

# RECOMMANDATIONS DE L'AFTES RELATIVES AU DIMENSIONNEMENT DES DISPOSITIFS D'ÉTANCHÉITÉ MIS EN ŒUVRE DANS LES OUVRAGES SOUTERRAINS

## AFTES RECOMMENDATIONS RELATING TO THE SIZING OF WATERPROOFING SYSTEMS USED IN UNDERGROUND WORKS

Jean-Louis MAHUET

Ingénieur Principal SEMALY, animateur du GT n°9 de l'AFTES, Villeurbanne, France.

**RÉSUMÉ** - Cette communication présente les recommandations proposées par l'Association Française des Travaux en Souterrains (AFTES) pour le dimensionnement des géotextiles de protection d'une géomembrane d'étanchéité. Celles-ci sont notamment établies en fonction d'une part de la nature des supports et d'autre part de l'agressivité des matériaux de remblaiement. Elle détaille les classes de résistance au poinçonnement dynamique proposées aux concepteurs pour choisir et dimensionner un D.E.G. en fonction de l'ouvrage à étancher. Elle aborde également les réflexions menées actuellement par le groupe de travail n°9 de l'AFTES vis-à-vis du comportement au feu des géosynthétiques en phase de travaux.

**Mots-clés** : ouvrages souterrains – poinçonnements – supports – protection- remblais

**ABSTRACT** - This paper presents the directives proposed by the French Association for Underground Works (AFTES) for the sizing of geotextiles used to protect geomembrane waterproofing systems. These directives have been drawn up according to, on one hand, the nature of the support, on the other hand the aggressiveness of the filler materials. They detail the dynamic puncture resistance classes now proposed to engineer, so as to choose and size a geomembrane waterproofing system depending on the underground work. The article also shares some of current thoughts of the AFTES Working Group n°9 relating to the fire behaviour of geosynthetics during the construction phase.

**Keywords**: underground works – puncture – supports – protection – filler materials

### 1. Utilisation des géosynthétiques pour l'étanchéité des ouvrages souterrains

Depuis une trentaine d'années, l'étanchéité et le drainage des ouvrages souterrains (tunnels creusés et forés – tranchées couvertes, etc...) font appel largement à l'utilisation de géosynthétiques. Ceux-ci se présentent sous les formes suivantes :

- géomembranes d'étanchéité synthétiques (PVC-P *chlorure de polyvinyle plastifié* et EC-F *copolymère d'éthylène flexible, nouvelle dénomination des FPO polyoléfine flexible*) et bitumineuses ;
- géosynthétiques bentonitiques ;
- protections inférieures et supérieures de la géomembrane d'étanchéité qui sont généralement constituées de géotextiles ;
- géoespaceurs ou géogrilles de drainages ponctuels ou surfaciques (nappes à excroissances, géogrilles avec ou sans filtres, etc...).

L'utilisation ainsi que le dimensionnement des Dispositifs d'Étanchéité par Géomembrane (D.E.G.) ou des Dispositifs d'Étanchéité par Géosynthétiques Bentonitiques (D.E.G.B.) sont spécifiés principalement par le fascicule 67, titre III du CCTG (*Étanchéité des ouvrages souterrains du Cahier des Clauses Techniques Générales – n° 92-S.TO – Direction des Journaux Officiels – 26, rue Desaix 75727 PARIS CEDEX 15*). Cependant, l'arrivée sur le marché de nouveaux procédés d'étanchéité ou de drainage, principalement à base de géosynthétiques, a rapidement rendu insuffisantes, voire même obsolètes certaines spécifications de ce CCTG. Les recommandations établies par le groupe de travail n°9 de l'AFTES sont venues fort à propos pallier ces insuffisances. À noter également que l'utilisation de ces géosynthétiques au contact de supports ou de matériaux de remblaiement de plus en plus agressifs (par exemple utilisation de matériaux du site pour optimiser les coûts de remblaiement) a également participé à l'établissement de règles professionnelles de dimensionnement des écrans de protection utilisées pour les D.E.G et les D.E.G.B. Les principales recommandations publiées par l'AFTES dans sa revue Tunnels et Ouvrages Souterrains (T.O.S) figurent dans le tableau I.

Tableau I. Liste des recommandations de l'AFTES

Titre des recommandations	Objet de la recommandation	N° T.O.S	Date de publication
«Essai de poinçonnement dynamique sur D.E.G.»	Procédure de vérification de la conformité du D.E.G à la résistance au poinçonnement dynamique	T.O.S N° 121	Janvier/février 1994
«La préparation et réception des supports des tunnels creusés recevant un D.E.G»	Dimensionnement de la protection inférieure en géotextile en fonction de la rugosité du support	T.O.S N° 150	Novembre /décembre 1998
«L'étanchéité et le drainage des ouvrages souterrains»	Dimensionnement de la protection inférieure en géotextile des D.E.G mis en œuvre dans les tranchées couvertes. Dimensionnement des géospaceurs et géogrilles de drainage	T.O.S N° 159	Mai/juin 2000
«Dimensionnement des écrans de protection des D.E.G»	Dimensionnement des écrans de protection supérieure en géotextile en fonction de l'agressivité du remblai	T.O.S N° 183	Avril /mai 2004

## 2. Dimensionnement des écrans de protection inférieure en fonction de la nature du support

Ce dimensionnement est précisément développé dans les recommandations de l'AFTES publiées dans les T.O.S n° 150 et 159.

En ce qui concerne les supports des tunnels creusés et forés (creusement réalisé au tunnelier) les principaux apports des recommandations publiées dans le T.O.S n° 150 sont les suivants :

- Détermination d'une procédure de vérification de la géométrie générale du support recevant le D.E.G. (annexe n°1 des recommandations). Les spécifications d'acceptation des supports proposées par exemple pour les tunnels creusés sont les suivantes :
  - Rayon minimum des bosses ou des creux > à 20 cm (tolérance 2 cm) ;
  - Profondeur maximale d'un trou ou cavité < D/2 (tolérance 5 cm), D étant le diamètre du trou.
- Détermination d'une procédure de vérification de la rugosité du support (annexe n°2 des recommandations). Ce support est généralement composé d'un béton projeté fibré ou pas. Les spécifications de dimensionnement de la protection inférieure en géotextile dont données dans le tableau n°II.

Tableau II. Dimensionnement en fonction de la rugosité du support

Valeur des profondeurs Moyennes PM mesurées sur le chantier en piedroit : p et en voûte : v	Dimensionnement de la protection inférieure en géotextile
PM p ≤ 15 mm (+3) PM v ≤ 20 mm (+5)	Protection type géotextile de 600 g/m <sup>2</sup>
PM p > 18 mm PM v > 25 mm	Géotextile de 800 g/m <sup>2</sup>
PM p > 25 mm PM v > 30 mm	Reprise du support par l'entreprise de génie civil avant nouvelle vérification de la rugosité

L'originalité de cette vérification réside dans l'utilisation d'un copieur de profil constitué de lamelles plastiques mobiles de 10 mm et de 1,4 mm d'épaisseur pour mesurer la rugosité d'un support et déterminer les PM p et PM v indiquées dans le tableau n°II. Ce copieur de profil est montré dans la figure 1.

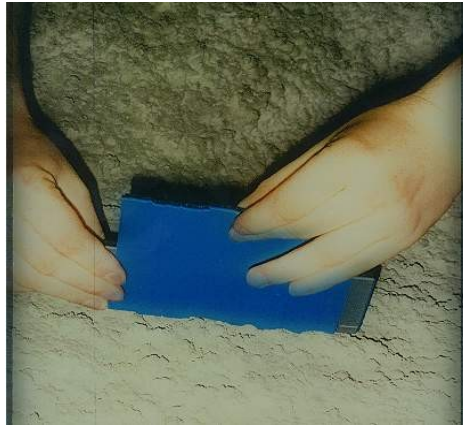


Figure 1. Copieur de profil du support. Photo SEMALY

Les caractéristiques physico-mécaniques de la protection inférieure en fonction de la nature des supports sont données dans les tableaux III pour les tunnels et IV pour les tranchées couvertes.

Tableau III. Caractéristiques physico-mécaniques pour les tunnels

Normes	Caractéristiques	Support en béton projeté		Voussoirs béton	Soutènements métalliques : cintres - tôles
		Non fibré	fibré		
NF EN 963	Masse surfacique (g/m <sup>2</sup> )	600	800*	600	1000
NF P 84507	Poinçonnement statique Cylindrique Ø 8mm (en kN)	0,6	0,8	0,6	1
NF EN ISO 10319	Allongement à la force maxi (en %)	70	70	70	70
NF EN ISO 10319	Résistance en traction (en kN)	12	12	12	30
NF EN ISO 12598	Transmissivité sous 150 kPa (en m <sup>2</sup> /s)	4,6 x 10 <sup>-6</sup>	4,6 x 10 <sup>-6</sup>	4,6 x 10 <sup>-6</sup>	4,6 x 10 <sup>-6</sup>

\* suite à une étude actuellement en cours pour la mise au point d'une procédure d'agrément AFTES, relative aux fibres métalliques pour béton projeté de soutènement, cette masse surfacique risque de passer de 800 g/m<sup>2</sup> à 1200 g/m<sup>2</sup>.

Tableau IV. Caractéristiques physico-mécaniques pour les tranchées couvertes

Caractéristiques	Soutènement béton coffré ou taloché Parois au coulis Palplanches avec remplissage polystyrène	Support en béton projeté		Voussoirs béton	Soutènements métalliques : cintres - tôles
		Non fibré	fibré		
Masse surfacique (g/m <sup>2</sup> )	700	700	800	600	1000
Poinçonnement statique Cylindrique Ø 8mm (en kN)	0,7	0,7	0,8	0,6	1
Allongement à la force maxi (en %)	50	50	50	50	70
Résistance en traction (en kN)	12	12	12	12	30

### 3. Dimensionnement des écrans de protection supérieure en fonction de la nature du matériau de remblaiement

La réalisation simultanée de planches d'essais et d'essais en laboratoire a permis à l'AFTES d'établir en 2004 des règles de dimensionnement des écrans de protection, en fonction de « l'agressivité » prévisible des matériaux qui seront utilisés en remblaiement. Ces recommandations de l'AFTES rappellent également et utilement les « règles de l'art » applicables au remblaiement de ces ouvrages, « l'agressivité » du matériau n'étant pas seulement la seule cause de sinistres récemment observés.

Elles s'appliquent pour des ouvrages généralement constitués de cadres ou de voûtes en béton (travaux neufs) ou en maçonnerie (travaux de rénovation).



Figure 2. Tranchée couverte de Constan A.20. Photo SEMALY



Figure 3. Protection supérieure D.E.G. bitumineux. Photo SEMALY

Ces règles de dimensionnement des écrans de protection supérieure d'un D.E.G. synthétique ou bitumineux s'appuient sur des essais réalisés par le GT n°9 de l'AFTES sur chantiers (planches d'essais) et en laboratoire. Ces essais sont précisément décrits dans les recommandations publiées dans le T.O.S n° 183.

#### 3.1. Synthèse des planches d'essais réalisées sur chantiers

Ces planches d'essais ont été réalisées sur les sites suivants :

- *Planche d'essai de TULLE – A.89* – secteur de Naves, réalisée avec la participation de A.S.F. Maître d'ouvrage, et de SCETAUROUTE maître d'œuvre. Cette planche d'essai a été réalisée le 8 novembre 2001 avec des matériaux utilisés sur le site particulièrement agressifs.

Les deux D.E.G. suivants ont été testés :

- D.E.G. *synthétique* avec protection supérieure du type géotextile de 1600 et de 1800 g/m<sup>2</sup> (avec et sans écran de protection supérieure en PVC) ;
- D.E.G. *bitumineux*, sans protection supérieure géotextile, avec protection supérieure géotextile de 700, 1200, 1400 et 1800 g/m<sup>2</sup>.

Les conclusions de cette première planche d'essai ont été les suivantes :

- D.E.G. *synthétique* : la classe II spécifiée par le fascicule 67 – titre III est très insuffisante avec ce type de remblai. Un D.E.G. (avec protection supérieure en synthétique) associé à des géotextiles de fort grammage semble mieux se comporter en présence de tels remblais ;
  - D.E.G. *bitumineux* : le géotextile de 700 g/m<sup>2</sup> spécifié jusqu'alors en protection supérieure de ce procédé est très insuffisant pour ce type de remblai. Aucune différence n'a été décelée sur la planche d'essai entre un géotextile de 1400 et 1800 g/m<sup>2</sup> ;
  - Les classes 1 et 2 du fascicule 67 – titre III ne sont pas adaptées pour l'utilisation de D.E.G. en présence de telles natures de remblai, par conséquent la création d'une classe 0 s'imposait.
- *Planche d'essai de PÉRIGUEUX EST – A.89* – secteur 4.1 de Thenon – PI 132-22, réalisée avec la participation de A.S.F. Maître d'ouvrage, et de SETEC maître d'œuvre. Cette deuxième planche d'essai a été réalisée le 22 juillet 2002 avec deux types de remblais concassés : 10/50 et 10/150, cependant ceci présentait une « agressivité » sensiblement inférieure à celle de la première planche de Naves.

Les deux D.E.G. suivants ont été testés :

- D.E.G. synthétique avec protection supérieure en PVC 21/10 seule, et 17/10 avec protection supplémentaire en géotextile de 1000 g/m<sup>2</sup> - D.E.G. synthétique sans protection supérieure en PVC mais avec protection en géotextile de 1500 et de 2000 g/m<sup>2</sup> ;
- D.E.G. bitumineux avec protection supérieure géotextile de 1500, 2000 et 2200 g/m<sup>2</sup>.

Les conclusions de cette deuxième planche d'essai ont été les suivantes :

Du fait de l'absence de perforations détectables à l'issue de la planche d'essai il a été difficile d'en tirer des conclusions, ce qui a montré les limites de ce type de planche d'essai (résultat du type « tout ou rien »)



Figure 4. Planche d'essai de Tulle  
Photo SEMALY



Figure 5. Planche d'essai de Périgueux  
Photo SEMALY

### 3.2. Synthèse des essais réalisés en laboratoire

Ces essais de laboratoire ont été réalisés de novembre 2001 à novembre 2003 au LRPC CETE de Lyon.

L'objectif de ces essais était le suivant :

- essayer d'établir un lien entre le comportement sur les planches d'essais et celui à l'essai de poinçonnement dynamique ;
- connaître approximativement l'énergie de poinçonnement relative à un complexe pré défini; ce cas permettra en particulier de créer la nouvelle classe 0 de résistance ;
- vérifier si un DEG pré défini appartient bien à une classe donnée (sans pour cela vérifier s'il pourrait appartenir à la classe supérieure).

Les résultats enregistrés pour un DEG donné ne sont qu'indicatifs et n'ont pas de portée générale puisqu'ils peuvent varier largement en fonction de la nature des écrans de protection, même à masse surfacique ou épaisseur égales. Il était donc inutile d'enregistrer des résultats précis, la procédure normalisée a été simplifiée en réduisant le nombre d'impacts.

#### 3.2.1. Rappels sur l'essai de poinçonnement dynamique

Les essais sont réalisés avec le matériel décrit dans la norme d'essais NF P 84-506 "Géomembranes - Dispositif d'étanchéité par géomembranes (DEG) - Détermination de la résistance au poinçonnement dynamique - Cas d'un support rigide - méthode du pendule" (Annexe 1 du T.O.S n° 181).

Le contrôle de la perforation éventuelle de la géomembrane à l'issue de l'essai de poinçonnement dynamique est réalisé selon les modalités d'essais extraits de la norme NF P 84-506 (Annexe 2 du T.O.S n° 181)



Figure 6. Essais du pendule  
Photo SEMALY

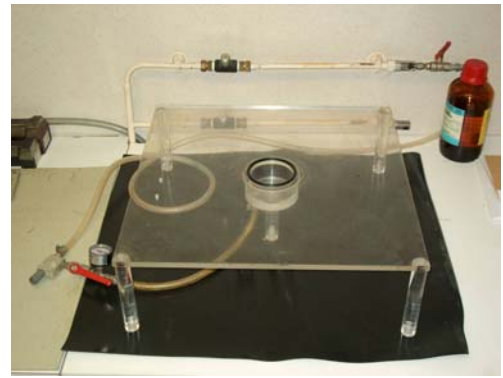


Figure 7. Détection par cloche à vide  
Photo CETE de Lyon

3.2.2. Tableaux de synthèse des résultats

Tableau V. Résultats D.E.G bitumineux

Ecran inférieur	Géomembrane bitumineuse	Ecran supérieur géotextile	Classe
Masse surfacique (g/m <sup>2</sup> )	Epaisseur (1/10 mm)	Masse surfacique (g/m <sup>2</sup> )	(J)
	40	700	< 2
	40	1000	~ 2
	40	<b>1400</b>	~ 1
	40	<b>1600</b>	1
	40	<b>1800</b>	1
700	40	700	2
700	40	1500	1
700	40	<b>1800</b>	1
700	40	2200	0

Tableau VI. Résultats D.E.G synthétique

Écran inférieur	Géomembrane PVC – P	Ecrans supérieurs		Classe
		géotextile	membrane	
Masse surfacique (g/m <sup>2</sup> )	Epaisseur (1/10 mm)	Masse surfacique (g/m <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	Epaisseur (1/10 mm)	(J)
700	20	700		< 2
700	20	1000		2
700	20	<b>1200</b>		2
700	20	1500		1
700	20	<b>1600</b>		1
700	20	<b>1800</b>		1
700	20	<b>2000</b>		0
700	20	700	≥ 17/10	~ 1
700	20	1000	≥ 17/10	1
700	20	<b>1200</b>	≥ 17/10	0

Légende des tableaux n° V et n° VI

Rappel des limites de classe :

- Classe 2                      8,75 Joules
- Classe 1                      10,75 Joules
- Classe 0                      14,75 Joules (nouvelle classe)

Les classes figurant dans les deux tableaux sont données à titre indicatif, les classes de résistance au poinçonnement dynamique à spécifier en fonction du D.E.G et de la nature des remblais figurent aux tableaux n°III et n°IV.

Les masses surfaciques figurant en **gras** caractérisent des géotextiles composites.

Les masses surfaciques figurant en surligné caractérisent des géotextiles non aiguilletés de fibres « haute ténacité ».

Les masses surfaciques figurant en police « normal » caractérisent des géotextiles non tissés aiguilletés de fibres.

### 3.3. Caractéristiques physico-mécaniques des géotextiles de protection

En complément aux articles 7.4.2.3 du texte du Fascicule 67 – Titre III, et n° 7 de son annexe n° 4 les recommandations de l'AFTES proposent aux maîtres d'œuvre de spécifier les caractéristiques physico-mécaniques indiquées dans le tableau n° VII ci-après. En effet la masse surfacique n'est qu'une valeur indicative et elle doit nécessairement être complétée par les caractéristiques de ce tableau.

Tableau VII. Caractéristiques des géotextiles de protection

Caractéristique	Méthode d'essais	Spécifications (*)		
		≥ 700	≥1500	≥ 2200
Masse surfacique (g/m <sup>2</sup> )				
Résistance en traction (kN/m) (**)		≥ 12	≥ 20	≥ 30
Allongement à l'effort maximum (%)		≥ 50	≥ 50	≥ 50
Résistance au poinçonnement statique (kN)	– pyramidal NFG 38019 (***) où	≥ 2	≥ 5,5	≥ 8
	– cylindrique (Ø 8 mm) NF P 84507	≥ 0,7	≥ 2	≥ 3

\* Conformément à ce qui se pratique pour les autres spécifications relatives aux produits utilisés dans le domaine des ouvrages souterrains, il s'agit de valeurs minima requises (et non de valeurs nominales telles qu'elles peuvent apparaître sur des fiches techniques ou sur des fiches de certification).

\*\* Pour chacun des sens de fabrication.

\*\*\* Avec les modifications décrites au recueil des méthodes d'essais ASQUAL (Association Qualité pour la certification des géosynthétiques - 14, rue des Reculettes 75013 PARIS).

### 4. Problématique du comportement au feu des géosynthétiques

Par définition un ouvrage souterrain est un espace confiné, ce qui explique que le comportement au feu des géosynthétiques, notamment lors de leur mise en œuvre, fasse l'objet d'une nouvelle recommandation de l'AFTES actuellement en cours d'établissement.

Celle-ci abordera plus particulièrement les thèmes suivants :

- prévention de la sécurité du personnel d'exécution en cas d'incendie en phase chantier. Le comportement au feu des géomembranes synthétiques devrait être conforme à l'Euroclasses E+ et celui des géotextiles de protection à D.
- prévention de la santé du personnel d'exécution en phase soudure de raccordement des géomembranes synthétiques et bitumineuses. Spécifications concernant les conditions de ventilation ou d'extraction d'air des zones de travail. Dispositifs de protection du personnel du type masque individuel. Contrôle en continu des gaz générés par la soudure avec fixation de seuils maximums pour le gaz chlorhydrique (HCl) carbonique (CO<sub>2</sub>) et l'oxyde de carbone (CO).

Cette recommandation de l'AFTES devrait être publiée pour la fin de l'année 2006.

### 5. Conclusions

Les recommandations de l'AFTES, sommairement présentées dans cette communication permettent désormais aux concepteurs de mieux définir et dimensionner les géosynthétiques utilisés pour l'étanchéité et le drainage des ouvrages souterrains. Les nouvelles règles de dimensionnement proposées apportent indéniablement de nouvelles garanties vis-à-vis par exemple des risques de poinçonnements statiques et dynamiques qui demeurent à ce jour la principale cause de désordres

d'étanchéité constatés dans les ouvrages souterrains. L'AFTES n'a cependant pas terminé ses réflexions au niveau de la caractérisation des géosynthétiques. Les recommandations futures ou actuellement en cours de rédaction doivent bien entendu tenir compte de la volonté actuelle des pouvoirs publics de maîtriser le comportement de ces géosynthétiques vis-à-vis de l'environnement et de la protection sanitaire, en prenant garde cependant que les niveaux de sécurité envisagés à ce jour ne viennent pas en contradiction avec la plupart des performances physico-mécaniques présentées dans cette communication.

## **6. Références bibliographiques**

- T.O.S n° 121 (janvier/février 1994). Essais de poinçonnement dynamique sur dispositifs d'étanchéité par géomembrane.
- T.O.S n° 150 (novembre/décembre 1998). La préparation des supports de tunnels recevant un dispositif d'étanchéité par géomembrane.
- T.O.S n° 159 (mai/juin 2000). L'étanchéité et le drainage des ouvrages souterrains.
- T.O.S n° 165 (mai/juin 2001). Matériaux conformes au fascicule 57 – titre III du CCTG ou possédant un avis d'experts AFTES (mise à jour mai 2001).