



Centre
d'Etudes
des Tunnels

Avis technique

Avis Technique n° 23-06

Validité du : 14/06/2023

au : 14/06/2028

ETANCHEITE D'OUVRAGES SOUTERRAINS

NOM DU PROCEDE : BENTOFIX® CV

ENTREPRISE : NAUE APPLICATIONS



**MINISTÈRE
CHARGÉ
DES TRANSPORTS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

A V I S T E C H N I Q U E

ETANCHEITE D'OUVRAGES SOUTERRAINS

Avis Technique N° 23-06

Validité du : 14/06/2023

au : 14/06/2027

NOM DU PROCEDE : **BENTOFIX® CV**
ENTREPRISE : **NAUE APPLICATIONS**

Le procédé BENTOFIX® CV appartient à la famille des géosynthétiques bentonitiques (GSB).

Il est constitué :

- d'un géosynthétique bentonitique, le BENTOFIX® CV
- de bentonite en poudre pouvant être hydratée pour le traitement des points singuliers
- de joints hydro-expansifs et de profilés pour le renforcement des reprises de bétonnage et des joints de dilatation (non évalué dans le présent avis).

Le BENTOFIX® CV est manufacturé en usine en forme de nappe et est constitué de poudre de bentonite sodique contenue entre deux géotextiles maintenus par aiguilletage. Il comporte sur l'une de ses faces un film en polyoléfine, translucide, d'environ 0,2 mm d'épaisseur, qui est assemblé au géotextile tissé, par enduction lors du processus de fabrication. Le film fait partie intégrante du produit. L'épaisseur moyenne de la nappe est de 6 mm.

La fonction d'étanchéité du géosynthétique bentonitique BENTOFIX® CV n'est acquise qu'après saturation sous contrainte de confinement.

Les fixations mécaniques sont prises en compte dans le présent avis.

Les nappes sont assemblées in situ par simple recouvrement.

Le présent document annule et remplace le précédent avis technique N° 16-002 à compter du 14/06/2023

Ce document ne peut être reproduit, même partiellement, sans le consentement du CETU

Table des matières

CHAPITRE I - FICHE D'IDENTIFICATION.....	4
I.1 - Renseignements commerciaux	4
I.2 - Définition, constitution et composition du procédé	4
I.3 - Domaine d'emploi - Limites et précautions d'emploi.....	6
I.3.1 - Domaine d'emploi.....	6
I.3.2 - Les supports	7
I.4 - Les protections.....	8
I.5 - Mise en œuvre.....	10
I.5.1 - Conditions climatiques.....	10
I.5.2 - Recouvrement vertical et horizontal des lés de GSB	10
I.5.3 - Mise en œuvre sous radier.....	10
I.5.4 - Mise en œuvre en vertical sur soutènement piédroit	13
I.5.5 - Pose sur coffrage.....	14
I.5.6 - Mise en œuvre sur dalle supérieure ou voûte	14
I.5.7 - Dispositions constructives.....	14
I.5.8 - Spécifications des remblais	15
I.6 - Conditions particulières de transport et de stockage.....	15
I.7 - Prise en compte des exigences essentielles.....	15
I.8 - Références	15
I.9 - Dispositions prises par l'entreprise pour assurer la qualité	16
CHAPITRE II - ESSAIS DE CARACTERISATION	17
II.1 - Eléments de caractérisation	17
II.2 - Essais pour l'évaluation de l'aptitude à l'usage	17
CHAPITRE III - AVIS DE LA COMMISSION	19
III.1 - Exigences générales	19
III.1.1 - Propriétés physiques	19
III.1.2 - Propriétés hydrauliques	19
III.1.3 - Propriétés mécaniques	20
III.2 - Exigences liées à la durabilité	21
III.3 - Sécurité - hygiène.....	21
III.4 - Conclusions	21
III.4.1 - Appréciation à l'adaptation du support.....	22
III.4.2 - Appréciation sur le domaine d'emploi.....	22
III.4.3 - Contrôle de la conformité	22
III.4.4 - Mise en œuvre	22
III.4.5 - Aptitude à la réparation	23
III.4.6 - Sécurité Qualité	23
III.4.7 - Retour d'expérience.....	23

CHAPITRE I - FICHE D'IDENTIFICATION

Renseignements fournis par le fabricant.

I.1 - Renseignements commerciaux

Le procédé BENTOFIX® CV est commercialisé par :

NAUE APPLICATIONS S.A.R.L.

950, Route du Stade – Espace CNR

69420 AMPUIS

FRANCE

Tel : 04 74 78 38 10

Fax : 04 74 78 38 14

geosynthetiques@naue.fr

NAUE APPLICATIONS est une filiale du groupe NAUE.

La bentonite est une bentonite de sodium naturelle, issu de gisements situés dans l'état du Wyoming (USA).

Les rouleaux de BENTOFIX® CV sont fabriqués par NAUE GmbH & Co. KG dans l'usine indiquée ci-dessous :

NAUE GmbH & Co. KG

D-33339

ESPELKAMP-FIESTEL - ALLEMAGNE

I.2 - Définition, constitution et composition du procédé

Le procédé BENTOFIX® CV fait partie de la famille des Géosynthétiques Bentonitiques (GSB) (au sens de la norme NF EN ISO 10318) conformément au Fascicule 67 titre III.

Il est composé de :

a) Nappe BENTOFIX® CV

La nappe est constituée de poudre de bentonite de sodium naturelle contenue entre deux géotextiles en polypropylène, assemblés par aiguilletage¹. La quantité moyenne de bentonite sèche est de 4,2 kg/m². L'un des géotextiles est un tissé de 110g/m² de couleur blanche, l'autre un non tissé de 220 g/m² de couleur blanche imprégné de 800 g/m² de poudre de bentonite sur toute sa surface. Un film en polyoléfine, translucide, d'environ 0,2 mm d'épaisseur, est assemblé au géotextile tissé, par enduction lors du processus de fabrication.

Dans tous les cas, il est obligatoire de vérifier la compatibilité du procédé avec le projet en procédant à des essais de gonflement de la bentonite en laboratoire selon la norme XP P84-703 avec un échantillon d'eau prélevé sur site.

¹ L'aiguilletage consiste à imbriquer les fibres du non tissé dans les fibres du tissé par l'intermédiaire d'aiguilles

b) Bentonite en poudre

La Bentonite de sodium naturelle en poudre (BARA-KADE® 200 mesh) est destinée au traitement des points singuliers horizontaux.

c) Bentonite hydratée

La bentonite de sodium naturelle hydratée se présente sous forme d'une pâte préparée sur chantier à partir de bentonite en poudre et d'eau (1/3 de volume d'eau pour 2/3 de volume de bentonite). Elle est destinée au traitement des trous de banche et des points singuliers.

d) Joint hydrogonflant à base de bentonite (non évalué dans le présent avis technique)

Il s'agit d'un mélange homogène de bentonite de sodium naturelle. Ces joints sont utilisés pour le traitement des reprises de bétonnage. Ils font l'objet d'un Avis Technique délivré par le CSTB.

Il existe 2 dimensions :

- Section de 20 mm x 25 mm x 30 ml
- Section de 10 mm x 15 mm x 35 ml

Nota : Le joint hydrogonflant à base de bentonite n'est pas adapté au traitement des joints de dilatation.

e) Joint hydrogonflant polymère (non évalué dans le présent avis technique)

Ce joint est utilisé pour le traitement de points singuliers (encastrement de pieux, liaison voile/radier, ...). Ce joint est à base de polymère élastique à haut module de résilience.

- Section de 20 mm x 10 mm x 15 ml

f) Accessoires de fixations (non évalué dans le présent avis technique)

- *Clous acier :*

Fixations du BENTOFIX® CV : clou béton L 37 mm avec rondelle plastique de 30 mm HILTI (X-SW30C37) ou de performance équivalente, fixé au pistolet HILTI DX DX 5 MX ou de performance équivalente.

Fixations des joints hydrogonflants : Clou béton : L 27 sans rondelle - HILTI X-P27P8 ou de performance équivalente, fixé au pistolet HILTI DX 5 MX ou de performance équivalente.

- *Cheilles à frapper pour parois moulées, poteaux pré-fondés :*

Cheville à frapper Ø 6 mm longueur 65 mm – marque Hilti (réf HPS – 1-6/40x65 - 260352) ou de performance équivalente.

- *Grille de fixation*

Grille préformée en acier perforé ou métal déployé.

- *Mastic colle pour joint polymère*

Mastic colle polyuréthane.

- *Bande « Steelstrap »*

Bande métallique pliée et pré percée pour la fermeture des recouvrements.

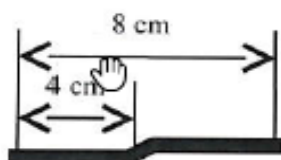


Figure 1: Bande « Steelstrap »

I.3 - Domaine d'emploi - Limites et précautions d'emploi

Le procédé d'étanchéité BENTOFIX® peut être mis en œuvre pour assurer l'étanchéité d'ouvrages souterrains, vis-à-vis des eaux d'infiltrations sans pression (étanchéité parapluie) ou des eaux de nappe phréatique, dans ce cas, la hauteur d'eau maximale est de 20 mètres.

I.3.1 - Domaine d'emploi

Dans le cadre de cet avis technique, le procédé BENTOFIX® CV peut être utilisé pour la réalisation d'étanchéité d'ouvrages enterrés tels que :

- l'extrados d'ouvrages d'art sous plateforme routière, autoroutière et ferroviaire avec étanchéité sous remblai
- l'extrados de structures de cuvelage d'ouvrages de génie civil enterrés
- les parkings souterrains hors emprise bâtiments
- les souterrains piétons/cyclistes hors emprise bâtiments
- le radier de structures intégrées (radier liaisonné à un soutènement)

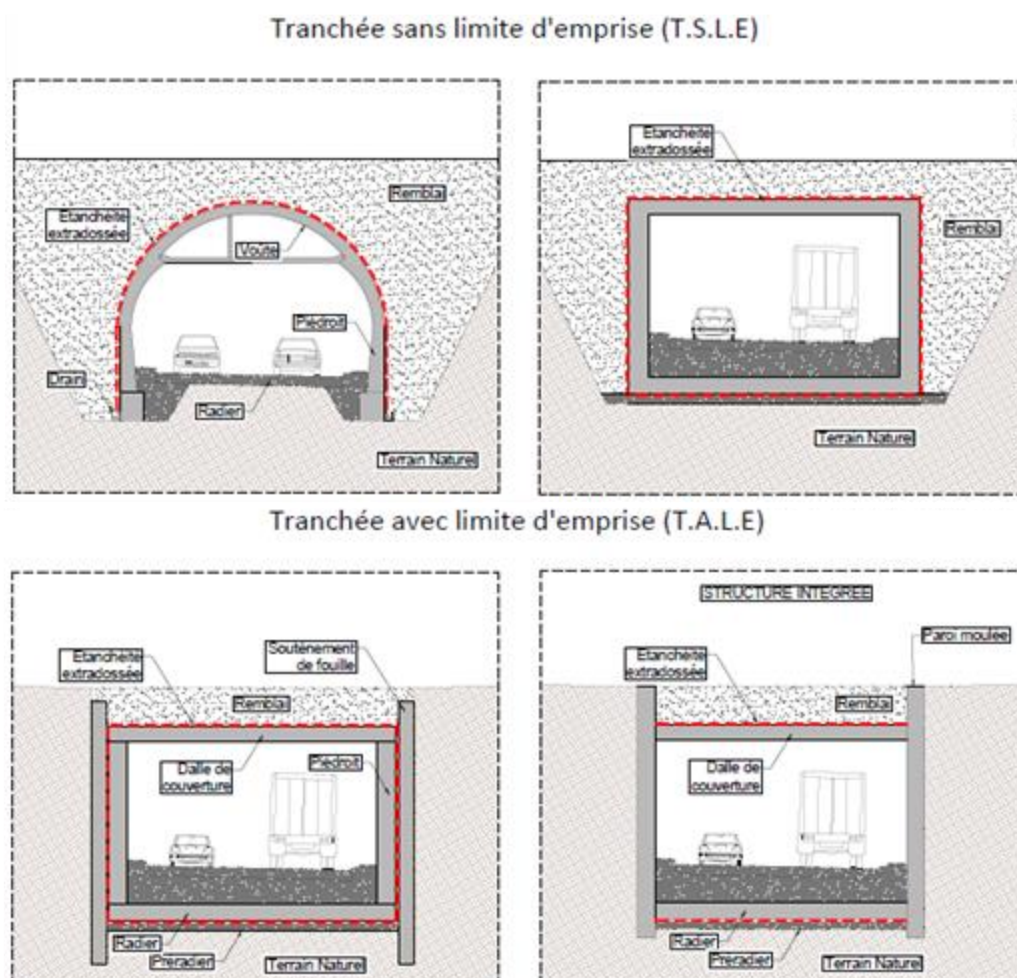


Figure 2: Schémas de principe

1.3.2 - Les supports

Les supports du **BENTOFIX® CV** peuvent être les suivants :

- béton armé - paroi moulée - paroi au coulis - palplanches métalliques - béton projeté avec ou sans fibres - berlinoise bois, béton de propreté pour l'étanchéité du radier, blocs maçonnés dans l'épaisseur du radier ou les fosses ascenseurs et sur banches pour les voiles.

Le support doit faire l'objet d'une préparation conformément au fascicule 67 titre III correspondant à la préparation des supports.

TABLEAU I
SPECIFICATIONS RELATIVES AUX SUPPORTS

NATURE DU SUPPORT								
Béton						Soutènement métallique (cintres, boulons, palplanches avec matériaux de remplissage)	Coulis Bentonite / Ciment (PAC)	
Béton coulé Béton préfabriqué			Béton projeté (fibré ou non)		Paroi moulé			
Planéité P(n) selon FD P18-503	Niveau de bullage E(n,m,p) selon FD P18-503	Rugosité (PMT) selon NF EN 13036-1	Profondeur des anfractuosités	Rugosité (PM)	Planéité P (n) selon FD P 18- 503	Désaffleure ment entre éléments béton	Désaffleurem ent entre éléments métalliques	Pour paroi de soutènement de TALE
≤ 6 mm ≤ 15 mm P(1)	Sans objet		≤ 1 cm	≤ 1 cm	Traitement de surface (reprofilage...) pour obtenir un parement P(1)	≤ 1 cm	≤ 1 cm	Admis

I.4 - Les protections

La nature et les caractéristiques physico-mécaniques des protections supérieures et complémentaires, en fonction des remblais, devront être conformes aux recommandations de l'A.F.T.E.S relatives à la protection des étanchéités.

I.4.1.a Par nature de support

TABLEAU II :
TYPE DE PROTECTION DES TRANCHEES COUVERTES PAR NATURE DE SUPPORT

Type de protection	Nature du support			
	Radier (TSLE et TALE)	Soutènement (piédroits des TALE)		
	Béton de propreté	Béton coulé et préfabriqué Béton projeté non fibré Béton projeté fibré synthétique Parois moulées rabotées	Parois berlinoises Parois moulées non rabotées Rideau de palplanches (avec remplissage des ondes)	Béton projeté fibré métallique
Protection inférieure	Voir nota	Voir nota		
Protection supérieure	6 cm de béton OU treillis soudé ST25C (ou dispositif équivalent)	So*	So*	So*
Protection complémentaire	So*	Non Admis		

* SO : Sans Objet

NOTA : Le support ne devra présenter d'élément contendant ou perforant afin de garantir l'intégrité du film du BENTOFIX® CV. Dans le cas contraire, une protection inférieure en géotextile 700g/m² devra être prévue.

I.4.1.b - Protection du procédé BENTOFIX® CV en attente de réalisation du radier

Cas 1 : Protection mécanique du radier par treillis soudé

Les lés de BENTOFIX® CV au droit de la reprise de bétonnage, sont toujours parallèles à cette reprise de bétonnage. Les lés de BENTOFIX® CV dépassent de 1 m minimum de la reprise de bétonnage, et sont retournés au minimum de 30 cm sous la nappe d'armature inférieure. Les recouvrements de la reprise d'étanchéité sont réalisés conformément à l'article 1.4.2 en ajoutant 10 cm à la largeur minimum préconisée.

Cas 2 : Protection mécanique du radier par chape béton

Les lés de BENTOFIX® CV au droit de la reprise de bétonnage, sont toujours parallèles à cette reprise de bétonnage, et dépassent de 30 cm minimum des aciers en attente du radier. Protéger l'about de BENTOFIX® CV sur 30 cm par mise en place d'une planche de contre-plaqué de 1 cm d'épaisseur. Couler la chape de protection.

Afin de réaliser le recouvrement, casser la chape de protection au droit de la planche de contre-plaqué. Nettoyer soigneusement le recouvrement. Les recouvrements de la reprise d'étanchéité sont réalisés conformément à l'article 1.4.2 en ajoutant 10 cm à la largeur minimum préconisée.

I.4.1.c Par nature des remblais

Quand l'ouvrage est remblayé :

- a) En cas de remblaiement de l'ouvrage il est nécessaire de protéger le BENTOFIX® CV, en fonction de la nature des matériaux de remblai (cf. tableau III). Dans ce cas, les caractéristiques requises pour le géotextile sont : un géotextile polypropylène de masse surfacique supérieure ou égale à 700 g/m² éventuellement associé à une feuille de PEHD de 1 mm d'épaisseur. Les caractéristiques requises du géotextile devront être conformes aux recommandations de l'A.F.T.E.S. relatives à la protection des étanchéités et aux exigences d'un produit marqué CE selon la norme NF EN 13256.
- b) Il convient de mettre une protection supérieure sur la première protection supérieure en géotextile synthétique. Elle est définie en fonction de la nature, de l'agressivité et de la hauteur du matériau de remblaiement, de la classe minimale de résistance au poinçonnement dynamique du procédé BENTOFIX DS. La nature de la protection complémentaire est rappelée dans le tableau III ci-après.

TABLEAU III

PROTECTIONS MECANQUES DES TRANCHEES COUVERTES DANS LE CAS DE REMBLAIEMENT

* SO : Sans Objet

Type de protection	Nature et hauteur du remblai		
	Remblai sur couverture (TSLE et TALE) et piédroits / voiles (TSLE)		
	Remblai ≤ 0,50 m Remblai en matériaux roulés ou concassés (classes C, D) avec Dmax ≤ 200 mm	Remblai > 0,50 m Remblai en matériaux roulés (classes C1, D1) avec Dmax ≤ 200 mm sur les 2 premiers mètres de remblai	Remblai > 0.50 m Remblai en matériaux concassés (classes C2, D, R) avec Dmax ≤ 200 mm sur les 2 premiers mètres de remblai
Protection inférieure	So*		
Protection supérieure	Sur dalle de couverture : 6 cm de béton et En piédroits/voiles, le remblai peu agressif doit vérifier : Dmax < 40 mm, Coeff d'uniformité > 10, Compactage à 95 % du Proctor normal		
Protection complémentaire	+ Grillage avertisseur dans le remblai		

* SO : Sans Objet

I.5 - Mise en œuvre

La Société NAUE APPLICATIONS tient à disposition des applicateurs un Cahier de Mise en Œuvre concernant le procédé BENTOFIX® CV - Édition de JUIN 2023.

I.5.1 - Conditions climatiques

La mise en œuvre du procédé BENTOFIX® CV doit être réalisée hors d'eau ; il faut s'assurer de l'absence d'eau stagnante en surface horizontale. La mise en œuvre sous la pluie est interdite. La méthodologie d'obtention du hors d'eau est décrite dans le CCT.

La mise en œuvre peut se faire sous toute température.

Les lés verticaux de GSB doivent être recouverts le plus rapidement possible afin d'éviter une exposition prolongée aux UV de plus de 3 mois.

I.5.2 - Recouvrement vertical et horizontal des lés de GSB

Les recouvrements du BENTOFIX® CV sont toujours géotextile non tissé saturé en poudre de bentonite en contact avec le film polyoléfine. La liaison entre chaque lé est assurée par un recouvrement de 20 cm minimum pour une pression hydrostatique inférieure à 0,1 MPa ou de 30 cm pour une pression hydrostatique comprise entre 0,1 et 0,2 MPa. Les recouvrements sont fermés par la mise en œuvre de profilés métalliques espacés de 20 cm mini (Steeltrap) fixés mécaniquement.

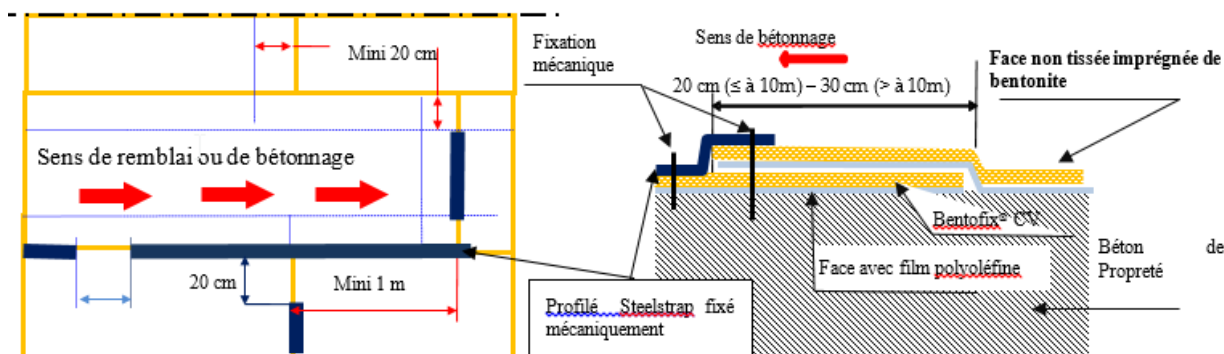


Figure 3 : Traitement des recouvrements

Pour éviter les points quadruples (superposition de quatre lés), les abouts de lés seront décalés de 1 m minimum.

I.5.3 - Mise en œuvre sous radier

Dans tous les cas, un béton de propreté sera mis en œuvre et devra être soigneusement dressé à la règle.

Conformément au fascicule 67 titre III, les défauts de planéité et de rugosité de surface devront être supprimés et les angles vifs devront être chanfreinés.

Les lés de GSB pourront être appliqués sur support sec ou humide. Néanmoins, il faut s'assurer de l'absence d'eau stagnante en surface.

Les rouleaux de BENTOFIX® CV sont déroulés sur le béton de propreté, face Polyoléfine en contact avec le support, face non tissée vers l'opérateur.

Les lés de BENTOFIX® CV sont toujours parallèles aux reprises de bétonnage (Radier/Voiles - Radier/Radier)

La mise hors d'eau et la protection mécanique du BENTOFIX® CV sera assurée soit par la mise en œuvre d'une chape de béton de 6 cm d'épaisseur minimum, soit par la mise en place d'un treillis soudé au minimum ST 25C posé sur cales type barrettes. Dans ce cas la mise hors d'eau est assurée par la réalisation à l'avancement du radier.

I.5.3.a Traitement de la jonction radier/structure intégrée

1) Généralités

Dans le cadre d'un ouvrage en « structure intégrée », on retrouve trois sous-catégories :

Nota : Un ouvrage en « structure intégrée » désigne un radier gêné entre parois de soutènement définitive et structurelle.

a) L'ouvrage est étanché avec le procédé BENTOFIX sous radier et imperméabilisé dans la tranche du radier et jusqu'au niveau des EE sur les parois verticales. L'ouvrage est alors réputé « imperméabilisé » :

- En voile, le débit correspond à un débit AFTES 1
- Le radier est étanché (niveau AFTES 0)
- La hauteur d'eau admissible sur l'ouvrage est induite par la limite la plus basse entre celle du procédé d'imperméabilisation et du procédé d'étanchéité sous radier.

b) L'ouvrage est étanché avec le procédé BENTOFIX sous radier et imperméabilisé dans la tranche du radier, sans revêtement sur la paroi verticale relativement étanche. Le radier est considéré comme « imperméabilisé » et l'ouvrage dans sa globalité est considéré comme « relativement étanche » ;

Un débit de fuite maîtrisé est alors admis, uniquement en voile, pour une hauteur d'eau inférieure à 8 m.

Les limites de passage d'eau prévues au § 3.1 du NF DTU 14.1 P1-1 sont les suivantes :

- Pour la structure résistante dans son ensemble :
 - moyenne annuelle : 0,5 l/m²/jour
 - moyenne hebdomadaire : 1,0 l/m²/jour
- Pour toute portion de structure résistante de 10 m² constituant un rectangle dont le rapport des côtés est compris entre 0,4 et 2,5 (pour la paroi moulée, cette portion peut être centrée sur un joint entre panneaux) :
 - moyenne hebdomadaire : 2 l/m²/jour

En voile, le débit correspond à un débit AFTES 2

Le radier est étanché (niveau AFTES 0)

Au-delà de 8 m de hauteur d'eau, le débit n'est potentiellement plus maîtrisé.

c) L'ouvrage est étanché avec le procédé BENTOFIX sous radier sans revêtement sur la paroi verticale relativement étanche au sens du DTU 14.1, sans traitement de la tranche de radier. L'ouvrage dans sa globalité, radier compris, est alors considéré comme relativement étanche.

Un débit de fuite maîtrisé est alors admis pour une hauteur d'eau inférieure à 8 m.

Les limites de passage d'eau prévues au § 3.1 du NF DTU 14.1 P1-1 sont les suivantes :

- Pour la structure résistante dans son ensemble :
 - moyenne annuelle : 0,5 l/m²/jour
 - moyenne hebdomadaire : 1,0 l/m²/jour
- Pour toute portion de structure résistante de 10 m² constituant un rectangle dont le rapport des côtés est compris entre 0,4 et 2,5 (pour la paroi moulée, cette portion peut être centrée sur un joint entre panneaux) :
 - moyenne hebdomadaire : 2 l/m²/jour.

Le débit correspond à un débit AFTES 2.

Cette conception est à considérer comme relativement étanche avec un débit de fuite admissible, en radier et en voile.

Au-delà de 8 m de hauteur d'eau, le débit n'est potentiellement plus maîtrisé en voile.

1) Préparation de la jonction Paroi moulée – Radier (cf. figure 4)

Le procédé doit être étanche dans les conditions d'emploi qui sont celles de l'ouvrage auquel il est destiné. Ainsi le procédé doit permettre d'obtenir un écran d'étanchéité, une imperméabilisation ou une structure relativement étanche (cf. article 7 fascicule 67).

La paroi moulée est rabotée au minimum dans l'épaisseur du radier afin de rendre ce support conforme au fascicule 67 titre III.

Dans le cas de paroi moulé avec manchons, le repiquage au droit de l'emplacement du joint hydrogonflant doit être réalisé afin de se mettre en conformité avec le Tableau I.

Au droit de la jonction radier/paroi moulée, les lés de BENTOFIX[®] CV sont parallèles à cette jonction.

En fonction du niveau d'étanchéité requis par le Maître d'ouvrage, un mortier d'imperméabilisation mince sera préalablement appliqué dans l'épaisseur du radier ou sur toute la hauteur de l'ouvrage. Ce mortier est lissé au droit de l'emplacement du joint hydro gonflant

Au droit de la reprise de bétonnage seront mis en œuvre :

- des profilés métalliques scellés dans une engravure de la paroi
- ou des joints hydrogonflants fixés mécaniquement à la paroi

Les joints hydrogonflants à base de bentonite sont fixés mécaniquement à travers une grille préformée avec des fixations sans rondelle

Les joint hydrogonflants polymères sont collés et fixé mécaniquement. Un repiquage fin est nécessaire pour ce type de joint

Le détail du traitement du radier/paroi moulé est décrit dans le cahier de mise en œuvre.

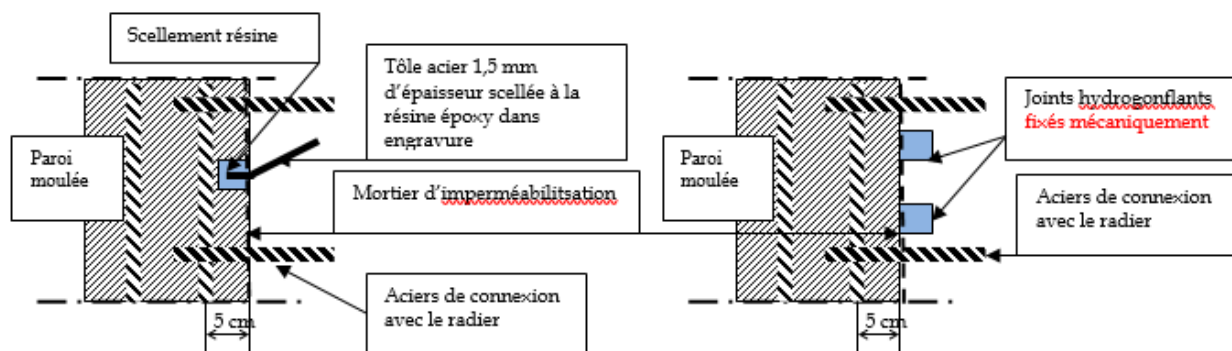


Figure 4 : Traitement de la jonction radier/paroi moulée

1.5.3.b Compartimentage

- En radier

L'étanchéité n'est compartimentée que lorsqu'elle est protégée par une chape béton. La surface des compartiments sera limitée à 300 m². Le compartimentage est réalisé en créant des réservations de 10 cm de largeur dans la chape mortier (cf. Figure 5).

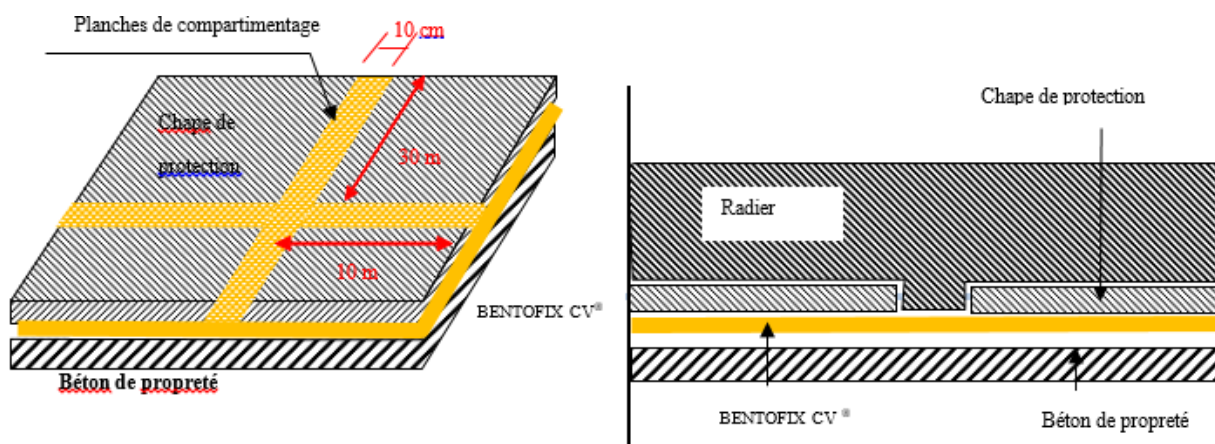


Figure 5 : Compartimentage dans le cas d'une chape de protection

1.5.4 - Mise en œuvre en vertical sur soutènement piédroit

Le support devra être conforme au fascicule 67 titre III.

Les lés de BENTOFIX® CV sont fixés mécaniquement sur la paroi de soutènement, face non tissée vers l'opérateur, face Polyoléfine en contact avec la paroi de soutènement, en respectant un recouvrement entre lés de 20 ou de 30 cm. Les recouvrements entre lés sont décrits dans le paragraphe 1.5.2.

Les premiers lés de BENTOFIX® CV sont déroulés horizontalement sur la paroi de soutènement. La hauteur de paroi ainsi recouverte doit dépasser de 30 cm minimum la hauteur des armatures d'acier en attente pour la réalisation du radier. La partie inférieure des lés doit être retournée sur le béton de propreté, sur une largeur de 30 cm minimum qui sera recouverte par le radier.

Les lés suivants sont mis en œuvre verticalement et sont fixés mécaniquement sur le soutènement. Ils sont tenus en tête par des fixations mécaniques tous les 50 cm.

Les recouvrements verticaux et horizontaux sont fixés mécaniquement, et sécurisés par la mise en œuvre de profilés Steelstrap.

Le bétonnage devra toujours être réalisé dans le sens des recouvrements des lés.

Le tuilage des lés devra respecter le sens vertical de la chute du béton.

1.5.5 - Pose sur coffrage

Les lés de BENTOFIX® CV seront posés sur l'intérieur de la banche extérieure du voile, face polyoléfine en contact avec la banche, face non tissée vers l'applicateur. La longueur des lés devra correspondre à la hauteur de la banche augmentée de l'épaisseur de la dalle et de la longueur de recouvrement (30 cm).

Les lés devront être tenus en tête de coffrage et selon les dispositions du Cahier de Mise en Œuvre. Le bétonnage devra toujours être réalisé dans le sens des recouvrements des lés.

Après bétonnage et dégagement de la laitance au droit des zones de chevauchement entre les lés, les recouvrements verticaux et horizontaux seront fixés mécaniquement et sécurisés par la mise en œuvre de profilés Steelstrap.

L'obturation des trous de banche est obligatoire comme indiqué dans le Cahier de Mise en Œuvre.

1.5.6 - Mise en œuvre sur dalle supérieure ou voûte

Le support devra être conforme au fascicule 67 titre III.

Les lés de BENTOFIX® CV sont posés face non tissée en contact avec le support béton et face polyoléphine vers l'opérateur.

La pose est identique à celle du radier.

Le raccordement des abouts de lés devra être décalés de 1 m au minimum.

Pour les dalles, une protection mécanique du type chape béton grillagé, d'une épaisseur minimale de 6 cm, devra être mise en œuvre dans les plus brefs délais. Pour les ouvrages voûtés, la protection mécanique est un géotextile (cf.§ 1.3).

La pose d'un grillage avertisseur de couleur doit être réalisée, quel que soit la hauteur du remblai.

Nota : Sous voirie lourde, la mise en œuvre d'une dalle béton armé de 6 cm, est obligatoire si la hauteur du remblai est égale ou inférieure à 50 cm.

1.5.7 - Dispositions constructives

La contrainte minimale apportée par les matériaux de confinement (remblai ou béton) est supérieure à 10 kPa.

L'épaisseur de remblai sur la dalle ne doit pas être inférieure à 80 cm en climat de montagne, en l'absence d'isolant type polystyrène extrudé de 2 cm d'épaisseur.

Dans le cas où l'épaisseur du remblai est inférieure à 2 m, les végétaux « hautes tiges » doivent être situés à au moins 2 m de la périphérie de la dalle de couverture.

Les végétaux indiqués en Annexe B de la NF 84-204-1-1 (DTU 43.1) sont interdits.

1.5.8 - Spécifications des remblais

La réception de l'étanchéité avant remblai est obligatoire.

Avant le remblaiement une protection supérieure est mise en œuvre conformément au tableau III.

Les remblais doivent être mis en place à l'avancement.

Les matériaux de remblaiement doivent être conformes aux recommandations du fascicule 12 du CFG. Le matériau ne doit pas présenter de granulats susceptibles de poinçonner le Géosynthétique Bentonitique :

- Dimension des plus gros éléments 40 mm
- Coefficient d'uniformité du matériau supérieur à 10.

La dérogation à ces recommandations doit faire l'objet d'une étude particulière, validée par une planche d'essai.

Le remblai est mis en œuvre conformément aux règles de l'art.

Le compactage doit être à la densité minimum de 95% du Proctor normal. Un soin particulier doit être apporté afin d'éviter toute dégradation du GSB.

IMPORTANT : Les remblais doivent être exécutés en respectant la pose en tuile du BENTOFIX® CV.

1.6 - Conditions particulières de transport et de stockage

La Société NAUE APPLICATIONS tient à disposition des applicateurs un Cahier de Mise en Œuvre concernant le procédé BENTOFIX CV, - Édition JUIN 2023.

Les rouleaux BENTOFIX CV peuvent être stockés à l'extérieur, non déballés, sur une surface, propre et hors d'eau et dépourvue de toute aspérité perforante ou tranchante.

Les joints hydrogonflants et la bentonite en vrac doivent être stockés dans un local, à l'abri des intempéries et de l'humidité.

1.7 - Prise en compte des exigences essentielles

Le procédé 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 générales, de mise en œuvre et de durabilité sont prises en compte dans le présent avis technique.

Sur l'ouvrage en service, les constituants du procédé ne portent pas préjudice à l'hygiène, la santé et l'environnement.

1.8 - Références

Environ 400 000 m² de BENTOFIX® CV ont été posés en France depuis 2017, dont 75 000 m² dans le domaine du génie civil.

I.9 - Dispositions prises par l'entreprise pour assurer la qualité

Le système de gestion qualité de l'usine de fabrication NAUE est certifié ISO 9001/2000 par l'organisme TUV Nord (GmbH).

Les contrôles réalisés sur les produits sont :

- Masse surfacique du produit fini selon EN 14196
- Masse surfacique de l'enduction selon EN ISO 9864
- Épaisseur suivant la norme EN ISO 9863-1
- Résistance au pelage selon ASTM D6496
- Résistance à la traction SP/ST selon EN ISO 10319
- Valeur k, permittivité, indice flux, selon DIN 18130 et ASTM D 5887
- Résistance au poinçonnement selon DIN EN ISO 12236.

Les nappes de BENTOFIX® CV sont conditionnées sous forme de rouleaux, enroulés sur un mandrin PEHD et enveloppées dans un film polyéthylène. Chaque rouleau est identifié par deux étiquettes portant les mentions suivantes :

Pour l'étiquette du marquage CE :

- Marquage CE selon la norme NF EN 13491
- Coordonnées usine de fabrication.

Pour l'étiquette produit :

- Logo NAUE
- Coordonnées usine de fabrication
- Nom du produit
- Date de fabrication
- Date limite d'utilisation
- Longueur, largeur, surface et poids
- N° lot
- N° du rouleau.
- Informations de sécurité.

CHAPITRE II - ESSAIS DE CARACTERISATION

II.1 - *Eléments de caractérisation*

TABLEAU IV

CARACTERISTIQUES D'IDENTIFICATION DU GEOSYNTHETIQUE BENTONITIQUE

CARACTERISTIQUES D'IDENTIFICATION		BENTOFIX [®] CV		
		VNAP	PRV95	PV ***
Masse surfacique	NF EN14196	5550 g/m ²	±10%	5665 g/m ²
Masse de bentonite par unité	NF EN14196	5000 g/m ²	±10%	5135 g/m ²
Indice de gonflement libre de la bentonite	NF P 84-703	24 ml/2g	±10%	30 ml/2g

* VNAP : Valeur Nominale Annoncée par le Producteur

** PRV 95: Plage Relative de Variation, en %,

***PV : Procès-Verbal d'essai par un laboratoire extérieur.

II.2 - *Essais pour l'évaluation de l'aptitude à l'usage*

Pour cette évaluation, la Société NAUE APPLICATIONS a procédé à un certain nombre d'essais, conformément aux indications des normes, du fascicule 67 titre III, du CCTG et du guide d'instruction d'une demande d'avis technique. A la demande de la Commission, les essais effectués selon les conditions définies dans le guide sont les suivants (cf. liste des essais cités dans le tableau des spécifications des matériaux pour les géosynthétiques bentonitiques (GSB) version n° 12 du 13 juin 2012).

TABLEAU V

REFERENCES DES ESSAIS D'EVALUATION DU GEOSYNTHETIQUE BENTONITIQUE

	Désignation	Méthode d'essais	Laboratoire d'essais Procès Verbal d'essais	
2.1	Exigences générales			
2.1.1	Propriétés physiques			
2.1.1.1	Type			
2.1.1.2	Masse surfacique	NF EN 14196	MeTeD_k	Rapport n° 0 721 1 février 2022
2.1.1.3	Masse bentonite par unité de surface	NF EN 14196	MeTeD_k	
2.1.1.4	Capacité d'auto-cicatrisation	XP P 84-708	MeTeD_k	Rapport n° 0 721 1 février 2022
2.1.2	Propriétés hydrauliques			
2.1.2.1	Perméabilité à l'eau			
(a)	En partie courante (m/s)	NF P 84-705 ***	MeTeD_k	Rapport n° 39 141 janvier 2016
(b)	Aux recouvrements (m ³ /s/ml)	NF P84-706	MFPA Weimar	Rapport n° B 19.22.053.02 20/06/2022
2.1.2.2	Indice de gonflement libre de la bentonite	NF P84-703	MeTeD_k	Rapport n° 0 721 1 février 2022
2.1.3	Propriétés mécaniques			
2.1.3.1	Résistance à la traction (kN/m)	NF EN ISO 10319	MeTeD_k	Rapport n° 0 721 1 février 2022
2.1.3.2	Déformation à la rupture (%)		MeTeD_k	
2.1.3.3	Poinçonnement statique (N)	NF EN ISO 12236	MeTeD_k	Rapport n° 39 141 janvier 2016
2.1.3.5	Résistance au déchirement (N)	NF EN 12310-1	MeTeD_k	Rapport n° 39 141 janvier 2016
2.3	Exigences liées à la durabilité			
2.3.3	Hydratation/dessiccation	CENT TS 14417	MeTeD_k	Rapport n° 39 141 janvier 2016
2.4	Sécurité - Hygiène liées à la durabilité			
2.4.1	Comportement au feu	NF EN ISO 11925-2	CSTB	Rapport d'essais n° DSSF-21- 04627 octobre 2021
2.5	Caractéristiques d'identification - contrôles			
2.5.1	Masse surfacique	NF EN 14196	MeTeD_k	Rapport n° 0 721 1 février 2022
2.5.2	Masse de bentonite par unité de surface	NF EN 14196	MeTeD_k	
2.5.3	Indice de gonflement libre de la bentonite	NF P84-703	MeTeD_k	

Le Gérant de la Société demanderesse soussigné, ou son représentant habilité, atteste l'exactitude des renseignements fournis dans les chapitres I et II du présent avis.

Bron le 27 juin 2023


 Aristide HEHNER
 Directeur général ventes marketing

CHAPITRE III - 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 d'Œuvre, des Laboratoires, du CETU et de la Profession. Ils représentent les organismes et 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.

III.1 - Exigences générales

Documents de références : Documents de références : fascicule 67 titre III du CCTG, guide pour l'instruction d'une demande d'avis technique, référentiel géosynthétiques bentonitique version 12 du 13 juin 2012 et dossier technique à l'appui de la demande d'avis.

Nota : L'appréciation est faite dans un contexte d'utilisation standard. Pour des ouvrages exceptionnels (nucléaires, grande profondeur...), consulter le Secrétariat de la Commission.

III.1.1 - Propriétés physiques

III.1.1.a - Masse surfacique

Elle est conforme à la spécification du référentiel :

- 5,67 kg/m² pour la masse surfacique (le référentiel demande ≥ 4.75 kg/m²).

III.1.1.b - Masse de bentonite

Elle est conforme à la spécification du référentiel :

- 5,14 kg/m² pour la masse bentonitique (le référentiel demande ≥ 4.50 kg/m²).

III.1.1.c - Capacité d'auto-cicatrisation

Elle est conforme à la spécification du référentiel :

- Cicatrisation complète.

III.1.2 - Propriétés hydrauliques

III.1.2.a - Perméabilité à l'eau

Il est rappelé que la fonction étanchéité d'un géosynthétique bentonitique n'est acquise qu'après saturation de la bentonite sous contrainte de confinement. La pression de confinement, lors des essais de perméabilité des recouvrements, est conforme au référentiel relatif au géosynthétique bentonitique (version n° 12 du 13 juin 2012 de l'AT CETU).

Nota : Ces essais ont été effectués avec le film qui fait partie intégrante du produit.

a) En partie courante

Les valeurs indiquées dans les spécifications du référentiel sont respectées avec le GSB comportant le film en dérogation de la norme NF P84-705 :

- 3.10^{-11} m/s sous une pression de confinement (le référentiel demande $< 5.10^{-11}$ m/s).

b) Aux recouvrements

Les valeurs indiquées dans les spécifications du référentiel sont respectées avec le GSB comportant le film en dérogation de la norme NF P84-706 :

- $2,6 \times 10^{-11}$ m³/s/ml sous une pression de confinement (le référentiel demande $< 2.10^{-9}$ m³/s/ml).

III.1.2.b Perméabilité après phase de dessiccation-hydratation

Elle est conforme à la spécification du référentiel :

- 3.10^{-11} m/s sous une pression de confinement.

III.1.2.c Indice de gonflement libre de la bentonite

Il est conforme à la spécification du référentiel :

- 24 ml/2g pour l'indice de gonflement (le référentiel demande ≥ 10 ml/2g).

III.1.3 - Propriétés mécaniques

III.1.3.a Résistance à la traction

Elle est conforme à la spécification du référentiel :

- ST 12 kN/m pour la résistance à la traction (le référentiel demande ≥ 8 kN/m)
- SP 18 kN/m pour la résistance à la traction (le référentiel demande ≥ 8 kN/m).

III.1.3.b Déformation à la rupture

Elle est conforme à la spécification du référentiel :

- ST 10 % pour la résistance à la traction (le référentiel demande $\geq 5\%$)
- SP 14 % pour la résistance à la traction (le référentiel demande $\geq 10\%$).

III.1.3.c - Poinçonnement statique

Il est conforme à la spécification du référentiel :

- 2876 N pour le poinçonnement statique (le référentiel demande ≥ 1800 N).

III.1.3.d - Résistance à la déchirure

Elle est conforme à la spécification du référentiel :

- ST 950 N/m pour la résistance à la traction (le référentiel demande ≥ 700 N/m)
- SP 950 N/m pour la résistance à la traction (le référentiel demande ≥ 800 N/m).

III.2 - Exigences liées à la durabilité

Elles sont conformes aux spécifications du référentiel.

Les essais et le comportement en service tels que la commission a pu en avoir connaissance n'a pas fait ressortir de problèmes particuliers d'efficacité sur les ouvrages étanchés avec ce procédé.

Pour maintenir les performances du géosynthétique bentonitique dans le temps il faut respecter la contrainte minimale apportée par les matériaux de confinement (remblai ou béton) décrites dans le paragraphe 1.5.7 relatif aux dispositions constructives.

III.3 - Sécurité - hygiène

Pour information, la Société a fourni un procès-verbal d'essai sur le comportement au feu du géosynthétique bentonitique BENTOFIX® CV. Vis-à-vis de la réaction au feu, le matériau est de classe E selon la norme NF EN 13 501-1 (essai "Petite flamme" NF EN 11 925-2 avec un temps d'exposition de 15 s).

Nota : Outre les dispositions préconisées par le demandeur dans le paragraphe I.4, il appartient à l'entrepreneur de fournir au Maître d'œuvre un Plan de Prévention de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS) décrivant les procédures de sécurité à mettre en œuvre pendant la phase travaux.

Le produit fait l'objet d'une FDES.

III.4 - Conclusions

L'ensemble des essais d'évaluation indique que le procédé répond aux spécifications fixées par le Fascicule. 67 titre III du CCTG et la liste des essais cités dans le tableau des spécifications des matériaux pour géosynthétique bentonitique version n° 12 du 13 juin 2012 du CETU).

Conditions particulières nécessaires pour l'obtention des résultats annoncés :

Il faut s'assurer que :

- l'intégrité du film est garantie par les conditions du support ou une protection mécanique inférieure
- les conditions de confinement permettent d'apporter une contrainte minimale uniformément répartie afin de limiter le gonflement de la bentonite et ainsi obtenir le niveau d'étanchéité
- les dispositions prévues pour la réalisation des recouvrements en partie verticale soient respectées (paragraphe § 1.5.2).

De plus, la mise en œuvre dans les zones de marnage, où les cycles d'hydratation et dessiccation sont fréquentes, doit être évitée.

III.4.1 -Appréciation à l'adaptation du support

Sous réserve d'une préparation du support conforme aux spécifications du fascicule 67 titre III, le procédé BENTOFIX CV est apte à être appliqué à l'extrados des ouvrages appartenant au domaine d'emploi rappelé au paragraphe I.3.

III.4.2 -Appréciation sur le domaine d'emploi

Compte tenu des essais d'évaluation et des références du procédé, le domaine d'emploi préconisé par NAUE APPLICATIONS (paragraphe I.3) est validé.

Pour les dalles supérieures des tranchées couvertes avec limites d'emprises et sous pression hydrostatique, il est nécessaire de mettre en œuvre des dispositions constructives au droit de la jonction dalle/soutènement pour éviter à l'eau de contourner le procédé.

Avant le démarrage des travaux et avant l'acceptation du procédé BENTOFIX CV, l'entreprise doit faire réaliser par un laboratoire, un essai de gonflement de la bentonite avec l'eau du site (paragraphe § 1.2).

Il est rappelé que l'application en tunnel creusé est exclue.

III.4.3 -Contrôle de la conformité

Il est rappelé que l'Avis Technique est un document mis à la disposition des Maîtres d'œuvre pour les éclairer dans le choix ou l'acceptation d'une technique, notamment de la bonne adaptation du produit au domaine d'emploi visé. L'Avis Technique porte donc sur un procédé parfaitement identifié sur lequel sont effectués des essais de type. **Toutefois, il appartient au Maître d'œuvre de vérifier les propriétés de gonflement du géosynthétique bentonitique avec l'eau du site.**

L'avis se limite à cette appréciation et la procédure ne prévoit pas de suivi de la fabrication pendant la période de validité de l'Avis. Indépendamment du système qualité mis en œuvre par le fabricant, il appartient donc au Maître d'œuvre de faire procéder aux vérifications de conformité du produit approvisionné par rapport à celui identifié dans les Chapitres I & II. Ainsi les contrôles de conformité des produits sur chantier seront effectués conformément au Fascicule 67 titre III du et les paragraphes I.2 et II.1 du présent document.

Les tableaux des chapitres I et II donnent les caractéristiques qui ont été déposées auprès de la Commission lors de la demande d'Avis Technique.

En cas de non-conformité des résultats par rapport aux éléments donnés au paragraphe II.1 du présent document, il est demandé d'en informer le secrétariat de la Commission.

III.4.4 -Mise en œuvre

L'aptitude à l'emploi de ce procédé d'étanchéité repose sur l'hypothèse que ce dernier est mis en œuvre conformément au Cahier de Mise en Œuvre établi par la société NAUE et en particulier en ce qui concerne les points suivants :

- Mise en œuvre par du personnel qualifié
- Vérification de la qualité du support
- Mise en œuvre avec du matériel approprié
- Vérification des conditions de pose afin d'éviter les risques de piétinement après pré-hydratation du géosynthétique bentonitique avant confinement.

III.4.5 - Aptitude à la réparation

En cas d'endommagement ponctuel du géosynthétique bentonitique avant son recouvrement, le défaut doit être réparé. Sur une surface plane, cela peut être réalisé au moyen d'une rustine de GSB. Cette rustine doit déborder de la zone endommagée d'au moins 0,15 m de chaque côté. Avant d'installer la rustine on comblera le défaut avec de la bentonite granulaire ou hydratée.

Les recouvrements seront effectués selon les recommandations du fabricant (Voir Cahier de Mise en Œuvre).

III.4.6 - Sécurité Qualité

Les éléments sur le Système Qualité mis à la disposition de la Commission n'appellent pas d'observations sur ce point (cf. § I.7 sur l'existence d'une certification ISO 9001).

Les informations sur le suivi de la fabrication, notamment le contrôle qualité, et le comportement en service du procédé n'appellent pas d'observations de la part de la Commission

III.4.7 - Retour d'expérience

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 le signaler au secrétariat de la Commission.

En cas de non-conformité des produits par rapport aux éléments donnés aux chapitres I et II 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.

Pour tous renseignements, contacter :

- Le fournisseur signalé au § I.1 de l'avis.
- Le secrétariat de la commission AT- CETU : 25, avenue François Mitterrand
69674 BRON CEDEX

☎ : 04.72.14.34.00

☎ : 04.72.14.34.90

✉ : cetu@developpement-durable.gouv.fr

Référence du document: AT n° 23-06

