

AVIS TECHNIQUE CETU

ETANCHEMENT DES OUVRAGES SOUTERRAINS

AT n° 20-05

Validité du : 11 / 12 / 2025
au : 10 / 12 / 2030

NOM DU PROCÉDÉ : CTS 33/16

-

ENTREPRISE : CORDES

Le procédé **CTS 33/16** de l'entreprise CORDES entre dans la famille des joints compressibles d'étanchéité de voussoirs en béton armé. Il est mis en œuvre dans les tunnels neufs forés mécaniquement au tunnelier (avec ou sans pression d'eau). Ce joint est décliné en version **ancrée et collée**.

L'étanchéité entre voussoirs est assurée par compression des joints annulaires et longitudinaux entrant en contact entre eux et sont maintenus comprimés pendant toute la durée de vie de l'ouvrage.

Le joint d'étanchéité **CTS 33/16** en EPDM (largeur : 33 mm, hauteur : 16 mm) existe en version collé (« standard ») et ancré (« anchored »). La version standard est collée dans les gorges prévues à cet effet sur les voussoirs. La version ancrée est posée dans des réservations au niveau des moules de fabrication des voussoirs, avant la mise en œuvre de la cage d'armatures et le coulage du béton. Dans les deux cas, le joint est intégré sur tout le périmètre de chaque voussoir.

La mise en œuvre du joint **CTS 33/16** doit respecter le Cahier de Mise en Œuvre référencé dans l'AT CETU.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|----|
| CHAPITRE 1 - IDENTIFICATION DU PROCEDE | 4 |
| 1.1 Renseignements commerciaux..... | 4 |
| 1.2 Définition, constitution et composition du procédé | 4 |
| 1.2.1 Rappel sur les structures relativement étanches..... | 4 |
| 1.2.2 Composition du procédé..... | 4 |
| 1.2.3 Caractéristiques géométriques du joint compressible CTS 33/16 | 5 |
| 1.3 Domaines d'emploi – Limites et précautions d'emplois | 6 |
| 1.3.1 Domaine d'emploi..... | 6 |
| 1.3.2 Exigence du béton support | 9 |
| 1.4 Dispositions prises par l'entreprise pour assurer la qualité de fabrication..... | 10 |
| 1.4.1 Réception de la matière première | 10 |
| 1.4.2 Processus de fabrication | 10 |
| 1.4.3 Contrôle des produits en production | 10 |
| 1.4.4 Contrôle des produits en laboratoire | 11 |
| 1.4.5 Contrôle des cadres de joint | 11 |
| 1.5 Conditions particulières de transport, de stockage et de mise en œuvre du joint CTS 33/16 | 11 |
| 1.5.1 Transport et stockage | 11 |
| 1.5.2 Conditions particulières lors de la mise en œuvre..... | 11 |
| 1.5.3 Principe de mise en œuvre des joints collés sur les voussoirs | 11 |
| 1.5.4 Principe de mise en œuvre des joints ancrés sur les voussoirs | 12 |
| 1.6 Opérations après pose du joint d'étanchéité | 13 |
| 1.6.1 Précautions à prendre | 13 |
| 1.6.2 Réparation des joints d'étanchéité (avant l'assemblage des voussoirs) | 14 |
| 1.7 Prise en compte des exigences essentielles | 14 |
| 1.8 Références | 14 |
| CHAPITRE 2 - ESSAIS DE CARACTÉRISATION..... | 15 |
| 2.1 Éléments de caractérisation du procédé CTS 33/16 collé | 15 |
| 2.2 Éléments de caractérisation du procédé CTS 33/16 ancré | 15 |
| 2.3 Essais pour l'évaluation de l'aptitude à l'usage | 16 |
| CHAPITRE 3 - AVIS DE LA COMMISSION | 19 |
| 3.1 Exigences générales du procédé | 19 |
| 3.2 Géométrie du joint | 19 |
| 3.3 Exigence du matériau | 19 |
| 3.4 Caractéristique du profilé - Performance..... | 19 |
| 3.5 Exigence à la mise en œuvre..... | 20 |

| | | |
|-----|---|----|
| 3.6 | Caractéristiques liées à la durabilité..... | 20 |
| 3.7 | Conclusions | 21 |
| 3.8 | Retours d'expérience | 21 |

CHAPITRE 1 - IDENTIFICATION DU PROCEDE

1.1 Renseignements commerciaux

Le procédé « **CTS 33/16** » est commercialisé par la société :

CTS Cordes tubes & seals GmbH & Co.KG

Im Südfeld 3

48308 Senden

Germany

Téléphone : +49 2536 9939 0

Internet : www.cordes.de

Les produits entrant dans la composition du procédé CTS 33/16 sont fabriqués dans l'usine BGT (Boizenburg Gummitechnik GmbH situé à Boizenburg près de Hambourg (Allemagne). Cette installation de production est certifiée ISO 9001 et possède un plan d'assurance qualité.

1.2 Définition, constitution et composition du procédé

1.2.1 Rappel sur les structures relativement étanches

L'étanchéité des tunnels forés mécaniquement avec revêtement en voussoirs préfabriqués en béton armé est assurée par :

- Le voussoir lui-même pour lesquels il est important de limiter les possibilités de fissuration liée à des sollicitations temporaires (chocs thermiques, chocs accidentels lors de la manutention, poussée des vérins du tunnelier, injection du produit de bourrage, ...) ou définitives (fissuration liée aux sollicitations conjuguées de la nappe, du sol, des charges et surcharges internes, au vieillissement de l'ouvrage, ...). La formulation du béton armé constituant les voussoirs et leurs conditions de préfabrication doivent permettre de réduire le risque de dégradation.
- Les joints d'étanchéité entre voussoirs.
- Les inserts de contacts entre voussoirs et les dispositifs d'alignement qui doivent assurer la compression des joints et limiter le désaffleurement entre voussoirs.

Compte tenu des défauts possibles, le fascicule 67 titre III considère ces structures comme relativement étanches.

1.2.2 Composition du procédé

Le procédé **CTS 33/16** appartient à la famille d'étanchéité des joints compressibles de voussoirs en béton armé (armatures et/ou fibres) telle qu'elle est définie dans le fascicule 67, titre III du CCTG (version 2017). Ce procédé est décliné en deux versions, collée ou ancrée.

Il comprend :

Tableau 1 – Composition du procédé CTS 33/16

| Produits et systèmes entrants dans la composition du procédé | Évalués par le présent AT CETU | Non évalués par le présent AT CETU |
|--|--------------------------------|------------------------------------|
| <p>Joint compressible CTS 33/16 : Le procédé CTS 33/16 est un joint préformé en EPDM (éthylène propylène diène monomère).</p> <p>L'étanchéité entre voussoirs est assurée par compression des joints annulaires et longitudinaux entrant en contact entre eux et est maintenue pendant toute la vie de l'ouvrage. Les joints EPDM sont identiques sur les parties annulaires et longitudinales.</p> <p>Le joint est ainsi intégré sur tout le périmètre de chaque voussoir. Suivant sa version, le joint élastomère peut être <u>collé</u> dans la réservation sur le voussoir prévue à cet effet ou <u>ancré</u> dans le moule de voussoir avant la mise en œuvre de la cage d'armatures et le coulage du béton.</p> | X | |
| <p>Colle CTS TECO BOND 3PLUS : Dans sa version collée, le joint CTS 33/16 est fixé dans la gorge du voussoir béton à l'aide de la colle spécifique CTS TECO BOND 3PLUS.</p> | | X |

1.2.3 Caractéristiques géométriques du joint compressible CTS 33/16

Le joint CTS 33/16 est fabriqué sous forme de cadre avec des angles vulcanisés. Chaque cadre en EPDM doit être adapté aux dimensions propres du voussoir. Grâce à sa géométrie et à sa structure interne particulière, le joint assure l'étanchéité relative de l'ouvrage et réduit les efforts appliqués sur le béton résultant de la compression du joint.

- Dimensions du joint CTS 33/16 collé :

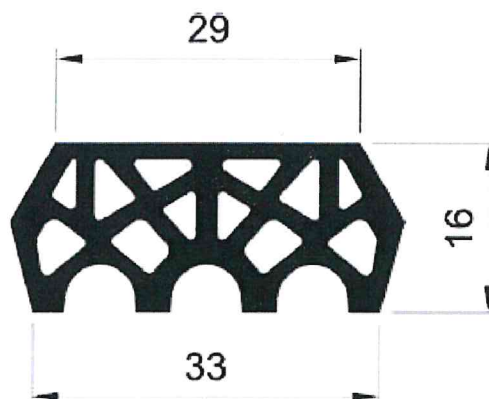


Figure 1 – Dimensions du joint collé

| | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Largeur de contact | 29 mm |
| Largeur en fond de gorge | 33 mm |
| Hauteur du joint (avant compression) | 16 mm |
| Section compressible du profil | 326,6 mm ² |

- Dimensions et géométrie du joint CTS 33/16 ancré :

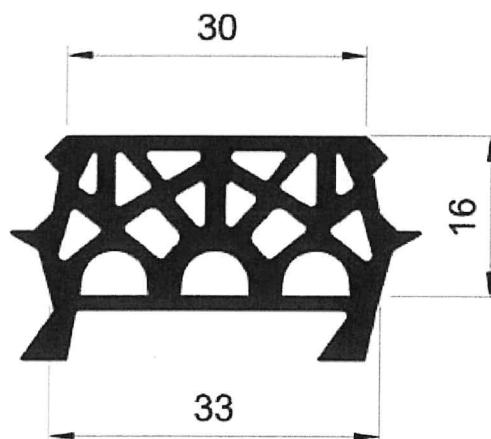


Figure 2 – Dimensions du joint ancré

| | |
|------------------------------------|-----------------------|
| Largeur de contact | 30 mm |
| Largeur en fond de gorge | 33 mm |
| Hauteur de profil | 16 mm |
| Section complète du profil | 416,5 mm ² |
| Section compressible du profil | 331,8 mm ² |
| Section non compressible du profil | 84,7 mm ² |

- Différences entre les versions collées et ancrées :

L'âme compressible du joint peut être considérée comme quasiment identique entre les versions ancrées et collées.

En revanche, dans la version ancrée :

- L'empattement d'ancrage dans le béton permet une bonne résistance à la déchirure pendant la pose des voussoirs.
- La partie inférieure du joint possède un fond plat (d'épaisseur 1.5 mm) afin que le béton frais du voussoir ne remplisse pas les cavités inférieures. Cette partie participe peu en termes de déformation du joint, mais peut avoir une légère influence sur certains essais (raideur totale légèrement différente).
- Les deux excroissances de matière situées sur le haut du joint (entourées en vert sur le schéma ci-dessus) servent à maintenir le joint en place lors du moulage du voussoir.

1.3 Domaines d'emploi – Limites et précautions d'emplois

1.3.1 Domaine d'emploi

Le procédé **CTS 33/16** concerne l'étanchéité des joints entre voussoirs en béton armé, dans les tunnels neufs forés mécaniquement au tunnelier (avec ou sans pression d'eau).

Le procédé **CTS 33/16** permet d'étancher les joints de voussoirs vis-à-vis des eaux de ruissellement ou d'une nappe phréatique.

L'étanchéité relative est assurée par le contact de 2 joints entre eux. Elle est optimum lorsque les voussoirs sont parfaitement alignés. Dans le cas contraire, la hauteur d'eau admissible décroît avec l'écartement (ou ouverture ou gap) et avec le décalage (ou désaffleurement ou offset) possibles des 2 faces de voussoirs.

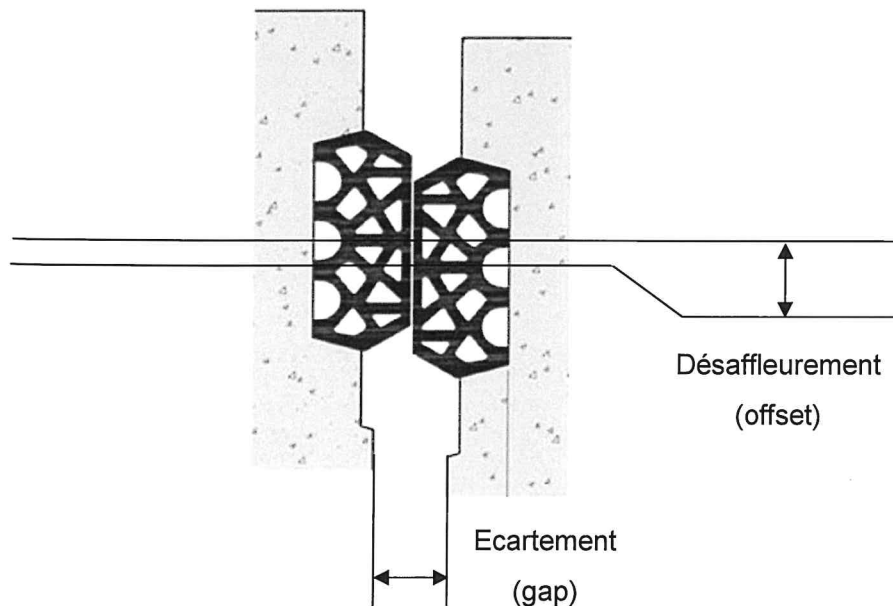


Figure 3 – Définition gap / offset

Pour connaître la hauteur d'eau admissible, conformément aux recommandations STUVA (« équivalent » allemand de l'AFTES), deux essais d'étanchéité par joint sont effectués et le résultat le plus discriminant est retenu (cf §3.4). Les graphiques obtenus représentent le comportement du joint sous différentes pressions hydrostatiques, dans des configurations de joints non parfaitement alignés ni parfaitement comprimés et pendant un temps donné (jusqu'à 20 heures).

A noter : Les pressions obtenues lors de cet essai ne peuvent pas être considérées comme les pressions de service. Ces dernières sont obtenues par l'application d'un facteur de sécurité de 2 sur les valeurs présentées dans les diagrammes d'essai.

Pour le joint **CTS 33/16** collé, les pressions hydrostatiques obtenues lors des essais d'étanchéité sont représentées dans le graphique suivant :

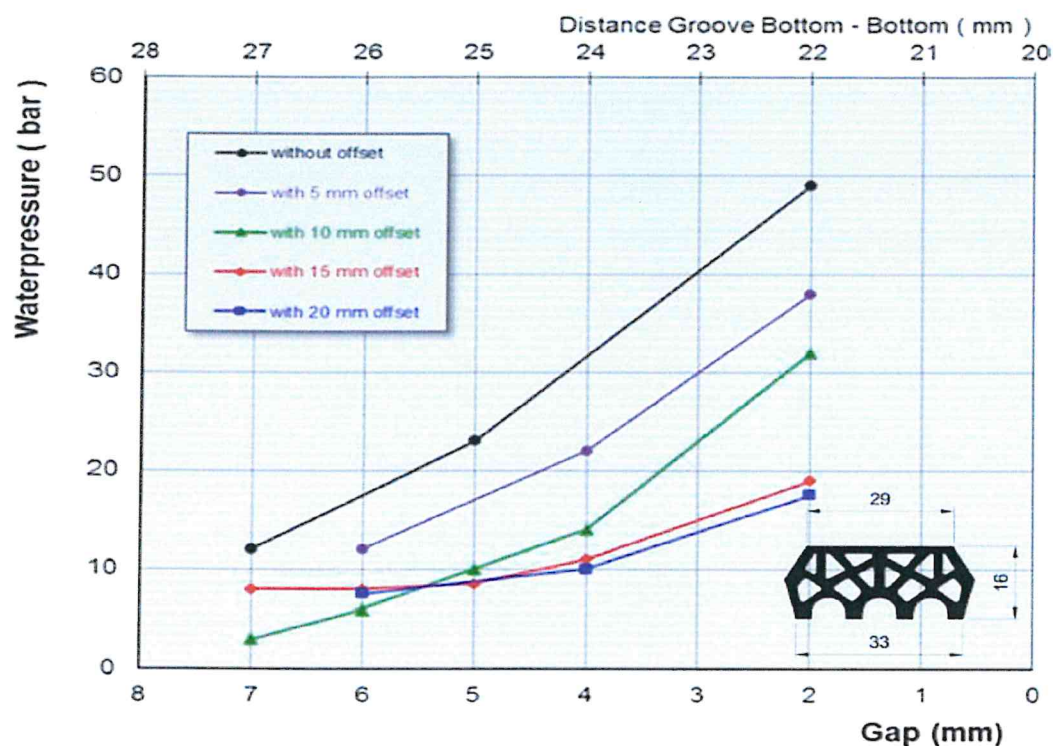


Figure 4 - Courbes Pression/ouverture du CTS 33-16 collé

Le tableau ci-dessous illustre ainsi les configurations d'essai (les plus discriminantes en termes de gap) auxquelles le joint assure l'étanchéité.

Tableau 2 – Pressions d'eau admissibles pour le joint collée

| Décalage entre voussoirs (offset) (en mm) | Ouverture entre voussoirs (gap) (en mm) | Pression hydrostatique maximum (en m d'eau) |
|--|--|--|
| 0 | 7 | 117 |
| 5 | 6 | 117 |
| 10 | 7 | 39 |
| 15 | 7 | 78 |
| 20 | 6 | 78 |

Pour le joint **CTS 33/16** collé, les pressions hydrostatiques obtenues lors des essais d'étanchéité sont représentées dans le graphique suivant :

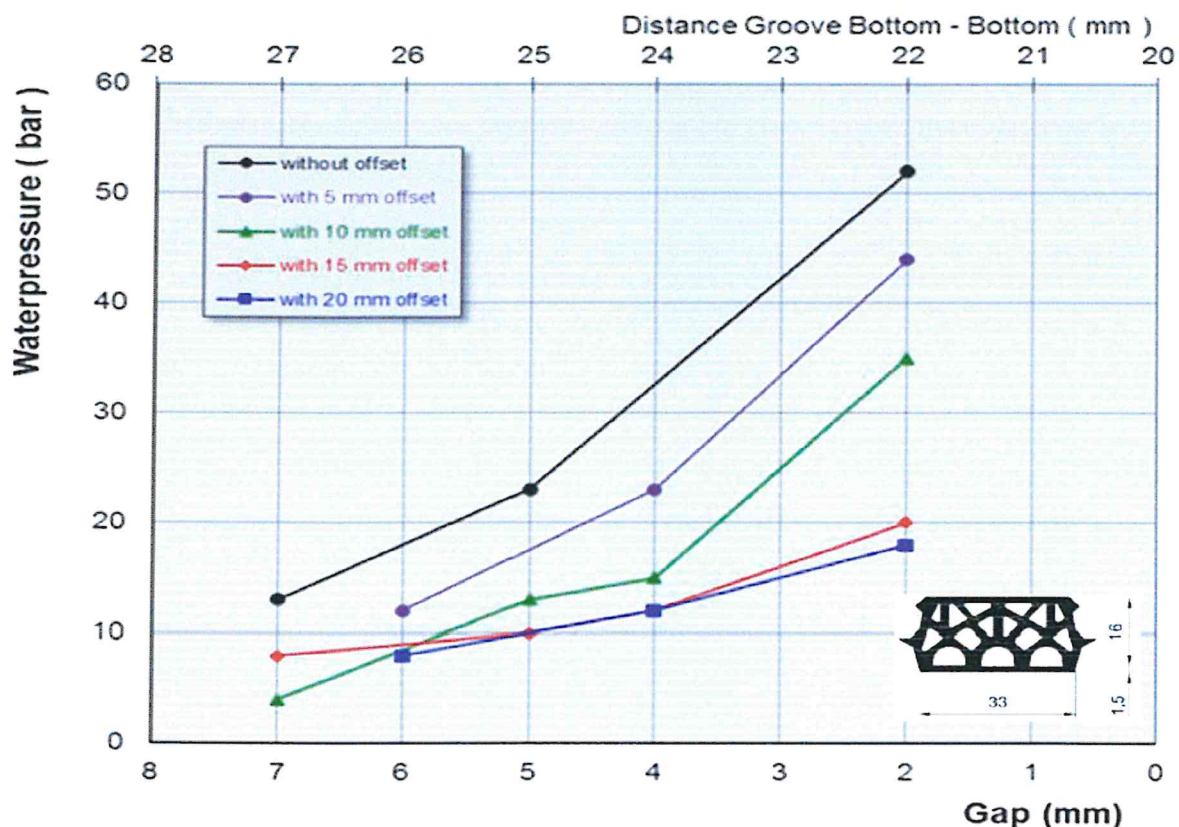


Figure 5 - Courbes Pression / Ouverture du CTS 33-16 ancrée

Le tableau ci-dessous illustre ainsi les configurations d'essai (les plus discriminantes en termes de gap) auxquelles le joint assure l'étanchéité.

Tableau 3 – Pressions d'eau admissibles pour le joint ancrée

| Décalage entre voussoirs (offset) max (en mm) | Ouverture entre voussoirs (gap) max (en mm) | Pression hydrostatique maximum (en m d'eau) |
|--|--|--|
| 0 | 7 | 127 |
| 5 | 6 | 117 |
| 10 | 7 | 39 |
| 15 | 7 | 78 |
| 20 | 6 | 78 |

Pour rappel $H_{eau} = 10 \cdot P$ avec H en mètre, P en bar.

1.3.2 Exigence du béton support

Le béton utilisé pour la réalisation de voussoirs doit satisfaire simultanément à des critères spécifiques liés à la maniabilité (ouvrabilité), la résistance et la durabilité. Sa formulation doit suivre les recommandations de la norme NF EN 206/CN pour une durée d'utilisation de 50 ans, complétée du fascicule 65A pour les ouvrages de durée d'utilisation de 100 ans.

En version ancrée, le joint CTS 33/16 est directement posé dans les moules de voussoir.

En version collé, le joint **CTS 33/16** est fixé sur le béton à l'aide de la colle spécifique **CTS TECO BOND 3PLUS** dans la gorge prévue à cet effet. Pour cela, le support devra être préparé. La gorge doit être sèche et sans poussière ou résidu de graisse ou d'huile. Les défauts de plus de 3 mm (trou d'air ou retrait) doivent être repris avec un mortier et suffisamment curé avant de commencer le collage. La classe de mortier doit être celle exigée par le fabricant de voussoirs et doit être dans tous les cas de classe R3 minimum.

1.4 Dispositions prises par l'entreprise pour assurer la qualité de fabrication

Sur tous les sites de production, le groupe CORDES a mis en place un Système de Management de la Qualité (SMQ) permettant une autosurveillance de la production et un contrôle des produits finis afin de répondre aux exigences de performance du procédé. Ce SMQ intègre le développement, la production et la distribution de profilés élastomères. L'entreprise CORDES est certifiée ISO 9001 par l'organisme DQS (certificat 058054 QM15 délivré le 3 Avril 2024).

Les différents processus de contrôles à chacune des étapes de fabrication du joint sont :

1. Contrôle de la matière première (approvisionnement, stockage)
2. Contrôle de fabrication du joint (extrusion, vulcanisation)
3. Contrôle de la découpe linéaire
4. Contrôle lors de la production des cadres (qualité des angles)

A noter : La visite d'usine effectuée le 15/01/2020 par les rapporteurs de la commission AT CETU a permis de constater le respect des éléments du SMQ et notamment les points suivants.

1.4.1 Réception de la matière première

L'EPDM brut est livré et stocké à l'usine de Boizenburg. Il est réceptionné en accord avec le plan de contrôle qualité (certificat, fiche d'identification des lots...) puis est intégré au stock après validation.

1.4.2 Processus de fabrication

A partir du composé brut, le profilé est obtenu par extrusion. La hauteur du joint, non encore vulcanisé à ce stade, est mesurée en continue par un capteur sans contact (profilomètre laser). Cette valeur est comparée à la valeur cible et en cas de déviation au-delà des tolérances admises, une alarme prévient l'opérateur.

Le procédé de fabrication HDP (High Dosing Precision) permet sur les presses à vulcanisation d'optimiser la quantité de matière injectée sans réduire la résistance du joint, notamment au niveau des angles.

1.4.3 Contrôle des produits en production

Les joints finis sont directement identifiables par une référence imprimée sur le profilé. Ils sont enroulés puis stockés en pile. Chaque pile est également identifiée pour la traçabilité. Une pile correspond à la fréquence de vérification du procédé fini. Le linéaire d'un joint enroulé en pile est d'environ 1000 m. Au début et à la fin d'une pile, des profils sont prélevés afin d'effectuer des contrôles qualité.

Les dimensions géométriques qui ont une incidence directe sur les performances du joint sont vérifiées par un opérateur à l'aide d'un pied à coulisse numérique. Elles sont également vérifiées par rétroprojection et comparées aux plans au 1 / 10.

La dureté du joint est aussi mesurée et consignée. Enfin le poids du prélèvement est également vérifié au début de chaque production et comparé aux valeurs cibles.

Si une valeur n'est pas dans les tolérances admises, la pile est retirée.

Tous ces éléments sont consignés dans le document « Quality Test Record » et conservé pendant au moins 10 ans.

A noter : Les appareils de mesures sont vérifiés périodiquement tous les ans conformément aux procédures d'étalonnage.

1.4.4 Contrôle des produits en laboratoire

Sur chaque lot de production, environ 20 cm de produit fini sont prélevés et testés en laboratoire. Les dimensions sont à nouveau vérifiées ainsi que les propriétés physiques et mécaniques (dureté, résistance, élongation, compression...). Des mesures de vieillissement sont éventuellement réalisés suivant les normes NF ISO 188.

Si tous les essais sont dans les tolérances admises, le profil est validé.

1.4.5 Contrôle des cadres de joint

Une fois les dimensions des voussoirs spécifiées par projet, les joints sont assemblés sous forme de cadre et soudés aux angles. Ces derniers sont vérifiés tous les 10 cadres réalisés à l'aide de cadres étalons spécialement fabriqués en fonction des dimensions des voussoirs.

1.5 Conditions particulières de transport, de stockage et de mise en œuvre du joint CTS 33/16

1.5.1 Transport et stockage

Les cadres de joint sont livrés dans des colis qui différencie leur type (notamment pour les différents cadres allant sur les différents voussoirs d'un anneau). Le type de joint/cadre est clairement identifié sur l'emballage. Si les joints EPDM ne sont pas sensible aux UV et aux effets climatiques, il est cependant recommandé de les protéger des contaminants (poussières, graisse...) et de les stocker dans un lieu tempéré.

Pour les produits de collage, les recommandations du fabricant du produit devront être respectée. Le stockage de la colle doit se faire dans un local avec une température comprise entre +10°C et +25°C et protégée du soleil. La colle doit être utilisée dans la limite de sa DLU.

1.5.2 Conditions particulières lors de la mise en œuvre

A la mise en œuvre, les joints devront être sans pliure particulière liée au stockage. Il est conseillé de suspendre les cadres dans un local chauffé au minimum pendant 24h afin qu'ils puissent reprendre leur forme initiale. Plus le temps est long et la température élevée et mieux les joints se détendent.

1.5.3 Principe de mise en œuvre des joints collés sur les voussoirs

Il existe deux méthodes de collage des cadres de joint aux voussoirs :

- Soit par encollage au pinceau sur les deux parties, joint et gorge (surtout les flancs) ;
- Soit par projection de colle uniquement sur les gorges.

L'adhésif **CTS TECO-BOND-3PLUS** doit permettre de maintenir le joint en place dans les différentes étapes de mise en place du voussoir, allant du stockage, au transport et à sa mise en place définitive dans les érecteurs de voussoirs. Si le béton des voussoirs doit être repris avec du mortier (présence de nid de cailloux, de vide ou tout autre défaut devant être repris) les temps de séchage du produit de réparation devront être respectés.

Conseil : Avant de commencer l'application de la colle il est important de se familiariser avec les différents types de voussoirs et de cadre de joint correspondant afin d'éviter toute erreur.

La mise en œuvre par collage au pinceau est décrite dans le document « Brush on Method ».

La mise en œuvre par projection à l'aide d'un compresseur est décrite dans le document « Spray on Method ».

1.5.4 Principe de mise en œuvre des joints ancrés sur les voussoirs

Le joint doit être inséré dans le moule de préfabrication des voussoirs avec les empattements d'ancrage dirigés vers l'intérieur du voussoir. Un agent démouleur doit être utilisé côté moule avec une application aussi fine que possible. Il faut veiller à ce que ce dernier ne s'écoule pas en dehors des gorges.



Figure 6 : Insertion du joint dans le moule - (B) Empattement d'ancrage, (C) Lèvre médiane du joint

L'installation des cadres de joint se fait en commençant par les angles. L'insertion peut être faite avec un maillet en caoutchouc et l'accessoire d'insertion en angle spécifique (TECO Corner Fix). Ensuite le joint est inséré au milieu de chaque section et ainsi de suite afin de bien répartir le linéaire de joint. La séquence est illustrée par le schéma suivant :

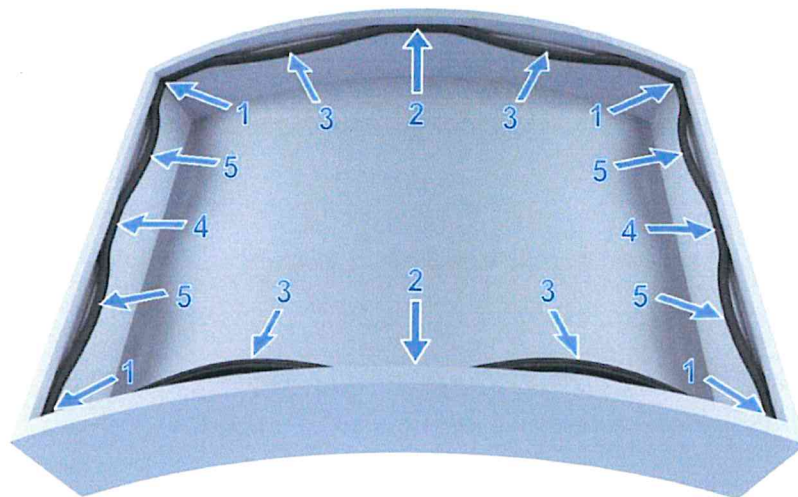


Figure 7 - Séquence pour clipser le joint sur les moules de voussoirs

A noter : Un miroir peut être utilisé afin de vérifier que la lèvre médiane du joint est bien affleurante au moule.

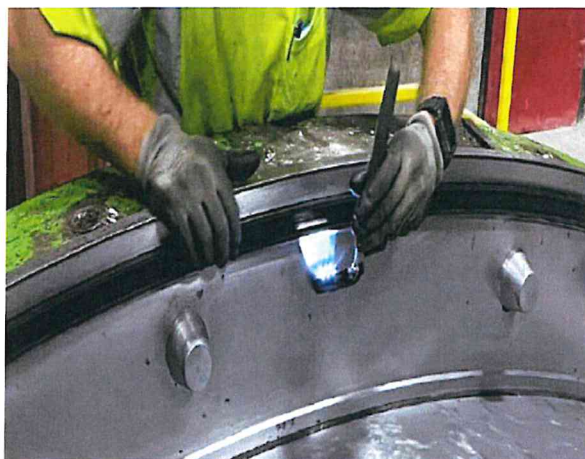


Figure 8 : Utilisation d'un miroir pour vérifier le bon positionnement du joint

La procédure complète de mise en œuvre est indiquée dans le document « Installation Instruction for Anchored Segment Sealing Gaskets ».

1.6 Opérations après pose du joint d'étanchéité

1.6.1 Précautions à prendre

Dans la phase de manutention des voussoirs, il est primordial d'éviter tout contact avec le joint afin d'éviter un endommagement.

Pendant l'assemblage des voussoirs dans le tunnel, afin de faciliter le contact joint / joint entre les différents voussoirs, les frottements peuvent être réduits grâce à l'utilisation d'agent lubrifiant adapté. L'utilisation de graisse organique n'est pas autorisée.

1.6.2 Réparation des joints d'étanchéité (avant l'assemblage des voussoirs)

Lorsque les joints sont collés, ils sont réparés en cas de défauts constatés. Le cadre complet est alors remplacé.

Dans le cas des joints ancrés, ils peuvent être remplacés intégralement (cadre complet) ou localement.

Ces procédures sont décrites dans les documents suivants :

- Instruction for the repair of a damaged CTS Anchored Gasket
- Remplacement of a damaged CTS Anchored Gasket Frame

1.7 Prise en compte des exigences essentielles

Le procédé **CTS 33/16** satisfait pendant toute sa durée de vie aux exigences du règlement UE N°305/2011 du 09/03/2011 établissant des conditions harmonisées de commercialisation des produits de construction.

Les exigences relatives à la stabilité mécanique et à la durabilité sont prises en compte au chapitre 2 du présent Avis Technique.

En l'état actuel de nos connaissances et à la date de rédaction du présent avis, les constituants du procédé ne portent pas préjudice à l'hygiène et l'environnement dans les conditions d'utilisation respectant les fiches de données de sécurité.

1.8 Références

Depuis sa création en 2016, environ **1 943 000 ml** de joint ont été utilisés à travers le monde dans des ouvrages souterrains (tous usages) avec le procédé **CTS 33/16**.

CHAPITRE 2 - ESSAIS DE CARACTÉRISATION

2.1 Éléments de caractérisation du procédé CTS 33/16 collé

Tableau 4 - Caractéristiques d'identification des produits

| Caractéristiques | | Unité | Norme | VNAP* avec [Plage de tolérance admise]** | PV *** |
|------------------|---|---------|----------------------------|--|--------|
| Géométrie | Largeur totale du profil | mm | NF ISO 3302-1 catégorie E2 | 37.6 [-0.8 ; +0.8] | 37.15 |
| | Epaisseur minimale | | | 16 [-0.5 ; +0.5] | 16.2 |
| Matière | Dureté nominale | Shore A | NF ISO 48 | [65 ; 75] | 68 |
| | Résistance à la traction | MPa | NF ISO 37 | >9 | 9.7 |
| | Allongement à la rupture | % | NF ISO 37 | >200 | 390 |
| | Altération après vieillissement dans l'air | | NF ISO 188 | | |
| | • Variation de dureté maximum | Shore A | NF ISO 48 | [-5 ; +8] | 2 |
| | • Variation de résistance à la traction maximum | MPa | NF ISO 37 | [-20 ; +10] | 7.1 |
| | • Variation allongement rupture maximum | % | NF ISO 37 | [-30 ; +10] | -14 |

*VNAP : Valeur Nominale Annoncée par le Producteur

** Plage de tolérance admise : Plage annoncée par le Producteur, éventuellement corrigée par les spécifications du référentiel « Enduit mince »

*** PV : Procès-Verbal d'essais réalisés par un laboratoire extérieur ou réalisé en interne sous supervision d'un laboratoire extérieur (cf. § 2.3).

2.2 Éléments de caractérisation du procédé CTS 33/16 ancré

Tableau 5 - Caractéristiques d'identification des produits

| Caractéristiques | | Unité | Norme | VNAP* avec [Plage de tolérance admise]** | PV *** |
|------------------|--------------------|---------|----------------------------|--|--------|
| Géométrie | Largeur en tête | mm | NF ISO 3302-1 catégorie E2 | 34.4 [-0.8 ; +0.8] | 34.8 |
| | Epaisseur minimale | | | 17.5 [-0.5 ; +0.5] | 17.75 |
| Matière | Dureté nominale | Shore A | NF ISO 48 | [66 ; 75] | 69 |

| | | | | | |
|--|---|---------|------------|-------------|-----|
| | Résistance à la traction | MPa | NF ISO 37 | >9 | 9.9 |
| | Allongement à la rupture | % | NF ISO 37 | >200 | 345 |
| | Altération après vieillissement dans l'air | | NF ISO 188 | | |
| | • Variation de dureté maximum | Shore A | NF ISO 48 | [-5 ; +8] | 4 |
| | • Variation de résistance à la traction maximum | MPa | NF ISO 37 | [-20 ; +10] | 7.6 |
| | • Variation allongement rupture maximum | % | NF ISO 37 | [-30 ; +10] | -15 |

*VNAP : Valeur Nominale Annoncée par le Producteur

** Plage de tolérance admise : Plage annoncée par le Producteur, éventuellement corrigée par les spécifications du référentiel « Enduit mince »

*** PV : Procès-Verbal d'essais réalisés par un laboratoire extérieur ou réalisé en interne sous supervision d'un laboratoire extérieur (cf. § 2.3).

2.3 Essais pour l'évaluation de l'aptitude à l'usage

Pour cette évaluation, la société CORDES a réalisé ou fait réaliser les essais conformément aux exigences du fascicule 67 titre III du CCTG et du guide d'instruction des demandes d'Avis Technique CETU. À la demande de la Commission, les essais ont été effectués selon les normes d'essais et conditions définies dans le référentiel des spécifications des matériaux pour un procédé d'étanchéité de **joints compressibles de voussoirs** (référentiel version n°12 du 03/12/2020). Or, par anticipation de la révision de ce référentiel (en cours), certaines caractéristiques et essais correspondants ont été modifiées. Ces dérogations apparaissent en bleu dans le tableau 4 suivant :

Tableau 6 - Récapitulatif des essais réalisés relatifs au procédé CTS 33/16

| Caractéristiques | Méthodes d'essais | Références du rapport d'essai | Date du rapport d'essai |
|---|-------------------------------|---|-------------------------|
| Caractéristiques géométriques | | | |
| Largeur minimale | NF ISO 3302-1 Tolérance E2 | Collé : Dessin du profil CTS_33_16_92069.pdf | 07/04/2017 |
| | | Ancré : Dessin du profil CTS_33_16_93051.pdf | |
| Epaisseur minimale | NF ISO 3302-1 Tolérance E2 | Collé : Dessin du profil CTS_33_16_92069.pdf | 07/04/2017 |
| | | Ancré : Dessin du profil CTS_33_16_93051.pdf | |
| Caractéristiques du matériau EPDM | | | |
| Dureté nominale | NF ISO 48 | Rapport_CTR_210617-2_210617.pdf | 17/06/2021 |
| Résistance à la traction | NF ISO 37 | Rapport_CTR_210617-2_210617.pdf | 17/06/2021 |
| Allongement à rupture | NF ISO 37 | Rapport_CTR_210617-2_210617.pdf | 17/06/2021 |
| Déformation rémanente après compression | NF ISO 815-1 | | |

| Caractéristiques | Méthodes d'essais | Références du rapport d'essai | Date du rapport d'essai |
|---|------------------------------------|--|-------------------------|
| • ≤20% (72h/23°C) | | Rapport_BGT_250328.pdf | 15/05/2025 |
| • ≤25% (24h/70°C) | | Rapport_CTR_210617-2_210617.pdf | 17/06/2021 |
| Résistance à l'ozone | NF ISO 1431-1 | Rapport_CTR_210617-2_210617.pdf | 17/06/2021 |
| Altération après vieillissement dans l'air | NF ISO 188 | | |
| • Variation de dureté maximum | NF ISO 48 | Rapport_CTR_210617-2_210617.pdf | 17/06/2021 |
| • Variation de résistance à la traction maximale | NF ISO 37 | Rapport_CTR_210617-2_210617.pdf | 17/06/2021 |
| • Variation allongement rupture maximum | NF ISO 37 | Rapport_CTR_210617-2_210617.pdf | 17/06/2021 |
| Performance du profilé | | | |
| Force de réaction à l'écrasement | Recommandation STUVA Table 2 n°6.1 | Collé : Rapport_CTS_MPA_92069_05_2018.pdf | 28/05/2018 |
| | | Ancré : Rapports_MPA_234795_234796.pdf | 24/07/2023 |
| Force de réaction à l'écrasement après vieillissement – Essai jugé non pertinent car non représentatif de la réalité des contraintes | Recommandation STUVA Table 2 n°6.1 | - | |
| Etanchéité sous contraintes normales | Recommandation STUVA Table 2 n°9 | Collé : Rapports_MPA_STUVA_Diagram.pdf | 11/2016 |
| | | Ancré : Rapports_33_16_anc_MPA_STUVA_Diagram.pdf | 20/01/2023 |
| Etanchéité sous contrainte de température plus élevée (essai optionnel) | Recommandation STUVA Table 2 n°9 | Optionnel à la date de la demande | |
| Mise en œuvre | | | |
| Adhérence au support (uniquement pour la version collée du joint) | NF ISO 813 | Essai_ISO_813.pdf | 16/09/2025 |
| Caractéristiques liées à la durabilité | | | |
| Etanchéité après vieillissement (100 jours à 110°C et/ou 35 jours à 130°C) – Essai actuellement informatif pour juger de sa pertinence). | Recommandation STUVA Table 2 n°9 | Essai_CTS_33_16_vieilli.pdf | 21/05/2025 |
| Relaxation | NF ISO 3384-1 | Collé : Rapport de test laboratoire MPA numéro 180754 mai 2018 CTS_33_16_92069 | 20/03/2018 |
| | | Ancré : Rapport de test laboratoire MPA n°234793 du 07 02 2024 CTS_33_16_93051 | 07/02/2024 |
| Résistance aux eaux acides et basiques (essai optionnel) | NF ISO 1817 | Rapport de test interne n°5596 de mai 2025 CTS_33_16_92069.pdf | 15/05/2025 |

| Caractéristiques | Méthodes d'essais | Références du rapport d'essai | Date du rapport d'essai |
|--|--|-------------------------------|-------------------------|
| Caractéristiques d'identification pour contrôles sur chantier (écarts admissibles sur VNAP) | | | |
| Géométrie du joint : <ul style="list-style-type: none"> • Largeur minimale de contact • Hauteur minimale (hors empâtement) | NF ISO 3302-1 Tolérance : classe E2 | Collé : Rapport 5599.pdf | 04/2025 |
| | | Ancré : Rapport 5561.pdf | 04/2025 |
| Performance du matériau : <ul style="list-style-type: none"> • Dureté nominale Shore/DIDC • Résistance à la traction • Allongement à la rupture | NF ISO 48 NF ISO 37 NF ISO 37 | Collé : Rapport 5599.pdf | 04/2025 |
| | | Ancré : Rapport 5561.pdf | 04/2025 |
| Performance du matériau : Altération après vieillissement dans l'air : <ul style="list-style-type: none"> • Variation de dureté nominale Shore/DIDC • Variation de la résistance à la traction • Variation d'allongement à la rupture | NF ISO 48 NF ISO 37 NF ISO 37 | Collé : Rapport 5599.pdf | 04/2025 |
| | | Ancré : Rapport 5561.pdf | 04/2025 |

Le Directeur de la Société demanderesse soussigné ou son représentant autorisé **atteste l'exactitude des renseignements fournis dans les chapitres 1 et 2 du présent avis.**

Logo - Date et Signature

CTS Cordes tubes & seals
GmbH & Co. KG
In der Gasse 3
D-46308 Seelzer-Bosensell
☎ (02536) 9939-0 - Fax (02536) 993920

30.01.2026

CHAPITRE 3 - AVIS DE LA COMMISSION

Le procédé présenté dans les chapitres précédents a été examiné par la Commission "Étanchéité des ouvrages souterrains" comprenant des représentants des Maîtres d'Ouvrage et Maîtres d'Œuvre, des Laboratoires, du CETU et de la Profession. Ils représentent les organismes et les syndicats suivants : AFAG, AFPGA, AFTES, ANEPE, APRODEG, APSEL, CEREMA, CSFE, CETU, EDF, OFFICE DES ASPHALTES, RATP, SFEC, SIAAP, SNCF, SN FORES, SNMI, SYNTEC et SYSTRA.

3.1 Exigences générales du procédé

Documents de références : fascicule 67 titre III du CCTG, guide pour l'instruction d'une demande d'avis technique et dossier technique à l'appui de la demande d'avis.

Nota : l'appréciation est faite dans un contexte d'utilisation en France Métropolitaine. Pour un usage dans d'autres contextes (DROM-COM par ex) : consulter le Secrétariat.

3.2 Géométrie du joint

Le joint **CTS 33/16** ancré doit avoir une épaisseur minimale de 17,5 (+/- 0,5) mm (hors empattements d'ancrage) et une largeur minimale de 41,2 (+/- 0,8 mm).

Le joint **CTS 33/16** collé doit avoir une épaisseur minimale de 16 (+/- 0,5) mm et une largeur minimale de 37,6 (+/- 0,8 mm)

Ces dimensions sont vérifiées à l'aide d'une machine à mesure sans contact (scanner).

Les dimensions des joints sont supérieures aux valeurs minimales demandées.

3.3 Exigence du matériau

Le matériau EPDM utilisé pour la fabrication des joints doit satisfaire à différents essais de dureté, de résistance à la traction et d'allongement à la rupture. Les essais relatifs à ces grandeurs donnent des valeurs conformes aux valeurs attendues par les exigences du référentiel.

Les essais de déformations rémanentes après compression pendant 72h à 23°C et pendant 24h à 70°C sont conformes aux exigences.

Le test de résistance à l'ozone ne décèle aucune craquelure visible à l'œil nu.

Les variations lors des essais de dureté, de résistance à la traction et d'allongement à la rupture après vieillissement de 7 jours à 70°C sont conformes aux exigences du référentiel.

3.4 Caractéristique du profilé - Performance

Force de réaction à l'écrasement :

L'évaluation du comportement en charge du joint est primordiale pour la conception et l'assemblage des voussoirs car les profilés doivent intentionnellement être comprimés jusqu'à la distance minimale en fond de gorge. L'évaluation de l'effort de compression permet de dimensionner la résistance des systèmes de liaisons.

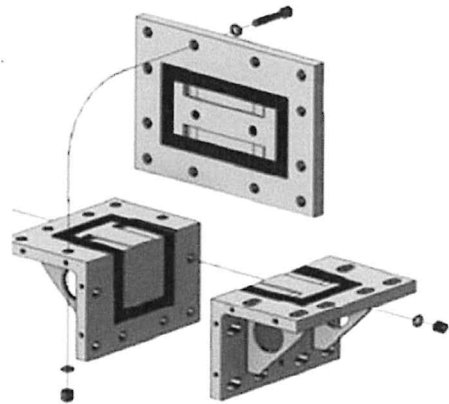
La méthode d'essai STUVA table 2 n°6a permet de mesurer la force de réaction à l'écrasement avant vieillissement du procédé **CTS 33/16**. Cette valeur est intrinsèque au procédé et n'a pas de valeur cible à atteindre (60kN/m).

Etanchéité :

Comme indiqué au §1.3, la méthode d'essai n°9 du tableau 2 du guide STUVA permet de mesurer les pressions hydrostatiques admissibles du joint CTS 33/16 sous contraintes normales. Les valeurs obtenues sont intrinsèques au procédé et il n'y a pas de valeur cible à atteindre.

Pour rappel, cet essai est réalisé à l'aide d'un montage en T matérialisant un calepinage de voussoirs. Le banc d'essai se compose de deux parties en angle droit et d'un couvercle plat dans lequel est monté un cadre de joints. Ainsi 4 angles de joints à 90 ° peuvent être testés. Pour matérialiser l'ouverture, le banc d'essai comporte des cales. Pour matérialiser le décalage, une partie d'angle est décalée.

Le joint **CTS 33/16** a été testé à différentes configurations d'ouverture et de désaffleurement. Les résultats obtenus sont détaillés au §1.3.



Il est à noter que ce même essai a été appliqué à un joint qui avait subi un vieillissement accéléré afin d'évaluer la durabilité du joint. Ces essais n'ont pas permis de mettre en évidence un caractère discriminant puisque les valeurs se sont révélées meilleures après vieillissement.

3.5 Exigence à la mise en œuvre

La mise en œuvre des joints CTS 33/16 ancrés ou collés ne présente pas de difficultés particulières de pose si les recommandations du fabricant sont soigneusement respectées.

3.6 Caractéristiques liées à la durabilité

Etanchéité après vieillissement :

Comme indiqué ci-dessus, la méthode d'essai n°9 du Tableau 2 du Guide STUVA permet de mesurer les pressions hydrostatiques admissibles du joint **CTS 33/16** sous contraintes normales. En complément, la société CORDES a mené un essai sur deux configurations d'espacement avec un joint **CTS 33/16** qui avait subi un vieillissement accéléré (suivant la recommandation AFTES définie dans le TOS n°151).

Cet essai n'a pas permis de mettre en évidence discriminatoire car les valeurs obtenues ont été plus favorables qu'avant le vieillissement.

Relaxation :

La relaxation des contraintes représente la diminution des forces induites par le joint au fil du temps. Les performances d'étanchéité peuvent s'en trouver amoindries.

L'essai de relaxation suivant les exigences du référentiel permet de mesurer la variation d'effort (ou de contraintes) au cours du temps (à 7 jours et 28 jours). Les résultats sont ensuite extrapolés à 100 ans à l'aide d'équations logarithmiques (A noter : Cette durée peut être allongée sur des projets particuliers).

Les résultats de cet essai sur le joint **CTS 33/16** sont conformes aux exigences du référentiel (diminution maximale de l'effort de 50 % à 100 ans).

3.7 Conclusions

L'ensemble des essais d'évaluation indique que le procédé répond aux spécifications fixées par le Fascicule 67 titre III et le guide d'instruction d'une demande d'Avis Technique CETU.

Pour ce procédé appartenant à la famille des joints compressibles (ancrés ou collés) pour voussoirs de tunnels forés, le comportement des joints n'est satisfaisant que lorsque l'alignement avec le joint adjacent est suffisamment proche (en termes d'ouverture et de désaffleurement). Les défauts réduisent drastiquement les performances du procédé, sans que ce dernier ne soit obligatoirement en cause.

3.8 Retours d'expérience

Le retour d'expérience actuel sur le comportement en service de ce type de procédé fait ressortir l'importance de choisir un joint d'étanchéité aux dimensions compatibles avec les défauts d'alignement des voussoirs (gap et offset).

En cas de non-conformité des produits par rapport aux éléments donnés aux chapitres 1 et 2 ou en cas de difficulté à la mise en œuvre, il est demandé au Maître d'œuvre d'en informer le secrétariat de la Commission d'Avis Technique CETU.

Si au cours de l'exploitation d'un ouvrage, l'efficacité du procédé n'était pas jugée satisfaisante, le Maître d'Ouvrage est invité à la signaler au secrétariat de la Commission d'Avis Technique CETU.

Cet avis technique CETU permet aux maîtres d'ouvrages et aux maîtres d'œuvre de disposer d'éléments d'appréciation sur le comportement du procédé et d'informations sur son domaine d'application et ses conditions de mise en œuvre.

Il a été préparé sous la responsabilité d'une commission mise en place par le CETU, associant l'administration et la profession représentée par leurs syndicats. Le secrétariat et la présidence de cette commission sont respectivement assurés par le CETU et la profession.

Le document n'est valable que transmis dans son intégralité.

Cet AT est consultable sur : www.cetu.developpement-durable.gouv.fr

Pour tous renseignements sur le présent AT, contacter :

- Le fabricant signalé au § 1.1 de l'avis
- Le CETU : Responsable de la publication - 25, avenue François Mitterrand - 69500 BRON - Téléphone : 04.72.14.34.00
Mail : cetu@developpement-durable.gouv.fr