



Projet National

Amélioration des Sols par Inclusions Rigides

Opération du Réseau Génie Civil et Urbain

OPERATION DU RESEAU GENIE CIVIL & URBAIN

**A.S.I.R.I. – TRANCHE 4 – THEME 2  
INSTRUMENTATION D'UNE  
VOIRIE RENFORCEE PAR INCLUSIONS  
RIGIDES : MISE EN OEUVRE**

**L. BRIANÇON – MCF (CNAM)**

**le cnam**



## A.S.I.R.I / FICHE SIGNALÉTIQUE

TITRE : <b>A.S.I.R.I. – TRANCHE 4 – THEME 2 – INSTRUMENTATION D'UNE VOIRIE RENFORCEE PAR INCLUSIONS RIGIDES : MISE EN OEUVRE</b>
RAPPORT N° : <b>4-10-2-2</b>
DATE D'ETABLISSEMENT : <b>AOÛT 2010</b>
AUTEURS : <b>BRIANÇON</b>
ORGANISMES CHARGES DE L'ACTION : <b>CNAM</b>
THEME DE RATTACHEMENT : <b>2</b>
LETTRE DE COMMANDE :

## 1. Introduction

Dans le cadre de la mise à 2x2 voies de la RD 1006 et la création d'une piste multimodale le long de la route existante sur la commune de BOURGOIN-JALLIEU (38), la solution d'un traitement de sol par inclusions rigides a été retenue. Ce projet comprend également la réalisation d'un carrefour à feux avec îlot central.

Une instrumentation a été mise en œuvre consistant à mesurer le transfert de charge, le tassement différentiel au niveau des têtes d'inclusions et les déformations des nappes géosynthétiques mises en place dans la plateforme de transfert de charge. Franki a mis en œuvre le renforcement par inclusions rigides, TenCate a fourni les nappes géosynthétiques, le Cnam, TenCate et l'INSA ont instrumenté l'ouvrage. Les capteurs de tassement et de pression totale ont été mis en place par le Cnam et l'INSA les 03 et 04 août 2010. La bande de capteur par fibres optiques TenCate GeoDetect® a été installée lors de la pose des nappes géosynthétiques le 11 août 2010 par le Cnam et TenCate.

## 2. Données géotechniques

La succession géologique des terrains est la suivante sur le site :

- Alluvions fines à passées tourbeuses
- Sables et graviers ± limoneux

Les valeurs présentées dans le tableau 1 ont été retenues par la société Franki pour le dimensionnement du renforcement par inclusions rigides.

Tableau 1

Terrains	Toit	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Es [MPa]	$\alpha$	$E_M$ [MPa]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Remblais techniques	223.0	19	50	1/3	15	1*	35
Alluvions fines	220.8 (TN)	18	3	1/2	1.5	5	20
Passée tourbeuse	219.3	15	1	1	1	5	20
Alluvions fines	218.1	18	3	1/2	1.5	5	20
Sables et graviers ± limoneux	216.5	19	30	1/3	10	1*	35

## 3. Solution de renforcement par inclusions rigides proposée

Le renforcement consiste en une combinaison d'inclusions rigides mises en place dans un maillage carré de 2m de côté et de 35 cm de diamètre et de deux nappes géosynthétiques mises en place dans la plateforme de transfert de charge : un géotextile composite de renforcement de la gamme Bidim ROCK PEC 230 et un géotextile tissé de la gamme Géolon 200 (Annexe 1). Les têtes des inclusions rigides sont élargies pour obtenir un taux de recouvrement plus grand. Initialement cet élargissement devait être réalisé par un outil développé par Franki permettant d'obtenir des têtes tronconiques de 80 cm de diamètre en surface et 50 cm de hauteur ; un problème matériel a nécessité un élargissement des têtes à la benne preneuse permettant d'obtenir des têtes moins symétriques (Figure 1). Avec les têtes tronconiques le taux de recouvrement prévu était de  $\alpha_1 = 12,5 \%$ . Avec les nouvelles têtes élargies, en assimilant la surface de la tête à une ellipse de 1200 mm (grand axe) sur 900 mm (petit axe), on obtient un taux de recouvrement supérieur à celui initialement considéré :  $\alpha_2 = 21 \%$ . Cependant, dû à la non-symétrie des têtes élargies, le report de charge vers les inclusions doit être moins performant qu'avec les têtes tronconiques. Quelques photos du chantier sont présentées en annexe 2.

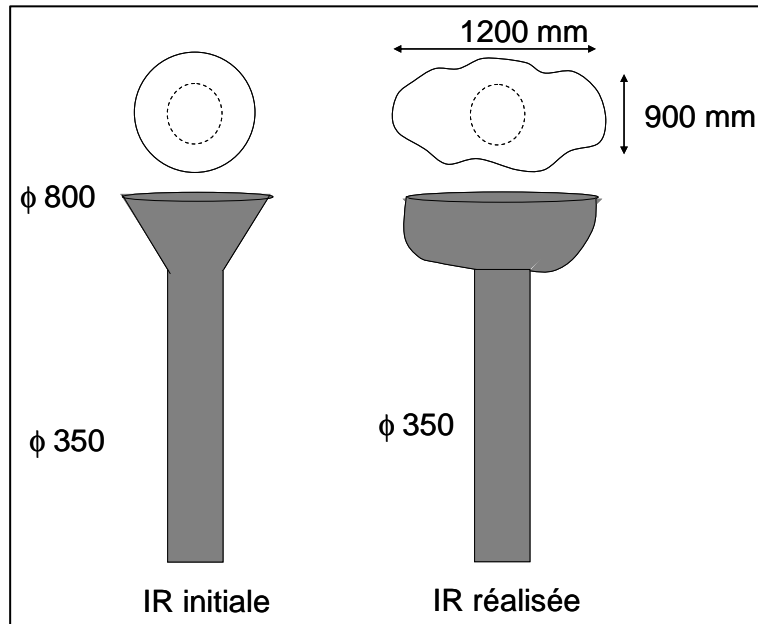


Figure 1. Inclusions rigides

Le géocomposite de renforcement ROCK PEC est disposé 10 cm au dessus des têtes des inclusions rigides dans le sens longitudinal (Figure 2a). Le géotextile tissé est disposé directement sur le premier géotextile mais dans le sens travers (Figure 2b).

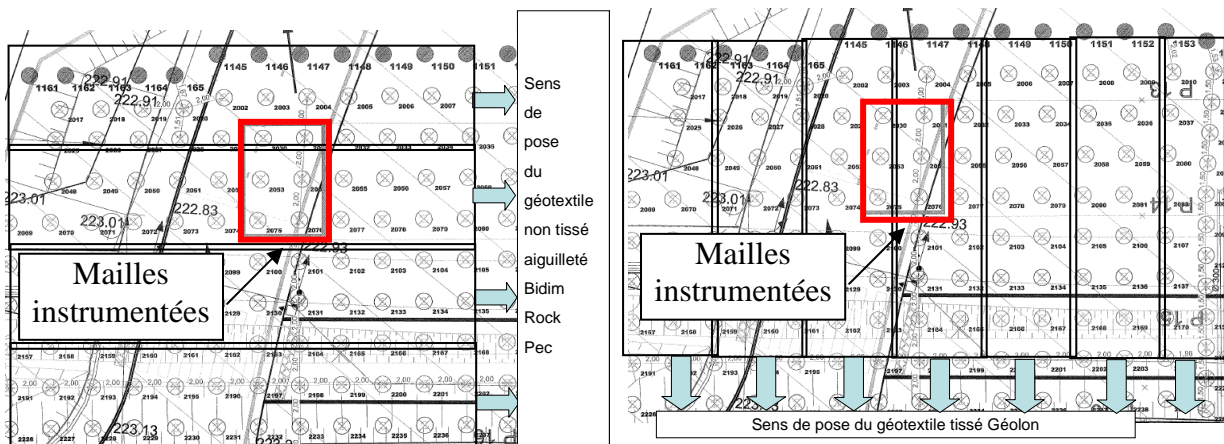


Figure 2. Sens de pose des nappes géosynthétiques

#### 4. Instrumentation

##### 4.1. Mailles instrumentées

Les mailles instrumentées se situent sous la voirie (Figure 2). La géométrie des têtes d'inclusions n'étant pas celle initialement prévue, nous avons mesuré les dimensions des têtes d'inclusion et des mailles concernées par l'instrumentation ainsi que leur côté (Figure 3).

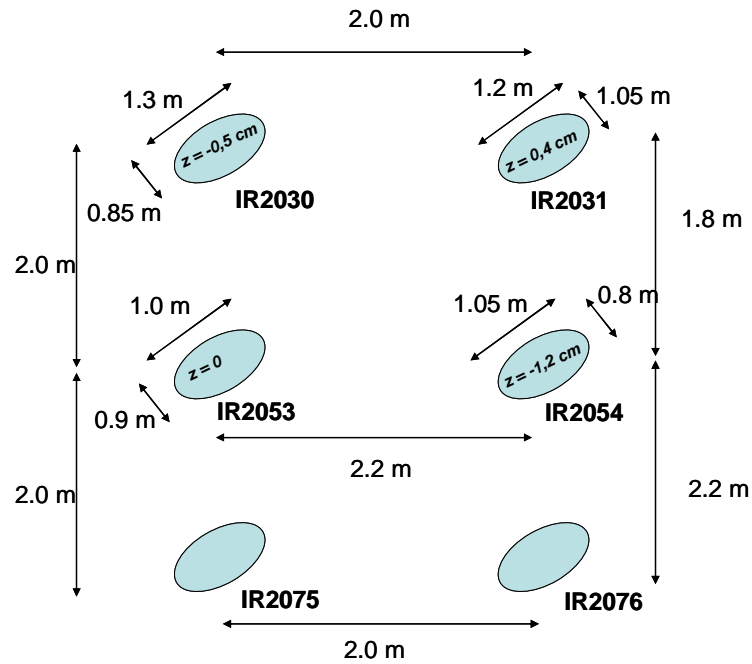


Figure 3. Géométrie et dimensions de la zone instrumentée

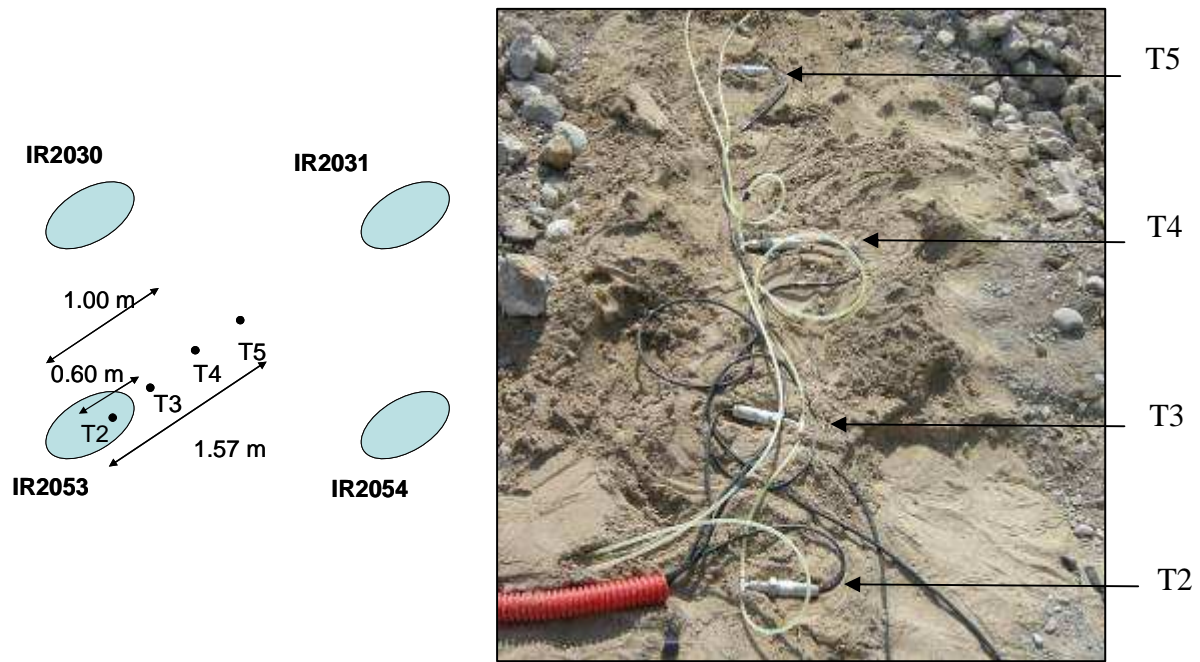
#### 4.2. Mesure du tassement

Le tassement du sol et des têtes d'inclusions sont mesurés par l'intermédiaire de transmetteurs de pression pour mesure de niveau (4-20 mA) appelés transmetteurs dans la suite de ce document et notés T (Figure 4). Les transmetteurs sont connectés en série par une ligne hydraulique à un réservoir rempli d'anti-gel fixé sur un support disposé en dehors de l'emprise de l'ouvrage d'une part et par une ligne électrique au boîtier de mesures d'autre part. Le réservoir maintient le système toujours saturé et à charge constante. Le transmetteur mesure la variation de pression entre sa position et le niveau du réservoir. Un transmetteur de référence est fixé sous le réservoir et permet de calculer le tassement des autres transmetteurs positionnés sous l'ouvrage. Chaque transmetteur est compensé en pression atmosphérique par un capillaire couplé au câble électrique.



Figure 4. Capteur de tassement (transmetteurs)

Quatre capteurs (T2, T3, T4, T5) sont positionnés sur la demi-diagonale de la maille instrumentée (Figure 5). Le capteur T1 sert de référence (Figure 8).

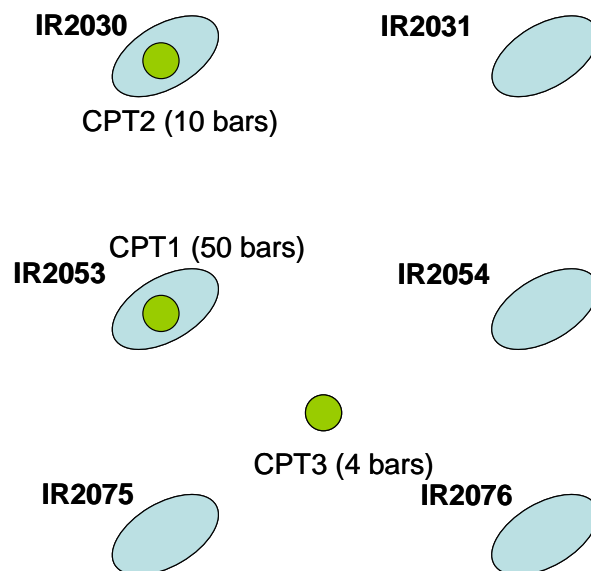


**Figure 5. Position des capteurs de tassement**

#### 4.3. Mesure du transfert de charge

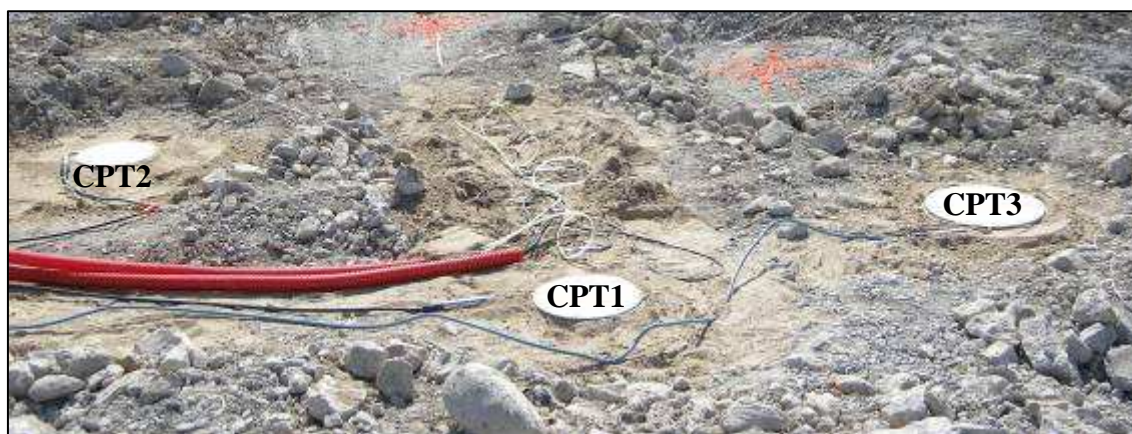
Trois capteurs de pression totale ont été disposés dans la zone instrumentée pour mesurer le transfert de charge (Figures 6 & 7) :

- le capteur CPT1 sur l'inclusion n° 2053,
- le capteur CPT2 sur l'inclusion n° 2030,
- le capteur CPT3 sur le sol au centre de la diagonale entre les inclusions n° 2053 et n° 2076.



**Figure 6. Position des capteurs de pression totale**

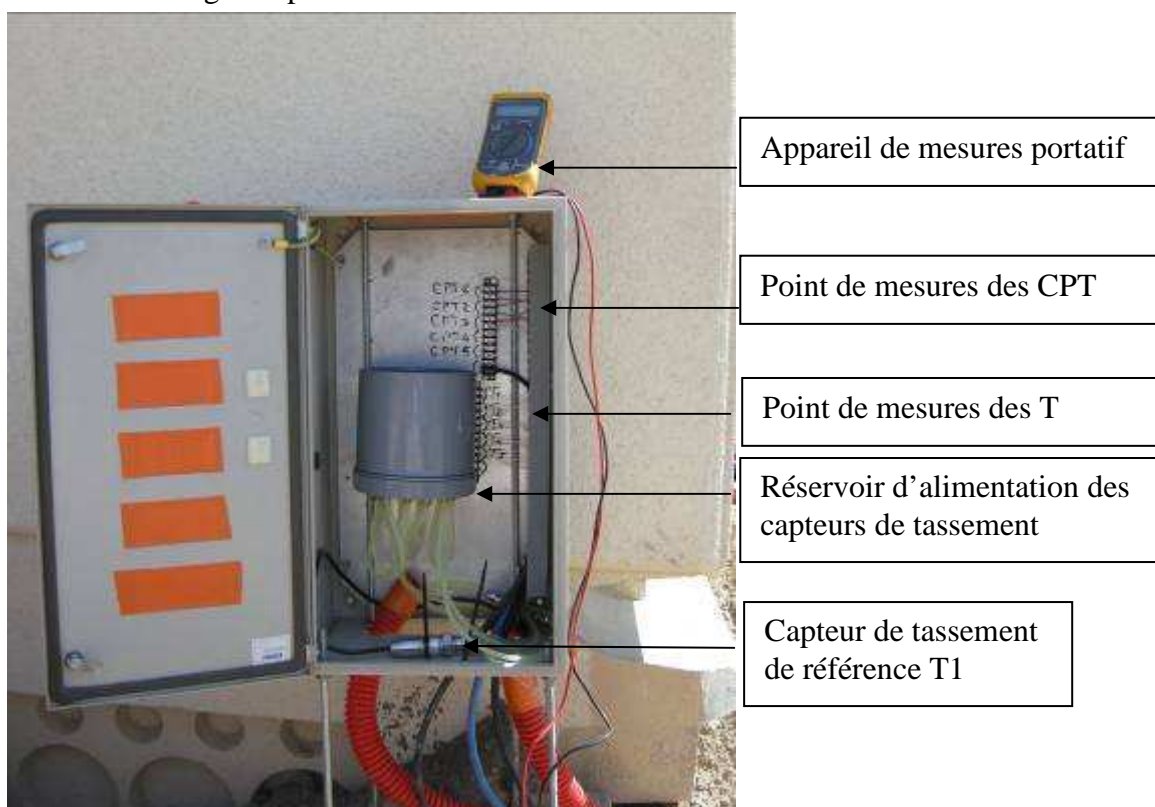




**Figure 7. Photo des capteurs de pression totale**

#### 4.4. Mesures

Les câbles électriques des capteurs de tassement et des CPT ont été connectés dans un boîtier (Figure 8) situé en dehors de l’emprise de l’ouvrage sur une plateforme EDF. A l’intérieur de ce boîtier se trouve aussi le récipient pour les capteurs de tassement et le capteur de tassement de référence. Les mesures des capteurs seront effectuées ponctuellement durant la construction de l’ouvrage et après sa mise en service.



**Figure 8. Boîtier de mesures**

#### 4.5. Mesure de la déformation des géotextiles de renforcement

La déformation du géosynthétique inférieur a été mesurée par l’intermédiaire d’un dispositif à fibres optiques développé par la société TenCate. Le capteur TenCate GeoDetect® est constitué de cinq réseaux de Bragg distants d’un mètre inséré dans une fibre optique disposée dans une bande de géotextile (Figure 9). La bande de TenCate GeoDetect® a été mise en place sur la diagonale des inclusions n°2053 et n° 2031 de telle sorte que certains réseaux de Bragg

se situent au droit des inclusions rigides et d'autres au droit du sol compressible. La bande est disposée sous le géocomposite de renforcement bidim ROCK PEC, 10 cm au dessus du niveau des têtes d'inclusions (Figure 10). Les mesures seront réalisées ponctuellement en même temps que les mesures de pression totale et de tassement pendant la construction du remblai et jusqu'à la mise en service de la route.



Figure 9. Bande du capteur TenCate GeoDetect®

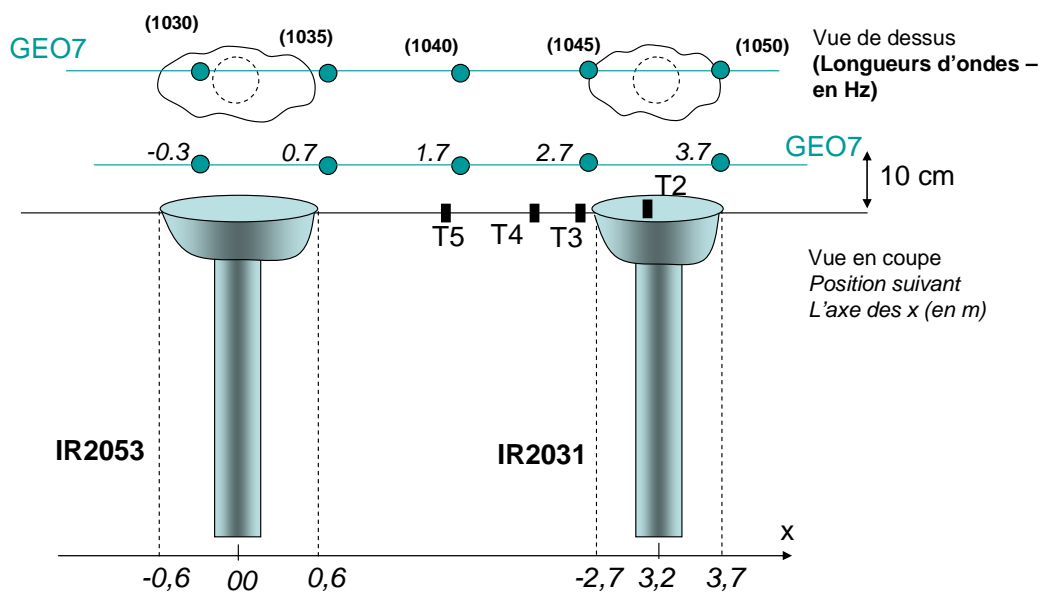


Figure 10. Disposition des réseaux de Bragg



## 5. Budget

Le Cnam a pris en charge le coût de capteurs de pression total et des capteurs de tassement ainsi que la petite fourniture de chantier (câbles, fourreaux, boîtier de mesures...).

TenCate a fourni la bande TenCate GeoDetect® et met à disposition une centrale de mesure optique portable le temps des mesures.

Les capteurs de tassement, les CPT et le boîtier de mesures ont été installés par le Cnam et l'INSA. La bande de TenCate GeoDetect® a été posée par TenCate et le Cnam. Les mesures seront faites par le Cnam et l'INSA ainsi que les rapports de mise en œuvre et d'analyse des mesures.

Cette instrumentation d'un montant de 19 400 € est proposée au projet national ASIRI comme don en nature par le Cnam, l'INSA et TenCate.

Nature des dépenses	Financé	Don en nature	Organisme
3 CPT	-	3000 €	Cnam
5 T	-	2500 €	Cnam
Fourniture pour instrumentation	-	400 €	Cnam
Préparation et mise en œuvre des capteurs	-	2000 €	Cnam
Mise en œuvre des capteurs	-	1000 €	INSA
Fourniture du capteur GeoDetect® et de la centrale de mesures	-	4000 €	TenCate
Mise en œuvre du GeoDetect®	-	750 €	TenCate
Mise en œuvre du GeoDetect®	-	750 €	Cnam
Mesures - rapports et analyses	-	5000 €	Cnam - INSA

### Annexe 1

## Geolon PET

### Fiche Technique

Les géotextiles TenCate Bidim Geolon PET sont conçus pour des applications de renforcement de sol. Ce sont des géotextiles tissés de multifelements, constitués de fibres de haut module en polyester.



TenCate Bidim Geolon PET

Caractéristiques (Norme)	Symbole	Unité	PET 100	PET 150	PET 200	PET 300	PET 400	PET 600	PET 800	PET 1000	
<b>Caractéristiques mécaniques</b>											
Résistance à la traction	SP*	T <sub>max</sub>	kN/m	110	175	220	330	440	660	880	1100
(NF EN ISO 10219)	ST*	T <sub>max</sub>	kN/m	50	50	50	50	50	100	100	100
Déformation à l'effort de traction nominale	SP*	ε <sub>max</sub>	%	12	12	12	12	12	12	12	12
(NF EN ISO 10219)	ST*	ε <sub>max</sub>	%	12	12	12	12	12	12	12	12
Résistance à 10% de déformation	SP*	T <sub>10%</sub>	kN/m	100	150	200	300	400	600	800	1000
(NF EN ISO 10219)	SP*	T <sub>6%</sub>	kN/m	50	75	100	150	200	300	400	500
Résistance à 6% de déformation	SP*	T <sub>6%</sub>	kN/m	50	75	100	150	200	300	400	500
(NF EN ISO 10219)											
<b>Conditionnement **</b>											
Largeur des rouleaux		m	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Longueur des rouleaux		m	200	300	300	200	200	150	100	100	100
Poids des rouleaux		kg	400	665	765	720	950	998	880	1060	1060

\* SP = Sans Production, ST = Sans Travaux

\*\* Voir conditions générales de ventes TenCate Geosynthetics France S.A.S.

Attention ! Les valeurs ci-dessus sont celles en vigueur à la date d'édition de la présente fiche et sont susceptibles d'être modifiées à tout moment. Vérifiez que vous disposez bien de la dernière édition.

TENCATE GEOSYNTHETICS FRANCE S.A.S.  
 9, rue Marcel Paul - B.P. 48080 - 95812 Roissy, France  
 Tél. : +33 (0)1 34 23 53 63, Fax : +33 (0)1 34 23 53 08  
 service\_M@tencate.com, www.tencate.com/geosynthetics



Certification AF AQ n° 139185620  
 pour la conception, la fabrication  
 et le service de géotextiles et  
 produits apparentés

86 137 / 04.2007


Protective & Outdoor Fabrics    Geosynthetics  
 Aerospace Composites        Industrial Fabrics  
 Armour Composites            Grass




## Rock PEC

### Fiche Technique

Les géocomposites mono directionnels TenCate Bidim Rock PEC sont conçus pour des applications de renforcement de sol. Ce sont des géotextiles haute résistance associant un non-tissé de filaments continus en polypropylène et un réseau de câbles de renfort en polyester.





TenCate Bidim Rock PEC


Caractéristiques (Nom)	Symbole	Unité	PEC 55	PEC 95	PEC 125	PEC 180	PEC 230	PEC 35	PEC 75	PEC 300
<b>Géotextile certifié Asqual</b>										
<b>Valeurs certifiées selon la fonction**</b>										
Filtration			✓	✓	✓	✓	✓			
Séparation			✓	✓	✓	✓	✓			
Drainage / Filtration			✓	✓	✓	✓	✓			
Renforcement			✓	✓	✓	✓	✓			
<b>Caractéristiques mécaniques</b>										
Résistance à la traction (NF EN ISO 10398)	SP* / T <sub>max</sub>	kN/m	58	100	132	190	242	37	79	315
Résistance à 5% de déformation (NF EN ISO 10398)	SP* / T <sub>5%</sub>	kN/m	22,1	40,4	47,9	66	84,7	14	30	110
Déformation à l'effort de traction maximale (NF EN ISO 10398)	SP* / E <sub>max</sub>	%	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
Perforation dynamique (NF EN ISO 13433)	P <sub>d</sub>	mm	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Résistance au poinçonnement (NF EN ISO 12241)	P <sub>s</sub>	kN	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1			
Rés. au poinçonnement statique CBR (NF EN ISO 12241)	P <sub>stat</sub>	kN	2,7	3,4	3,8	4,7	4,9	2,4	2,7	5,0
<b>Caractéristiques hydrauliques</b>										
Perméabilité normale au plan (NF EN ISO 11058) 100 - 50 mm	V <sub>100</sub>	m/s	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05
Ouverture de filtration (NF EN ISO 12598)	D <sub>10</sub> / μ	μm	95	95	95	95	95	95	95	95
Capacité de débit dans leur plan (NF EN ISO 12598)	D / l	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /s	20	20	20	20	20	20	20	20
	D / l	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /s	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>Caractéristiques descriptives</b>										
Masse surfacique (NF EN ISO 9894)	μ <sub>01</sub>	g/m <sup>2</sup>	310	400	420	510	620	290	350	700
Épaisseur sous 2 kPa (NF EN ISO 9894-1)	T <sub>01</sub>	mm	2,2	2,5	2,5	2,9	3,2	1,9	2,3	3,5
<b>Caractéristiques spécifiques à la fonction renforcement</b>										
Résistance à la traction à 2%	SP* / T <sub>2%</sub>	kN/m	11,5	20	25	36	46	7,5	16	57
<b>Conditionnement ***</b>										
Largeur x Longueur		m	5,3 x 100							

\* SP = Sans Production, ST = Sans Travers      \*\* Voir les données certifiées sur le certificat Asqual      \*\*\* Voir conditions générales de ventes TenCate Geosynthetics France S.A.S.  
 Attention : Les valeurs ci-dessus sont celles en vigueur à la date d'édition de la présente fiche et sont susceptibles d'être modifiées à tout moment. Veuillez vous référer à la dernière édition.

**TENCATE GEOSYNTHETICS FRANCE S.A.S.**  
 5, rue Marcel Poul - B.P. 40000 - 95873 Boissy, France  
 Tél. +33 (0)1 34 23 53 63, Fax +33 (0)1 34 23 53 80  
 service.f@tencate.com, www.tencate.com/geosynthetics

Certification AF AO n°12920876 pour la conception, la fabrication et la vente de géotextiles et produits apparentés



**TENCATE**  
materials that make a difference

Protective Fabrics      Geosynthetics  
 Space Composites      Industrial Fabrics  
 Aerospace Composites      Grass  
 Advanced Armour

## Annexe 2



**Réalisation des inclusions rigides**



**Recouvrement par 10 cm de matériau granulaire**





**Compaction au dessus de la zone instrumentée**



**Pose des nappes géosynthétiques**