maintien des conditions hydrologiques**. Le procédé permet de préserver une circulation des eaux souterraines au travers de la zone du comblement constituée du seul remplissage de billes d'argile (conductivité hydraulique $k > 1 \cdot 10^{-3}$ m/s). Cela permet de ne pas modifier les circulations d'eau dans la cavité et dans sa zone d'influence.
- **homogène avec le sol environnant**. Le comblement présente un module d'élasticité de l'ordre de 10 à 50 MPa, équivalent à celui d'un sol. Il ne constitue pas ainsi de point dur dans le sol qui concentrerait la diffusion des charges sus-jacentes.
- **adapté aux milieux agressifs** (sols gypseux, eaux acides, etc.). Salinités et acidités sont sans impact sur les matériaux constitutifs, à contrario des produits cimentés soumis à une altération chimique non négligeable, et des aciers (solutions usant de boulons, grillages, cintres, etc.) soumis également à ces altérations et aussi aux phénomènes de corrosion.

() D'autres matériaux de remplissage peuvent également être utilisés pour compléter ou remplacer les billes d'argile. Ces spécifications restent applicables à condition que leurs principes fondamentaux soient respectés (remplissage avec un matériau inerte et remplissage/compression totale avec une résine expansive). Il peut s'agir de matériaux à l'état liquide (tels que les produits à base de ciment, les mortiers et les coulis) qui durcissent après un temps prédéterminé, ou de matériaux à l'état solide, à condition qu'ils répondent à l'usage auquel ils sont destinés (matériaux naturels tels que les gravillons, le sable et le gravier, ou matériaux alternatifs tels que les déchets issus de processus industriels, à condition que ces matériaux soient inertes).*

1.1.3 AVANTAGES DU PROCÉDÉ URETEK CAVITY FILLING®

Adapté aux accès difficiles

Le procédé URETEK Cavity Filling® est une solution de comblement performante. Il est fiable, pérenne, rapide et facile à mettre en œuvre sur le plan technologique.

En plus de ses spécificités indiquées précédemment, il présente les avantages complémentaires suivants : Le procédé nécessite des moyens restreints et des emprises minimales, qui s'avèrent tout particulièrement appropriés pour des interventions en espaces confinés ou difficiles d'accès, aux sites occupés ainsi qu'aux situations d'urgence.

Comblement efficace et pérenne

La mise en compression du comblement et la mise en tension de la cavité sont optimales grâce à la caractéristique fortement expansive de la résine et à l'absence de phénomène retrait. Les billes d'argile et la résine expansive sont des matériaux inertes qui finissent de rendre pérenne le procédé et garantissent la stabilité de la cavité à long terme. Il n'y a pas de risque de nouvel affaissement comme cela peut être le cas avec des comblements au ciment qui se rétractent.

Faible surcharge du sol

Les billes d'argile et la résine expansive sont des matériaux légers qui ne surchargent pas le sol sous-jacent, supprimant ainsi le risque d'aggraver le sinistre.

Faible impact environnemental

Les incidences sur l'environnement sont minimisées : transport des produits, bruit, poussières, vibrations, modification du régime hydrologique du site, pollutions de toute nature, etc.

Terrassable

Si, sur demande explicite, l'ensemble du volume des pores entre les billes d'argile est rempli de résine, il est possible de réaliser des travaux de terrassement et de forage. Il est ainsi possible, en cas de nécessité, de traiter partiellement ou totalement la cavité comblée, ou bien encore de forer des fondations profondes au travers du comblement.

1.2.1 COMPLEMENT DE CAVITÉ

Le procédé URETEK Cavity Filling® s'applique pour le comblement :

- de cavités d'origine naturelle, zones souterraines d'effondrement, vides de dissolution, galeries souterraines, etc.
- de cavités d'origine artificielle, carrières d'exploitation, galeries souterraines, ovoïdes, cuves et caves enterrées, etc.
- de vides sanitaires. Dans ce cas d'application, le procédé URETEK Cavity Filling® peut également apporter un renforcement d'isolation thermique sous le plancher porté.

De par ces applications, le procédé URETEK Cavity Filling® est une solution :

- de mise en sécurité face à une menace de ruine imminente de la cavité souterraine (cloche de fontis proche de la surface, etc.).
- de protection des structures existantes en surface (bâti, voies publiques, réseaux enterrés notamment conduites d'eau) en limitant les risques d'effondrement.
- de préparation à des fins d'urbanisation en apportant un certain niveau de garantie de stabilité de la surface au droit ainsi qu'aux abords des cavités.



Soufflage des billes d'argile lors de la première phase de comblement de la cavité

1.2 DOMAINES D'APPLICATION

Par destination, le procédé URETEK Cavity Filling® concerne principalement le comblement de cavités et vides souterrains, accessibles ou inaccessibles, présentant ou non des risques d'instabilité.

Le procédé est donc aussi bien appliqué en solution curative (comblement de cavités plus ou moins effondrées, plus ou moins évolutives), qu'en solution préventive (mise en sécurité, comblement préalable avant travaux ultérieurs, type fondations profondes par exemple).

En remplissage de vide sanitaire, le procédé apporte également une amélioration d'isolation thermique sous plancher.

1.2.2 ISOLATION THERMIQUE SOUS DES PLANCHERS EN PORTE-À-FAUX

La cavité est comblée par remplissage de billes d'argile expansée puis par injection de résine expansive au sein de la « masse de billes » et de manière répartie dans l'ensemble du volume. La partie supérieure est ainsi comblée d'un agglomérat billes/résine.

Conductivité thermique :

- des billes d'argile : $\lambda_{\text{Billes}} = 0,10 \text{ W/mK}$.
- de la résine URETEK Resin : $\lambda_{\text{Résine}} = 0,038 \text{ W/mK}$.
- de URETEK Cavity Filling® : $\lambda = (0,45 * \lambda_{\text{Résine}} + 0,55 * \lambda_{\text{Billes}}) = 0,072 \text{ W/mK}$:

La résistance thermique (R) d'une épaisseur déterminée de matériau dépend de sa conductivité thermique (λ) et de l'épaisseur du matériau considéré (e). Cette résistance est déterminée comme suit :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Ainsi, la résistance thermique obtenue par comblement à l'aide du procédé URETEK Cavity Filling® d'un vide sanitaire de 0,70 m sous plancher porté et égale à :

$$R [0,2] = +/- 2,8 \text{ K}^* \text{m}^2 / \text{W}$$

À titre de comparaison, une telle résistance thermique est équivalente à une épaisseur de près de 10-15 cm de laine de roche.

1.2.3 LIMITES DE COUVERTURE DU PROCÉDÉ

La mise en œuvre du procédé URETEK Cavity Filling® est limitée notamment par :

- la présence de réseaux à conserver, dont la présence serait incompatible avec une injection de résine expansive.
- l'impossibilité de définir les dimensions et la géométrie de la cavité, et de là, garantir l'efficacité du comblement.
- l'impossibilité d'atteindre la cavité par nos moyens.

À noter que l'application du procédé ne constitue pas une amélioration de sol.

1.3 PRINCIPE ET APPLICABILITÉ D'URETEK CAVITY FILLING®

1.3.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

En premier lieu, une étude préliminaire est menée pour définir les conditions d'accès à la cavité, son volume et sa géométrie, la nécessité de compartimenter la zone de traitement ou de phaser l'intervention. Comme indiqué au §1.1.2, le procédé comprend en séquence :

- **une opération de remplissage** (comblement) par introduction, par soufflage ou de manière gravitaire, d'un matériau de comblement inerte de type **billes d'argile expansée**.



Si la cavité n'est pas accessible, le remplissage s'effectue de manière gravitaire au travers de forages depuis la surface. Si la cavité est accessible, le remplissage s'effectue par soufflage directionnel depuis l'intérieur de la cavité.

Le remplissage de la cavité est réalisé sur son maximum de volume, généralement 95 à 98 % de son volume.

- **un comblement de la cavité** par application de la résine **polyuréthane expansive** URETEK Resin.



La résine est injectée sous une forme fluide au travers de tubes d'injection. Si la cavité n'est pas accessible, les tubes sont disposés dans des forages entre la surface et la cavité. Si la cavité est accessible, les tubes sont prépositionnés avant tous travaux de comblement. La résine se dilate et durcit par réaction chimique de polymérisation pour produire, du fait de son expansion, la saturation de la cavité et un compactage du matériau de comblement ci-avant.

Le temps de polymérisation de la résine lui permet de s'écouler correctement à travers les tuyaux d'injection sans les boucher. La résine est fortement expansive avec une augmentation de volume potentiel comprise entre 10 et 30 fois son volume avant expansion. Cela remplit complètement et totalement la cavité et génère un état de tension sur les parois. Le module d'élasticité de la résine après son expansion est du même ordre de grandeur que le module d'élasticité du sol qui entoure la cavité.



• Injection totale du volume

Si nécessaire ou expressément demandé, l'injection de résine expansive est réalisée de manière répartie dans l'ensemble de la cavité, au sein de la « masse de billes ». Le comblement remplit complètement le volume. Cela apporte une cohésion à l'ensemble « billes/résine » et favorise le travail ultérieur dans le sous-sol. Comme précédemment, la résine expansive garantit un clavage parfait du ciel de la cavité et une saturation optimale de ses parois, éliminant le risque d'apparition de fontis et favorisant le travail ultérieur dans le sous-sol.

1.3.2 CRITÈRES DE FAISABILITÉ

Les critères de faisabilité prennent en compte :

- l'accessibilité à l'ouvrage.
- la géométrie de l'ouvrage.

À noter que la mise en œuvre du procédé URETEK Cavity Filling® est limitée notamment par la présence de liquide baignant dans le fond de la cavité.

Accessibilité

Le procédé est applicable aussi bien aux cavités humainement accessibles qu'aux cavités inaccessibles, le premier cas apportant cependant une meilleure gestion de la réalisation des travaux. Dans le cas de cavités inaccessibles, le comblement en billes d'argile puis en résine expansive se fera au travers de forages depuis la surface, éventuellement sous surveillance vidéo.

La profondeur d'intervention n'est liée qu'à l'accessibilité à la cavité et qu'aux possibilités du matériel URETEK®, longueur de flexibles et lances d'injection notamment.

Géométrie de l'ouvrage

Le procédé est applicable à presque tout type de géométrie d'ouvrage. La connaissance de cette géométrie conduira à la définition des points d'introduction des billes d'argile et des points d'injection de résine afin que la cavité puisse être comblée en toutes zones. Pour les cavités accessibles, on appréciera la faisabilité de l'opération au cours d'une visite préalable de l'ouvrage. L'impossibilité de définir à minima les dimensions et la géométrie de la cavité peut être une limite au procédé.

1.3.3 ZONE DE TRAITEMENT

Dans la plupart des cas, la zone de traitement est constituée de la cavité dans son intégralité. Un comblement partiel est cependant totalement possible. On procèdera alors au compartimentage du volume à traiter par pose d'un système faisant barrage au comblement (structure en bois ou en maçonnerie, grillage, etc.).

Le procédé URETEK Cavity Filling® est applicable partiellement, c'est à dire limité à la zone présentant des désordres, des risques, ou simplement répondant au besoin d'un projet.

1.4 MATÉRIAUX

1.4.1 BILLES D'ARGILE EXPANSÉE



Le produit se présente sous la forme de billes légères de granulométrie 4/10 mm. Ces billes sont obtenues après cuisson et expansion de bâtonnets d'argile dans un four rotatif dont la température atteint 1100 degrés. L'argile y est pétrie et malaxée avant d'être extrudée en forme de petites billes rondes.

Dans leurs principales applications, les billes légères d'argile expansée sont réputées en tant que matériaux de drainage, matériaux d'isolation du sol dans la construction, matériaux de remblais routiers et de voies ferrées.

Les billes d'argile expansée utilisées dans le cadre du procédé URETEK Cavity Filling® sont certifiées CE et répondent aux exigences des normes :

- NBN EN 13055 Granulats légers.
- NBN EN 14063-1 Produits isolants thermiques pour le bâtiment.
- NBN EN 15732 Matériaux de remplissage légers et produits isolants thermiques pour les applications du génie civil.

Le matériau est livré sur chantier généralement en camions-silos contenant jusqu'à 60 m³ de matériau ou bien en big bags pour des traitements d'appoint.

La fiche de données de sécurité du matériau est tenue à jour par le fabricant et mise à disposition des intervenants URETEK®.

Masse volumique

Le matériau est léger et n'apporte qu'une faible surcharge à la partie traitée.
La masse volumique sèche des billes est d'environ 400 kg/m³.

Paramètres mécaniques

- Résistance > 0,9 N/mm² à la fragmentation/écrasement => difficilement compressible.
- Résistance à la compression : +/- 500 kN/m² ($\epsilon=20\%$).
- Angle de frottement interne : +/- 45°.
- Cohésion : 0 kPa.

Durabilité

Le matériau est inerte : il ne se décompose pas, ne brûle pas et ne produit aucune autre réaction physique ou chimique, il est non biodégradable et ne détériore pas d'autres matières en contact. Il est imputrescible et ne change pas avec le temps. Il est également non gélif.

Substance dangereuse

Le matériau est non polluant, il ne libère pas de substance dangereuse dans son environnement.

- Chlorures < 0,01%.
- Sulfates solubles dans l'acide < 0,5%.
- Soufre total < 0,55%.

Réaction au feu

Classe A1 – incombustible au sens de la norme NBN EN 13501-1.

Perméabilité à l'eau

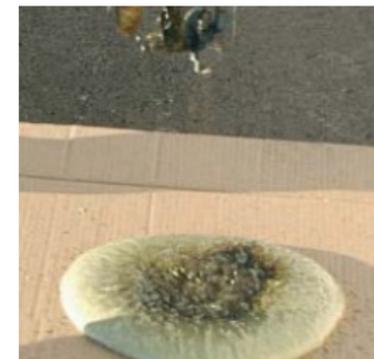
Le matériau est drainant avec une conductivité hydraulique supérieure à 1*10⁻³ m/s, principalement due à une large part de vides : +/- 45 % de vides entre les billes et +/- 43 % dans les billes.

Résistance thermique

Le matériau présente une conductivité de $\lambda = 0,10$ W/mK qui le place en très bon isolant thermique.

1.4.2

RÉSINE URETEK RESIN



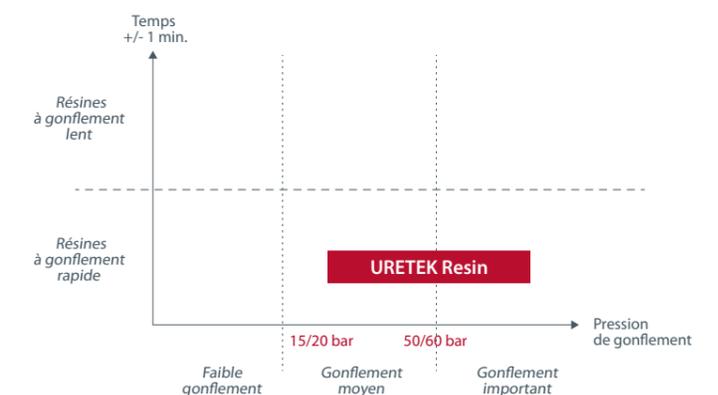
1.4.2.1 Les composants de la résine

La résine expansive polyuréthane bi-composant dénommée URETEK Resin est produite à la suite d'une réaction exothermique de polymérisation (passage d'un état liquide à un état solide) entre deux composants : un poly-isocyanate et un polyol, mélangés dans des proportions volumétriques spécifiques.

Les fiches de données de sécurité de ces composants sont tenues à jour par le fabricant et mises à disposition des intervenants URETEK®.

Ces composés sont identifiés au niveau des cuves placées dans le camion-atelier. Le mélange et la température sont gérés depuis le camion-atelier par un système de pompage et de chauffage calibrés conformément aux prescriptions du fournisseur.

La résine URETEK Resin utilisée dans le procédé URETEK Cavity Filling® est à polymérisation rapide (quelques secondes) et fortement expansive avec une pression d'expansion pouvant atteindre 10 MPa.



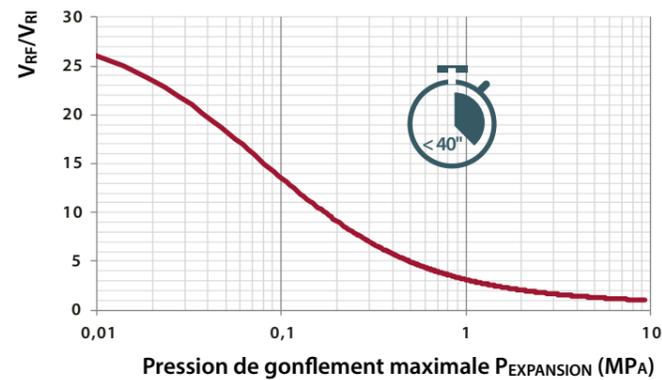
Les principales caractéristiques techniques de la résine URETEK Resin, dont la formulation reste confidentielle, sont indiquées au §1.4.2.2 et précisées en annexe.

1.4.2.2 Caractéristiques techniques

3 propriétés fondamentales caractérisent la résine URETEK Resin :

- une polymérisation très rapide, inférieure à 40 secondes.
- une pression de gonflement très élevée jusqu'à plus de 10 MPa.
- une capacité d'expansion volumétrique importante, jusqu'à plus de 25 fois le volume du mélange initial.

Les images jointes en annexe montrent le fonctionnement du produit.

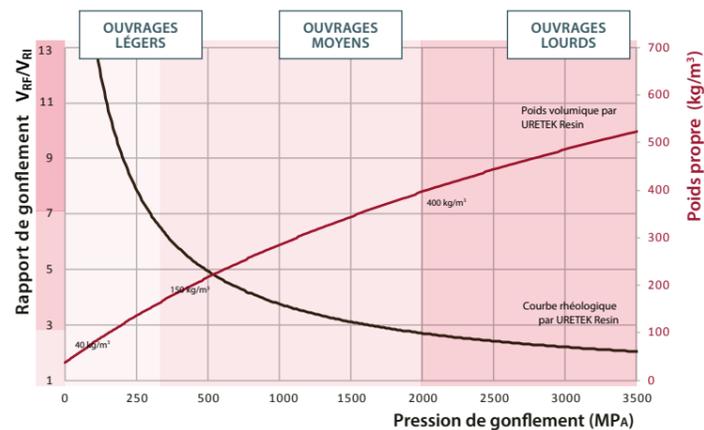


Les tests permettant de déterminer la relation pression/volume de gonflement pour la résine expansive ont été menés sur un banc d'essai spécifiquement mis au point par le laboratoire de géotechnique de l'École polytechnique de TURIN en collaboration avec URETEK®.

Tests effectués sur la résine URETEK Resin
Laboratoire SGS SERCOVAM – 2015/2016

Dans le sol, le poids volumique, la pression de gonflement et le volume d'expansion de la résine sont fonction de la résistance qui est opposée à l'expansion et notamment du poids de l'ouvrage.

Le poids volumique de la résine qui s'expande et se solidifie à l'air libre est de 37 kg/m^3 ; sous ouvrages légers il est de 40 kg/m^3 en moyenne, 150 kg/m^3 sous ouvrages courants, et de plus de 400 kg/m^3 sous ouvrages lourds.



Comportement à long terme

Les caractéristiques de la résine expansive solidifiée URETEK® sont stables dans le temps, comme le montrent les essais menés pendant 10 ans sur une résine enfouie dans le sol et sur une résine laissée à l'air libre.

Paramètres mécaniques

Les caractéristiques mécaniques de la résine expansive solidifiée sont fonction du poids volumique final du produit.

Résistance à la traction
de 1 MPa tot 8 MPa

Résistance à la compression
de 0,2 MPa tot 11 MPa

Module d'élasticité
de 10 MPa tot 225 MPa

Résistance à la flexion
de 0,5 MPa tot 18 MPa

Résistance au cisaillement
de 0,5 MPa tot 2 MPa

Résistance thermique

La résine URETEK Resin présente une conductivité thermique $\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$ comparable aux principaux matériaux isolants.

1.4.2.3 Produit fini injecté

Résine polyuréthane expansée durcie

Sous sa forme définitive, la résine URETEK Resin est une mousse de polyuréthane thermodurcie qui s'est infiltrée voire mélangée avec son matériau environnant. Elle ne se dissout pas et ne se détériore pas dans la nature. Les acides du sol n'ont aucun effet sur elle, même sur long terme. Seuls les rayons ultraviolets peuvent la décomposer, mais dans le sol et sous ouvrage, le polyuréthane est invulnérable.

Légereté

Dans les applications courantes, le matériau expansé pèse moins de 80 kg au m³. Ce poids augmente en fonction du poids de l'ouvrage et de la profondeur des injections, il peut alors dépasser largement les 300 kg au m³.

Imperméable

La structure de la résine expansée solidifiée est constituée de cellules fermées. C'est un matériau pratiquement imperméable.

Durable

La résine URETEK Resin est stable et durable dans le temps, non biodégradable, très peu déformable, résistante aux agents chimiques, champignons (moisissures) et bactéries.

Non polluante

La résine URETEK Resin respecte les normes en vigueur en matière d'environnement et se distingue par son caractère inerte. Elle est non polluante et ne présente aucun contaminant pour les matériaux en contact direct ; il n'y a pas d'interaction avec le milieu dans lequel elle est injectée.

Inerte : qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Ne se décompose pas, ne brûle pas et ne produit aucune autre réaction physique ou chimique, non biodégradable et ne détériore pas d'autres matières en contact d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Sans impact sur la qualité de l'air

Elle n'a aucun impact sur la qualité de l'air. Sa composition et sa formule exclusive répondent aux critères des bâtiments HQE, et ne représentent aucun risque de contamination à court, moyen ou long terme.

Sans impact sur la qualité des eaux

La teneur en polluants, la production totale de lixiviats ainsi que leur écotoxicité sont négligeables et, en particulier, ne portent pas atteinte à la qualité des eaux de surface ou des eaux souterraines.



La résine URETEK Resin est issue de la R&D URETEK® pour une application exclusive par URETEK®.

URETEK Resin a reçu l'agrément EXCELL+ du laboratoire indépendant EXCELL, qui garantit sa non-nocivité en zone sensible selon un cahier des charges spécifique et un référentiel d'exigences supérieures aux réglementations en vigueur.

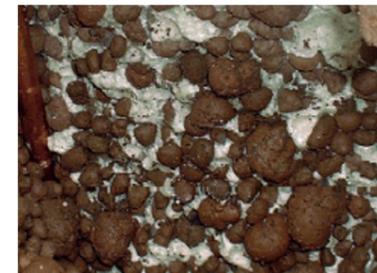


1.4.3

ASSURANCE QUALITÉ

Le protocole URETEK® de fourniture des produits intègre le contrôle qualité de chaque lot de produit livré. Les contrôles de fabrication concernent les composants de base qui doivent respecter les caractéristiques prédéfinies par URETEK® (tests réalisés par le laboratoire du fournisseur). Chaque lot de matériau est accompagné d'une fiche de sécurité et d'une étiquette sur laquelle sont indiqués le nom du produit et la date d'échéance de validité.

1.5 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE CAVITY FILLING®



Il n'y a aucune réaction chimique entre les billes d'argile et la résine polyuréthane. Le produit final de comblement est, selon les exigences du projet, soit des billes d'argile, soit de la résine polyuréthane, soit un agglomérat de ces deux matériaux.

Tests effectués sur la résine URETEK Resin
Laboratoire SGS SERCOVAM – 2015/2016

On retiendra alors les caractéristiques techniques ci-après :

Légère

Cavity Filling® constitue un comblement léger qui n'apporte qu'une faible surcharge à la partie traitée, de l'ordre de 600 à 800 kg/m³.

Durable

Le comblement est stable et durable dans le temps, non biodégradable, très peu déformable, résistante aux agents chimiques, champignons (moisissures) et bactéries.

L'usage de cette résine fortement expansive garantit un remplissage optimal du volume, éliminant le risque d'apparition de fontis.

Non polluante

Les billes d'argile et la résine polyuréthane respectent les normes en vigueur en matière d'environnement et se distinguent par leur caractère inerte. Elles sont non polluantes et ne présentent aucun contaminant pour les matériaux en contact direct, il n'y a pas d'interaction avec le milieu dans lequel elles sont mises en œuvre.

Résistante thermiquement

En injection totale, l'agglomérat billes d'argile/résine présente une conductivité thermique λ de l'ordre de 0,07 W/mK.

Perméable à l'eau

En injection, une grande part du volume de comblement est constitué des seules billes d'argile, ce qui permet de conserver une circulation des eaux souterraines au travers de la cavité comblée et dans sa zone d'influence.

MISE EN ŒUVRE

2.1 ÉLÉMENTS DE CONCEPTION

2.1.1 VISITE PRÉALABLE / RELEVÉS PRÉPARATOIRES

Chaque projet fait l'objet systématique d'une visite préalable d'étude par notre ingénieur de projet destinée à confirmer la faisabilité de mise en œuvre du procédé URETEK Cavity Filling®.

L'un des principaux objectifs de la visite préalable est le repérage précis de la cavité, par mesures directes ou indirectes. Ce repérage permettra de définir les volumes engagés et de préparer au mieux le plan d'intervention. Selon les cas, des reconnaissances géotechniques ou géophysiques complémentaires peuvent être nécessaires.

Pour rappel, le procédé URETEK Cavity Filling® s'applique idéalement pour le comblement de cavités aux limites parfaitement définies.

Dans le cas d'une cavité inaccessible, le volume et la géométrie de celle-ci peuvent être appréciés au moyen d'une caméra éventuellement de type infrarouge, et mesurés avec un télémètre laser. Les deux instruments, éventuellement disposés sur une tige rigide, sont abaissés temporairement dans la cavité et mis en rotation à l'intérieur de la cavité de manière à ausculter dans l'ensemble des directions.

2.1.2 PLAN D'INTERVENTION

Des relevés préparatoires est défini le plan d'intervention, qui consiste en la description des points clés suivants :

- l'indication des implantations des réseaux d'alimentation et d'évacuation des eaux, ainsi que des positions des câbles ou tout autre ouvrage éventuellement présent. Sauf préconisation contraire dans le CCTP, aucune protection particulière n'est nécessaire au niveau des réseaux présents dans le volume de la cavité à combler.
- la ou les différentes zones par lesquelles le personnel et le matériel peuvent accéder au site pendant les travaux.
- les travaux préparatoires éventuels.
- les compartimentages éventuellement nécessaires du volume à traiter.
- le phasage de comblement si la cavité est volumineuse ou présente plusieurs embranchements.

- le positionnement des points de forage.
- l'implantation et le cheminement des tubes d'injection de résine.
- les positions des points d'injection et l'ordre séquentiel des injections.

2.2 EXÉCUTION DES TRAVAUX

2.2.1 PERSONNEL ET MATÉRIEL

Personnel

Tous nos opérateurs ont reçu une formation interne sur nos procédés, les produits utilisés et les risques liés à nos travaux.

Dans le cadre d'URETEK Cavity Filling®, une équipe chantier est constituée d'un minimum de 3 personnes. Elle avoisine plus fréquemment 5 à 6 personnes lorsque les interventions sont souterraines.



Camion-silo

Les billes d'argile sont généralement livrées sur le chantier par le fournisseur au moyen d'un camion-silo d'une contenance entre 40 et 60 m³. Le camion-silo est équipé pour souffler les billes jusqu'à la cavité au moyen d'un tuyau souple pouvant atteindre 80 mètres de long.

Camion-silo (50 m³) lors du soufflage des billes.

Camion-atelier entièrement équipé d'URETEK®

Le camion entièrement équipé d'URETEK® est généralement présent tout au long de l'intervention. Il porte à son bord l'ensemble du matériel nécessaire à l'injection de la résine expansive, dont notamment :

- un générateur de courant électrique, compresseur d'air.
- des cuves de stockage des composants de résine.
- des pompes d'injection et matériel de chauffe des composants de résine.

Autre matériel

Le camion-atelier est également équipé des éléments suivants :

- Des perforateurs électroportatifs pour les opérations de forage.
- Un flexible d'injection et pistolet injecteur pour l'injection de la résine.

Mais aussi : extracteur hydraulique pour l'extraction des tubes d'injection, électro-pompe pour pompage d'eau si besoin, etc.

Un véhicule automobile pour le transport du personnel complète notre équipement.

Lorsque la cavité n'est pas accessible et nécessite de réaliser des forages préalables pour procéder à l'incorporation des matériaux, la réalisation de carottages peut s'avérer nécessaire.

La longueur de rayonnement des tubes d'injection n'excède pas 8,00 mètres. Les sorties d'injection sont alors concentrées au niveau d'un ou deux points de sortie qui suffisent alors pour réaliser l'intégralité des opérations d'injection.



Exemples de disposition des tubes d'injection dans des cavités

Comblement par billes d'argile

Le comblement s'effectue par soufflage directionnel des billes d'argile. Celles-ci sont soufflées à la pression de 3 à 4 bars depuis le camion-silo équipé d'une pompe de soufflage et au moyen d'un tube souple de 150 mm de diamètre et de longueur maximale usuelle de 80 mètres. À l'extrémité de ce tuyau, dans la cavité, un technicien oriente le soufflage des billes pour un remplissage quasi-complet de la cavité.



Usuellement, les billes d'argile sont propulsées et injectées à sec afin qu'il n'y ait pas d'injection d'eau dans la cavité pendant les travaux. Toutefois il est fréquent d'humidifier les billes lors du soufflage pour diminuer la poussière générée en sous-sol et conserver une visibilité pour l'équipe présente dans la cavité. L'humidification se fait par pulvérisation de fines gouttelettes d'eau au niveau de la pompe de soufflage.

Soufflage des billes d'argile en galerie

Injection de résine expansive

Au début de toute session d'injection, un test d'injection à l'air libre est effectué. Ce test permet de vérifier le bon fonctionnement du matériel et un examen visuel de la résine produite (vitesse et volume d'expansion, couleur, compacité, aspect général).

La résine est injectée via le pistolet injecteur fixé sur les tubes d'injection et relié par flexible à la pompe d'injection et aux cuves de stockage situées dans le camion-atelier stationné à proximité des travaux à effectuer. Seul le tuyau d'alimentation du pistolet injecteur est nécessaire à la mise en œuvre du procédé. Le camion est équipé d'un système de pompage des composants. Les produits sont propulsés dans des tuyaux séparés, jusqu'au pistolet d'injection, dans lequel s'effectue le mélange, juste avant l'injection.

Le temps de polymérisation de la résine lui permet de s'écouler correctement à travers les tuyaux d'injection sans les boucher.

2.2.2

MISE EN ŒUVRE

2.2.2.1 Cavités accessibles



Compartimentage

Si le plan d'action le prévoit, le volume à traiter est compartimenté. Cela se fait par l'application d'une structure légère, en maçonnerie, en bois ou même en filet de polyéthylène ou équivalent, qui est attachée à la structure primaire.

Blocage des billes au niveau de la sortie

Insertion des tubes d'injection

Dans le cas de cavités accessibles, les tubes d'injection sont généralement disposés dans la cavité. Ceci permet d'éviter tout percement au niveau de la couche de recouvrement ou de la dalle portée (dans le cas d'une mise en sécurité d'un plancher porté sur vide, par exemple).

En fonction du projet, les points d'injection sont positionnés en partie supérieure de la cavité pour réaliser l'injection et la mise en compression, et de manière répartie dans le volume de la cavité lorsqu'il s'agit d'injecter l'ensemble du volume de manière à saturer les billes d'argile. Dans les deux configurations, le maillage d'injection est d'environ 2 m x 2 m.

En injection de saturation de cavité, la pression d'injection permet de faire pénétrer la résine dans les cavités entre les billes d'argile. L'expansion quasi immédiate de la résine et sa pression de gonflement (jusqu'à 10 bars) assurent une mise en compression de l'ensemble de la cavité comblée.

Lorsque l'injection est terminée, les tuyaux en acier sont sectionnés à environ 1 cm sous le niveau de la surface de recouvrement (plateforme de travail), une partie restant piégée, remplie de résine. L'injection est arrêtée dès que :

- la quantité de résine prévue a été injectée.
- la mise en contact avec le ciel de cavité est observée.
- l'apparition d'une réaction en surface est mesurée au monitoring laser (cf. §2.2.3).

2.2.2.1 Cavités inaccessibles

Comblement par billes d'argile

L'introduction des billes d'argile est soit gravitaire, soit par soufflage, et réalisée au travers de forages de 180 à 200 mm de diamètre donnant accès à la cavité. Si nécessaire, ces forages sont équipés de tubes protecteurs pour éviter d'endommager les parois. La disposition des forages est fonction de la géométrie de la cavité et doit permettre un remplissage optimal en tout point.

Les recommandations de l'IGC dans le cadre du comblement de cavités souterraines concernant les dimensions du maillage pour les forages de comblement gravitaire et par injection sous le bâtiment et ses abords immédiats ne doivent pas être supérieures :

- à 3 m x 3 m pour un recouvrement résiduel inférieur à 10 m et construction sur fondations superficielles,
- à 4 m x 4 m pour un recouvrement résiduel supérieur ou égal à 10 m et construction sur fondations superficielles,
- à 5 m x 5 m pour les zones aménagées en parkings enterrés seuls (sans superstructure) et dans le cas de construction avec fondations profondes, avec dans ce cas un resserrement à 2,5 m x 2,5 m au droit des zones de pieux,
- à 7 m x 7 m pour les zones non bâties.

Le comblement s'effectue au moyen d'un tube souple de 150 mm de diamètre et de longueur maximale usuelle de 80 mètres introduit dans les forages. Les billes d'argile sont alors introduites soit de manière gravitaire, soit par soufflage dans les conditions précédemment décrites. En fin d'introduction des billes d'argile, les forages sont bouchés avant injection de la résine.

Injection de résine

Des percements de 12 à 16 mm de diamètre sont forés à travers le recouvrement pour atteindre la cavité. Un tube d'injection en acier est inséré dans chacun des forages afin de diffuser la résine au sein du volume de billes ou de manière à ce que la partie supérieure de la cavité soit mise en tension.



La disposition des forages est fonction de la géométrie de la cavité et doit permettre un remplissage optimal en tout point. Elle conduit généralement à un maillage d'injection d'environ 2 m x 2 m. Dans tous les cas, celui-ci ne peut excéder le maillage maximum des préconisations de l'IGC en injection de carrière et rappelé ci-avant.

Injection sous contrôle laser

La phase d'injection de résine expansive est similaire à celle décrite précédemment. Elle est exécutée par une équipe de techniciens au moyen du camion-atelier URETEK® contenant tout l'équipement spécialisé. L'injection est arrêtée dès que :

- la quantité de résine prévue a été injectée.
- l'apparition d'une réaction en surface est mesurée au monitoring laser (cf. §2.2.3).

2.2.3

SURVEILLANCE DES TRAVAUX ET CONTRÔLE

Surveillance laser du recouvrement

Si l'épaisseur du recouvrement de la cavité est peu importante ou si un ouvrage sensible surmonte la cavité, une surveillance des mouvements est mise en place.

L'appareillage se compose d'un émetteur, positionné à distance du lieu d'injection et n'en subissant pas l'influence, et de plusieurs récepteurs solidaires de l'ouvrage. Les récepteurs sensibles au demi-millimètre détectent les moindres variations altimétriques par rapport au plan horizontal fixe décrit par le rayon laser de l'émetteur. Tout mouvement de l'ouvrage durant l'injection est ainsi mesuré en temps réel. Dès l'apparition d'une réaction, l'injection est arrêtée. Cette réaction en surface signifie notamment que l'ensemble du comblement est mis en compression et assure une injection optimale.

Contrôle

Le principe d'intervention et de contrôle du procédé est basé sur la méthode observationnelle.

Le principal contrôle concerne la vérification de la qualité des matériaux et la vérification des volumes de remplissage, et compare les quantitatifs de matériaux mis en œuvre aux volumes à combler.

2.2.4

CONTRÔLES COMPLÉMENTAIRES ET ESSAIS

Si nécessaire, des contrôles et des tests supplémentaires peuvent être ajoutés pour certaines opérations. On distinguera notamment :

Contrôle du remplissage

Par la réalisation :

- de forages destructifs enregistrés.
- d'essais pénétrométriques.
Il conviendra d'être vigilant et précis dans l'interprétation de ces essais afin de distinguer un réel vide résiduel d'un avancement rapide au sein de la masse de billes d'argile.

D'autres essais peuvent être envisagés tels que des essais de sismique réfraction, de tomographie électrique, etc.

Contrôle de compacité

Par:

- la réalisation d'essais pressiométriques.
- la pose de capteurs pressiométriques disposés, avant travaux, dans des zones spécifiques de la cavité et notamment au niveau du ciel de cavité. La détection d'une augmentation de pression signifiant la bonne mise en compression du comblement. Les systèmes classiques sont constitués de cellules pressiométriques hydrauliques (cellules de pression de tous types, vérins plats, etc.) dotées de capteurs électriques ou d'instruments à lecture directe (manomètres).

D'autres essais peuvent être envisagés tels que des essais de sismique réfraction, de tomographie électrique, etc.

ANNEXES

RÉSISTANCE CHIMIQUE DU POLYURÉTHANE URETEK®

La résistance du matériau expansé aux agents chimiques a été évaluée en examinant la diminution du volume après une exposition prolongée. La résistance a été évaluée selon les catégories suivantes :

- ■ ■ ■ ■ = Excellente résistance (diminution du volume < 3 %)
 - ■ ■ ■ ■ = Bonne résistance (entre 3 % et 6 %)
 - ■ ■ ■ ■ = Résistance moyenne (entre 6 % et 15 %)
 - ■ ■ ■ ■ = Faible résistance (entre 15 % et 25 %)
 - ■ ■ ■ ■ = Pas de résistance
 - ■ ■ ■ ■ = Ne pas mettre en contact avec le matériau expansé.
 - ■ ■ ■ ■ = Forte réaction aux solvants ou aux influences chimiques (destruction du matériau)
- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ ■ ■ ■ ■ = Acétate d'indigo ■ ■ ■ ■ ■ = Acétate de butyle ■ ■ ■ ■ ■ = Acétate d'éthyle ■ ■ ■ ■ ■ = Acétone ■ ■ ■ ■ ■ = Acide acétique 2 % ■ ■ ■ ■ ■ = Acide butyrique ■ ■ ■ ■ ■ = Acide chlorhydrique concentré ■ ■ ■ ■ ■ = Acide chlorhydrique 25% ■ ■ ■ ■ ■ = Acide chlorhydrique 10% ■ ■ ■ ■ ■ = Acide nitrique concentré* ■ ■ ■ ■ ■ = Acide nitrique 10% ■ ■ ■ ■ ■ = Acide sulfurique concentré* ■ ■ ■ ■ ■ = Acide sulfurique 10% ■ ■ ■ ■ ■ = Eau ■ ■ ■ ■ ■ = Eau de mer ■ ■ ■ ■ ■ = Alcool butylique ■ ■ ■ ■ ■ = Alcool éthylique ■ ■ ■ ■ ■ = Méthanol ■ ■ ■ ■ ■ = Essence ■ ■ ■ ■ ■ = Essence/Benzol 60/40 ■ ■ ■ ■ ■ = Benzol ■ ■ ■ ■ ■ = Kérosène ■ ■ ■ ■ ■ = Chlorate de potassium 5% ■ ■ ■ ■ ■ = Chlorure de benzoyle ■ ■ ■ ■ ■ = Chlorure de méthylène ■ ■ ■ ■ ■ = Carburant JD 4 ■ ■ ■ ■ ■ = Carburant JD 5 ■ ■ ■ ■ ■ = Diisobutylène ■ ■ ■ ■ ■ = Diisobutylcétone | <ul style="list-style-type: none"> ■ ■ ■ ■ ■ = Hexane ■ ■ ■ ■ ■ = Formaldéhyde ■ ■ ■ ■ ■ = Diesel (gazole) ■ ■ ■ ■ ■ = Éthylène glycol 100% ■ ■ ■ ■ ■ = Hydroxyde d'ammonium concentré ■ ■ ■ ■ ■ = Hydroxyde d'ammonium 10% ■ ■ ■ ■ ■ = Hydroxyde de potassium 1% ■ ■ ■ ■ ■ = Hydroxyde de sodium concentré ■ ■ ■ ■ ■ = Isopropanol ■ ■ ■ ■ ■ = Méthyléthylcétone ■ ■ ■ ■ ■ = Huile de lin ■ ■ ■ ■ ■ = Huile lubrifiante ■ ■ ■ ■ ■ = Huiles minérales ■ ■ ■ ■ ■ = Orthochlorobenzène ■ ■ ■ ■ ■ = Orthodichlorobenzène ■ ■ ■ ■ ■ = Hydroxyde de sodium concentré ■ ■ ■ ■ ■ = Hydroxyde de sodium 25% ■ ■ ■ ■ ■ = Sulfate d'ammonium 2% ■ ■ ■ ■ ■ = Sulfure d'hydrogène saturé ■ ■ ■ ■ ■ = Sulfure d'hydrogène 80% ■ ■ ■ ■ ■ = Solution NaCl saturée ■ ■ ■ ■ ■ = Solution NaCl 10% ■ ■ ■ ■ ■ = Solvant pour peinture ■ ■ ■ ■ ■ = Styène ■ ■ ■ ■ ■ = Tétrachlorure de carbone ■ ■ ■ ■ ■ = Toluène ■ ■ ■ ■ ■ = Térébenthine ■ ■ ■ ■ ■ = Trichloréthylène ■ ■ ■ ■ ■ = Xylène |
|--|--|

* Dans deux cas seulement (acide nitrique concentré et acide sulfurique concentré), il n'y a pas de résistance, car le matériau est complètement détruit au contact de ces acides concentrés. Or, ces composants chimiques sont très actifs et peuvent détruire presque tous les matériaux, y compris les métaux.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU POLYURÉTHANE URETEK®

	Résultats (*)	Seuil (**)
Matière sèche et teneur en eau (ISO 1 1465)		
Teneur en eau	1,2 % m/m	
Indice d'huile minérale (matière sèche)		
Indice d'huile minérale C10-C40	<100 mg/kg	500 mg/kg
Composés halogénés volatils et hydrocarbures aromatiques volatils (ISO 22155)		
1,2-diméthylbenzène (O-Xylène)	<0,1 mg/kg	
1,3+1,4-Diméthylbenzène (M,P-Xylène)	<0,1 mg/kg	
Benzène	<0,1 mg/kg	6 mg/kg
Éthylbenzène	<0,1 mg/kg	
Toluène	0,10 mg/kg	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (matière sèche) - GCM (DIN ISO 18287)		
Acénaphène	<0,1 mg/kg	
Acénaphylène	<0,1 mg/kg	
Anthracène	<0,1 mg/kg	
Benzo(A)anthracène	<0,1 mg/kg	
Dibenzo(A,H)anthracène	0,22 mg/kg	
Benzo(A)pyrène	<0,1 mg/kg	
Dibenzo(A,H)anthracène	0,22 mg/kg	
Benzo(A)pyrène	<0,1 mg/kg	
Benzo(B)fluoranthène	<0,1 mg/kg	
Benzo(G,H,I)pérylène	<0,1 mg/kg	50 mg/kg
Benzo(K)fluoranthène	<0,1 mg/kg	
Chrysène	<0,1 mg/kg	
Fluoranthène	<0,1 mg/kg	
Fluorène	<0,1 mg/kg	
Indéno(1,2,3-C,D)pyrène	<0,1 mg/kg	
Naphtalène	<0,1 mg/kg	
Phénanthrène	<0,1 mg/kg	
Pyrène	<0,1 mg/kg	
Valeur maximale de la composition (somme) des HAP analysés (F)	<1,72 mg/kg	

	Résultats (*)	Seuil (**)
Polychlorobiphényle (PCB) matière sèche (DIN 38414-20)		
PCB 28	<0,1 mg/kg	
PCB 52	<0,1 mg/kg	
PCB 101	<0,1 mg/kg	
PCB 118	- mg/kg	1 mg/kg
PCB 138	<0,1 mg/kg	
PCB 153	<0,1 ma/ko	
PCB 180	<0,6 mg/kg	
Carbone organique total (COT) (matière sèche) (DIN EN 13137)		
Carbone organique total	68,4 % m/m	3 % m/m (a)
Lixiviation – Distribution granulométrique inférieure à 4 mm (EN 12457-2)		
Ratio	10	10
Analyses des lixiviats (matière sèche) – Distribution granulométrique inférieure à 4 mm (EN 12457-2)		
COT selon EN 1484	43 mg/kg	500 mg/kg
Chlorures selon EN ISO 10304-1	<5 mg/kg	
Fluorures selon EN ISO 10304-1	<2 mg/kg	10 mg/kg
Sulfates selon EN ISO 10304-1	30 mg/kg	
Fluorures selon EN ISO 10304-1	<2 mg/kg	10 mg/kg
Sulfates selon EN ISO 10304-1	30 mg/kg	
Indice phénol selon EN ISO 14402	<0,1 mg/kg	1 mg/kg
Mercure selon EN 1483	<0,002 mg/kg	0,01 mg/kg
Arsenic selon EN 11885	<0,05 mg/kg	0,5 mg/kg
Baryum selon EN 11885	0,32 mg/kg	20 mg/kg
Cadmium selon EN 11885	<0,01 mg/kg	0,04 mg/kg
Chrome selon EN 11885	<0,05 mg/kg	0,5 mg/kg
Cuivre selon EN 11885	0,06 mg/kg	2 mg/kg
Molybdène selon EN 11885	<0,1 mg/kg	0,5 mg/kg
Nickel selon EN 11885	<0,05 mg/kg	0,4 mg/kg
Plomb selon EN 11885	<0,05 mg/kg	0,5 mg/kg
Sélénium selon EN 11885	<0,1 mg/kg	0,1 mg/kg
Zinc selon EN 11885	0,2 mg/kg	4 mg/kg
Antimoine selon DIN EN ISO 17294-2	<0,01 mg/kg	0,06 mg/kg
Fractions solubles selon DIN EN 15216	130 mg/kg	4000 mg/kg
Chrome VI selon DIN 38405-24	<0,1 mg/kg	

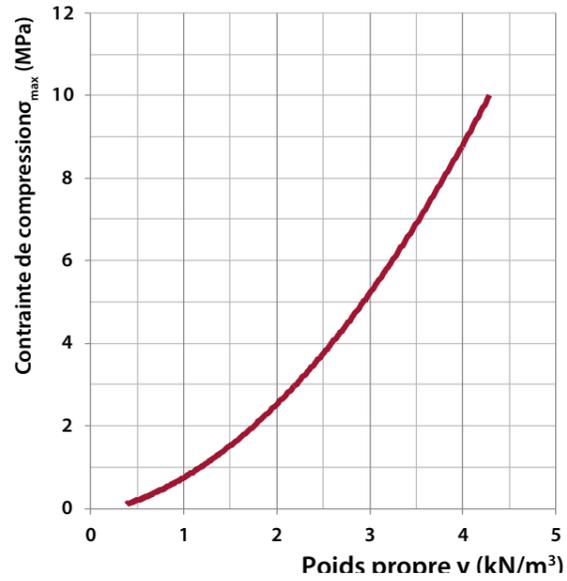
(*) Résultats des tests de la résine URETEK®

(**) Valeur limite déterminée pour le classement en produit inerte dans la circulaire du 20/12/06 relative aux sites de stockage de déchets inertes

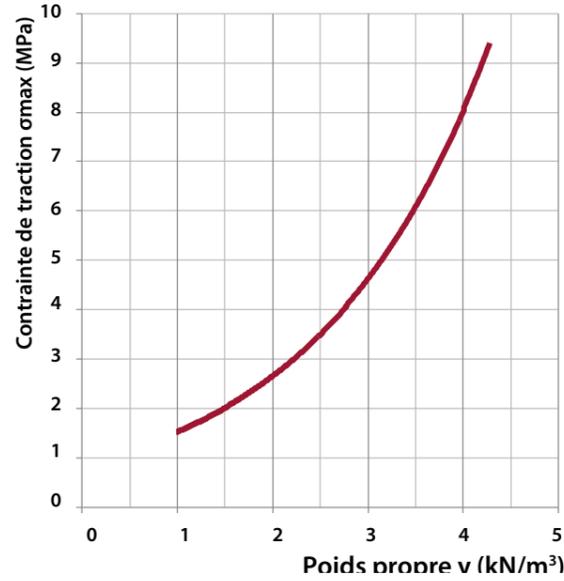
(a) Une limite plus élevée peut être autorisée, à condition que la limite de COT (éluat) de 500 mg/kg soit respectée. Les paramètres ont été déterminés selon la norme NF EN/CEI 17025 avec équivalence COFRAC (DAkKS n°D-PL-14115-07-00)

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA RÉSINE URETEK RESIN

Résistance à la compression

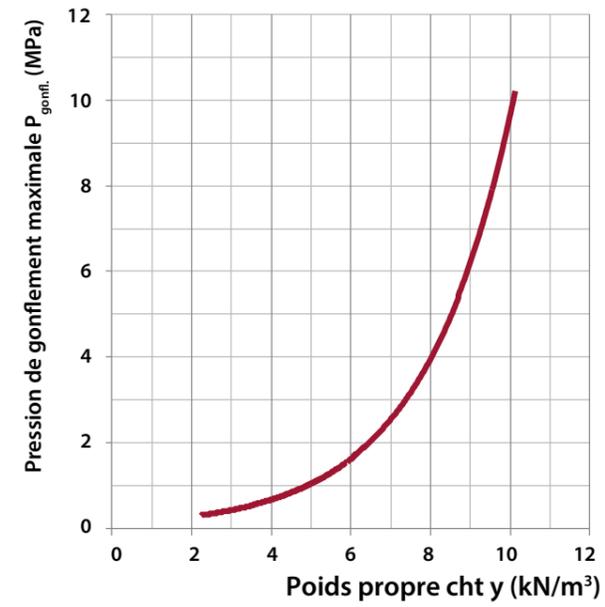


Résistance à la traction

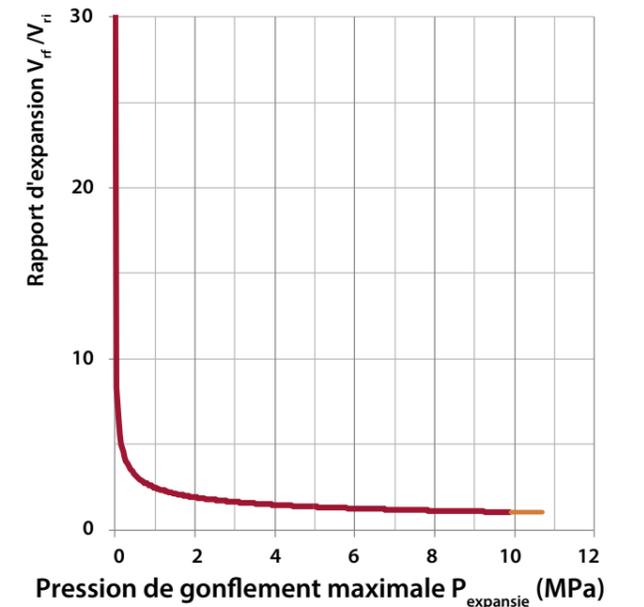


CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA RÉSINE URETEK RESIN

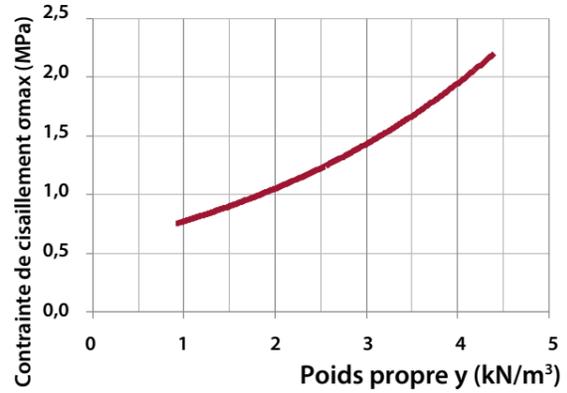
Pression de gonflement



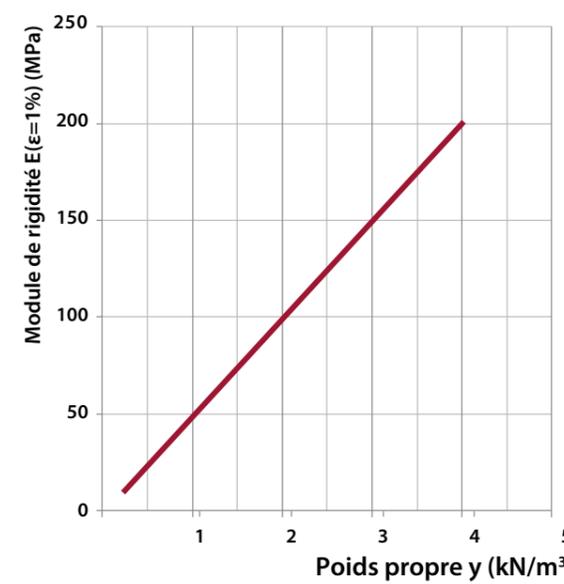
Rapport d'expansion



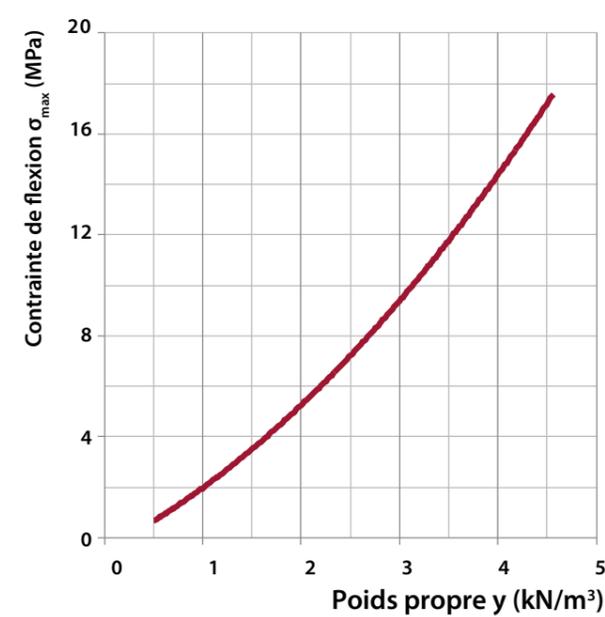
Résistance au cisaillement



Module d'élasticité



Résistance à la flexion



URETEK[®]

REDRESSEMENT FONDAMENTAL

CAVITY FILLING[®]

URETEK Benelux BV
Zuiveringweg 93
NL - 8243 PE LELYSTAD

+31 (0)320 256 218
info@uretek.nl
www.uretek.nl

URETEK Benelux bvba
BC Vlaamse Ardennen
Meersbloem Melden 46
B-9700 OUDENAARDE

+32 (0)9 251 12 27
info@uretek.be
www.uretek.be

