IDRRIM

INSTITUT DES ROUTES, DES RUES ET DES INFRASTRUCTURES POUR LA MOBILITÉ

AVIS TECHNIQUE N° 170

AVRIL 2026

Validité : 5 ans

CHAUSSÉES

REMBLAIS LÉGERS

COMPOSTYRÈNE®

COMPOSTYRÈNE® est un procédé de remblai léger utilisé sur sols compressibles ou instables, ou pour diminuer les surcharges permanentes d'ouvrages de génie civil et routiers. Il utilise les qualités de résistance et de légèreté des polystyrènes expansés (EPS).

La conception de chaque projet s'appuie sur une étude complète qui intègre les contraintes géotechniques ainsi que les sollicitations de service. Cette étude permet le dimensionnement du remblai léger ainsi que des ouvrages qui l'accompagnent (assainissement, soutènement, voiries).

Avec un recul de plus de 40 ans en France, la fiabilité du procédé COMPOSTYRÈNE® est largement démontrée.

Aucun aspect susceptible de compromettre la stabilité des remblais n'a été observé sur les ouvrages examinés dans le cadre des précédents avis techniques, ni remonté par les maîtres d'ouvrage.

Cet avis technique correspond au renouvellement de l'Avis Technique n° 166 de l'IDRRIM.

Sommaire

2 Présentation du procédé par l'entreprise

14 Résultats d'études – éléments et paramètres du procédé

22 Avis du comité

Société : COLAS SA
1, rue du Colonel Pierre Avia
75015 Paris Cedex
www.colas.fr

1 PRÉSENTATION DU PROCÉDÉ PAR L'ENTREPRISE

1. PRINCIPE

Le procédé repose sur l'utilisation d'EPS (polystyrène expansé), dont la masse volumique est environ cent fois inférieure à celle des matériaux de remblai traditionnellement employés.

Grâce à cette très faible densité, à ses propriétés physiques et mécaniques élevées ainsi qu'à sa grande stabilité chimique, l'EPS a démontré une excellente durabilité, tant sous sollicitations répétées en laboratoire que sur le terrain, où il est utilisé depuis plus de quarante ans dans de nombreuses réalisations.

Les méthodes de constitution des remblais se divisent en deux grandes catégories (avec ou sans vides) qui peuvent chacune intégrer des options particulières liées aux talus (pente, verticalité d'un ou des 2 talus), à la hauteur du remblai (≤ 6 m ; > 6 m), à la possibilité ou non de travailler hors circulation ou de réaliser des ancrages de reprise d'efforts (tirants, dalles frottantes, …). Les blocs sont fixés entre eux d'un rang à l'autre verticalement par brochage (HA10) et, lorsque le contexte le nécessite (forte exposition au vent, exiguïté du remblai, …) par collage (colle polyuréthane monocomposant). Une coupe et un plan de pose doivent être établis.

Remblais routiers sans vide

a. De hauteur ≤ 6 mètres

Ces remblais correspondent surtout aux réalisations de faible et moyenne taille dont les profils en travers présentent une faible largeur d'assise par rapport à la hauteur.

Ils sont montés en couches croisées et leur mise en œuvre autorise des espacements ponctuels entre blocs.

b. Cas des massifs de hauteur > 6 mètres

Pour les hauteurs de plus de 6 m et dans le cas des profils en travers de faible largeur, deux aspects doivent être traités :

- stabilité verticale et mise en compression des blocs afin d'assurer une mise en place correcte des blocs supérieurs ;
- stabilité latérale de l'ouvrage.

Dans ce cas, on réalise soit une assise intermédiaire en béton de 0,10 m à 0,15 m d'épaisseur armée d'un simple treillis liée à une longrine, soit un réseau de longrines transversales et longitudinales.

Remblais routiers avec vides – Massifs de largeur importante et massifs à double paroi verticale

On retrouvera les mêmes options relatives aux problèmes de hauteur (≤ 6 m et > 6 m).

Dans ce cas de figure, il est intéressant d'utiliser la technique des discontinuités sur chacune des rangées croisées, ce qui permet de diminuer les volumes d'EPS de 15 à 35 %. Ainsi, il est nécessaire d'utiliser un polystyrène expansé répondant aux critères donnés au paragraphe suivant.

Les largeurs de vides, couche par couche, en fonction des charges statiques permanentes, sont vérifiées par calcul de descente de charge et de RDM (flèche, cisaillement, …).

Avant d'utiliser cette technique avec vides, il est impératif de faire une analyse de risques, notamment en matière d'incendie, et de prendre des précautions nécessaires notamment lors de l'exécution.

2. MATERIAUX UTILISÉS - CARACTÉRISTIQUES

a. Remblais routiers continus

- Utilisation en général d'EPS 90 selon la norme NF EN 14933

$\sigma_{10} \geq 90$ kPa à 10 % de déformation

avec σ_{10} la contrainte en compression à 10 % de déformation (norme NF EN 14933).

Masse volumique apparente sèche couramment comprise entre 17,5 et 19 kg/m³*

b. Remblais routiers avec vides

- Utilisation en général d'EPS 120 selon la norme NF EN 14933

$\sigma_{10} \geq 120$ kPa à 10 % de déformation

Masse volumique apparente sèche couramment comprise entre 21 et 24 kg/m³*

c. Remblais à faibles sollicitations (zones piétonnières par exemple)

- Utilisation possible d'EPS 70 selon la norme NF EN 14933

$\sigma_{10} \geq 70$ kPa à 10 % de déformation

Masse volumique apparente sèche couramment comprise entre 15 et 17 kg/m³*

d. Remblais à fortes sollicitations :

- Utilisation possible d'EPS 150 selon la norme NF EN 14933

$\sigma_{10} \geq 150$ kPa à 10 % de déformation

Masse volumique apparente sèche couramment comprise entre 25 et 27 kg/m³*

* Selon l'annexe B (normative) de la norme NF EN 14933, l'essai indirect peut être utilisé pour déterminer la contrainte en compression à 10 % à partir de la densité apparente de l'EPS.

3. MISE EN OEUVRE

Travaux confortatifs

Suivant la configuration du talus arrière, il peut être nécessaire de conforter ce dernier. Le plus souvent on utilise une paroi clouée (clouage + béton projeté).

Par ailleurs, selon les données hydrologiques, il peut être nécessaire de réaliser un drainage, et dans certains cas, des éperons drainants.

Tous ces éléments dépendent de la configuration locale et sont déterminés à partir des études géologiques, géotechniques et hydrogéologiques.

Lit de pose

Avant la mise en œuvre des matériaux constitutifs du lit de pose, on réalise un réglage grossier du fond du terrassement avec constitution de pente en travers, mais il n'est pas nécessaire de réceptionner le fond de forme par essais de portance.

Le lit de pose peut avoir deux fonctions :

- Le drainage de la base du remblai dans tous les cas ;
- Le poinçonnement de la base du remblai dans les cas où ce dernier présente un ou plusieurs côté(s) libre(s).

Les matériaux utilisés pour le lit de pose dépendent donc du contexte :

- Dans le cas des remblais contigus à des talus, un matériau 20/40 concassé ou 40/70 concassé.
- Pour un massif autostable ou calé de tous côtés, un matériau concassé d/D drainant permettant une facilité de réglage.

Un drain longitudinal avec des sorties transversales est indispensable.

Montage du remblai

Le plan de pose de l'étude d'exécution indique tous les éléments permettant de faciliter la pose des blocs ainsi que les dispositions particulières telles que le croisement systématique des joints.

Les tolérances dimensionnelles des blocs de base sont celles de la norme NF EN 14933.

L'interface entre le talus arrière et les blocs d'EPS est, en général, assuré par un remplissage grossier constitué de chutes d'EPS. Ainsi le drainage efficace de la partie du massif est correctement réalisé et il n'y aura aucune poussée sur ce dernier, si les indications du chapitre 3.1 sont bien respectées.

Marquage des blocs

À la fabrication, l'usine repère sur chaque bloc brut fabriqué les éléments suivants :

- *Date de fabrication*
- *Classe d'EPS*
- *Poids*
- *N° de lot*
- *N° de bloc*

Contrôle

a. En usine

L'usine fournit à COLAS son plan de contrôle qualité ainsi que ses fiches techniques (FTP, CE, etc.) et les fiches de contrôle des lots fabriqués.

b. Sur chantier

Un PAQ chantier définit les niveaux de contrôles de l'entreprise :

- Contrôle interne qui comprend le journal de chantier comprenant notamment le suivi quotidien du volume posé, le signalement des anomalies et la vérification des bons de livraison.
- Contrôle externe qui comprend :
  - des mesures de masse volumique. Si la masse volumique diffère de la fiche technique, des dispositions doivent être prises pour gérer cette non-conformité ;
  - la vérification des bons de livraison.

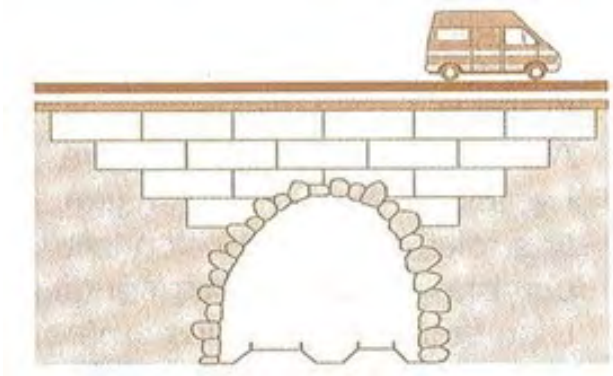
4. DOMAINES D'EMPLOI

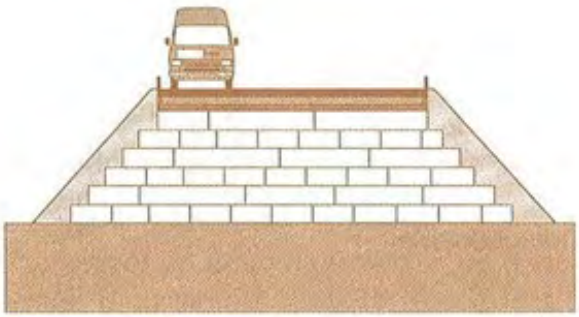
Les applications peuvent être regroupées en quatre grands domaines.

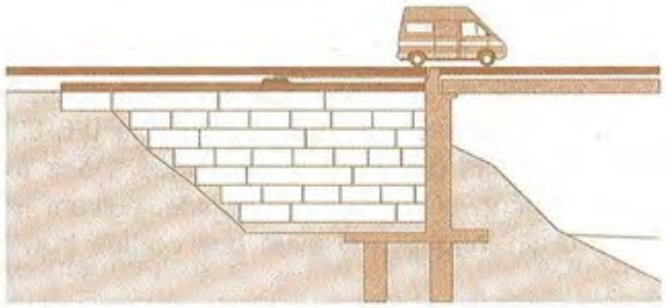
Limitation des charges verticales

- Sur sols compressibles, en réparation ou en construction neuve, la substitution de tout ou partie d'un remblai classique par du COMPOSTYRENE® permet de réduire ou d'éviter les tassements, en particulier à proximité des points durs tels que les culées d'ouvrage d'art où les tassements différentiels sont inacceptables et où les efforts horizontaux et les frottements négatifs doivent être limités.

En construction neuve, COMPOSTYRENE® permet des remblais d'accès qui peuvent réduire la longueur des ouvrages d'art.



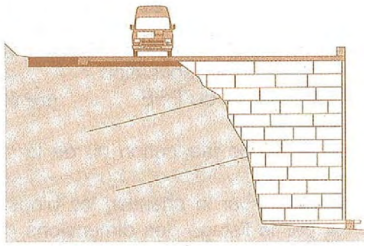




- En rechargement ou en allègement d'ouvrages de génie civil (dalles, conduites, voûtes de tunnel) qui ne peuvent supporter les surcharges permanentes créées par un remblai classique.

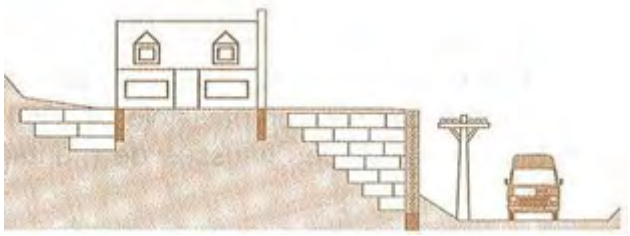
Stabilisation de talus

La réalisation d'un remblai COMPOSTYRENE® permet l'allègement de la partie motrice du glissement. Ceci autorise la reconstitution géométrique des voies emportées par le glissement de terrain ou l'élargissement de la chaussée sur un versant instable tout en réduisant les travaux de soutènement et en améliorant les coefficients de sécurité.



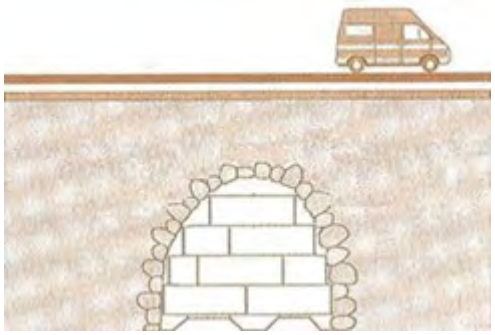
Réduction des poussées horizontales et limitation d'emprise

Grâce à la faible densité du polystyrène expansé et à son coefficient de Poisson quasi-nul, le COMPOSTYRENE® permet la réduction des poussées à l'arrière des murs de soutènement ou de fondations, ainsi que la réalisation des remblais à parois verticales stables permettant des réductions d'emprise.



Comblement de cavités ou s'ouvrages souterrains désaffectés

Le COMPOSTYRENE® peut servir au comblement de souterrains, tunnels ou galeries désaffectés et participer à la sécurisation des anciens soutènements et couvertures remblayés ou mise en charge pour un nouvel usage, en vérifiant que les charges sus jacentes respectent les limites de mise en compression du massif COMPOSTYRENE® défini au § 5.



5. CONCEPTION / DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

La conception et le dimensionnement sont définis par le réseau technique de COLAS qui s'appuie sur son bureau d'études compétent, qui regroupe tout le savoir-faire de la technique, et sur un bureau d'étude de mécanique des sols extérieur pour les cas qui le nécessitent (Missions G3 et G5 de la norme NF P 94-500).

Le tableau ci-dessous oriente les différents contenus possibles des études d'une solution COMPOSTYRENE® qui peuvent changer en fonction des domaines d'applications concernés :

DANS TOUS LES CAS	
Classe d'EPS	Détermination de la classe d'EPS nécessaire en fonction des charges et du contexte du projet.
Contexte hydrologique	Prise en compte des poussées d'Archimède si risque de remontée d'eau (nappe ou autre) à un niveau supérieur à la base du remblai.

LORSQUE NÉCESSAIRE	
Assise de protection en béton en tête de remblai	Il ne s'agit pas d'un dallage mais d'un dispositif de protection et de surcharge pour les massifs COMPOSTYRENE® . Le matériau employé est un béton C30/37, conforme à la norme NF EN 206/CN + A2, de classe d'affaissement S3 et d'une classe d'exposition fonction de l'environnement de l'ouvrage, faiblement ferraillé par un treillis anti fissuration ST 40 C pour une épaisseur de 15 cm ou ST 65 C pour 10 cm.
Couche intermédiaire en béton pour massif de grande hauteur (> 6 m)	Il ne s'agit pas d'un dallage mais d'un dispositif constructif intermédiaire pour les massifs de grande hauteur. Le matériau employé est un béton C30/37, conforme à la norme NF EN 206/CN + A2, de classe d'affaissement S3 et d'une classe d'exposition fonction de l'environnement de l'ouvrage, faiblement ferraillé par un treillis anti fissuration ST 40 C pour une épaisseur de 15 cm ou ST 65C pour 10 cm.
Réseau de longrines transversales et longitudinales à mi-hauteur pour massif de grande hauteur (> 6 m)	Il s'agit d'un dispositif constructif pour les massifs de grande hauteur et de faible largeur. Le matériau employé est un béton C30/37 S3 et d'une classe d'exposition fonction de l'environnement de l'ouvrage ferraillé par des armatures de type chainage.
Longrines (arrière, de rive, …) ou autres éléments bétons hors assise de protection (massifs candélabres, …)	Le dimensionnement de ces ouvrages est réalisé par un BE extérieur si nécessaire.
Vérification des éléments géotechniques et hydrogéologiques des phases G2AVP et G2PRO de la NF P 94-500.	Compléments et investigations nécessaire à la réalisation de l'étude G3.
Dimensionnement des ouvrages routiers	voir § 10.
Stabilité au vent	Dans le cas d'ouvrages à double parement (non appuyé sur talus ou ouvrage), vérification du massif au glissement et au renversement.

DANS LES CAS PARTICULIERS	
Limitations des efforts verticaux	Calculs d'équilibre des forces : • Limitation des tassements liée à l'allègement de surcharge ; • Vérification des charges admissibles au droit des ouvrages génie civil à soulager.
Stabilisation de talus	Calculs de stabilité du glissement liés à l'allègement des surcharges - logiciel type TALREN • Vérification des stabilités du massif de sol à l'arrière du remblai COMPOSTYRENE® • Détermination des renforcements nécessaires (Clous, tirants).
Réduction des poussées horizontales	Calculs des poussées – Les poussées latérales sont réduites aux seules poussées hydrostatiques, compte tenu d'un coefficient de poisson quasi nul pour le COMPOSTYRENE®, seul le système de drainage est étudié.

6. DISPOSITIONS PRISES PAR L'ENTREPRISE POUR ASSURER LA QUALITÉ

Des procédures (Qualité – Sécurité – Environnement) traitent de la préparation, de la réalisation et du contrôle des remblais en COMPOSTYRENE® et sont reprises dans le PAQ de chaque opération.

7. PRISE EN COMPTE DES EXIGENCES ESSENTIELLES EUROPÉENNES

Les EPS (type EPS 70, 90, 100, 120, 150 ou autre) utilisés dans le procédé COMPOSTYRENE® satisfont aux exigences essentielles définies par le décret N° 92 647 du 8 juillet 1992 concernant l'aptitude à l'usage des produits de construction pendant leur durée de vie et font l'objet d'un marquage CE de l'usine de fabrication. Ils sont en conformité avec la norme NF EN 14933.

8. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES

Les différents EPS utilisés dans la technique COMPOSTYRENE® font l'objet d'une FDES (fiche de données environnementales et sanitaires).

Mobilisés par les enjeux du développement durable, les fabricants d'EPS ont fait le choix citoyen de s'engager dans une démarche HQE (haute qualité environnementale). Ils s'engagent pour que l'environnement soit préservé à toutes les étapes du cycle de vie de l'EPS.

L'EPS est 100 % recyclable. La plupart des fournisseurs sont équipés de systèmes permettant le broyage de chutes de polystyrène propre et la réincorporation des billes récupérées dans la chaîne de production.

Ne contenant ni CFC (Chlorofluorocarbure) ni HCFC (Hydrochlorofluorocarbure), l'EPS préserve la couche d'ozone. Inerte chimiquement et bactériologiquement, l'EPS est sans danger pour la santé et ne génère aucune pollution de la nappe phréatique et des eaux de ruissellement au contact de ce produit.

9. QUELQUES CHANTIERS DE RÉFÉRENCE

- Remblai sur sol compressible du Pont des 4 Canaux à PALAVAS LES FLOTS (34).....en 1983
- Stabilisation d'un glissement à ABONDANCE RD 22 (74).....en 1987
- Reprise d'un glissement de terrain CD 225 à VIC LE COMTE (63).....en 1989
- Remblai à double parements verticaux à Crillon le Brave RD 974 (84).....en 1990
- Remblai sur conduite forcée à Saint Claude LACRA (39).....en 1991
- Remblai sur sol compressible RN 154 - Ouvrage SNCF à EVREUX (27).....en 1994
- Remblai sur sol compressible RN 504 TENAY (01).....en 1996
- Remblai sur tranchée couverte BPNL Rue Mouillard (69).....en 1996
- Confortement et stabilisation d'un glissement de terrain RD 35 GERVAIS (38).....en 2003
- Élargissement de voie sur sol compressible RD 414 LES CAPPAN (06).....en 2003
- Stabilisation de glissement de terrain RD 10 POITIERS (86).....en 2004
- Allègement d'un ouvrage SNCF ligne TGV EST à TRIAUCOURT (57).....en 2004
- Stabilisation de glissement de terrain MONTIGNY LE BRETONNEUX (78).....en 2004
- Remblai sur sol compressible RD 514 COLOMARS (06).....en 2004
- Allègement d'un ouvrage d'art amont de BONNEVILLE (74).....en 2005
- Confortement et élargissement de voie à FAYENCE RD 563 (83).....en 2005
- Remblai sur sol compressible à l'usine Placo à VAUJOURS (93).....en 2005
- Remblai sur sol compressible RD 1091 BOURG D'OISANS (38).....en 2006
- Remblai sur sol compressible RD 69 SALLERTAINE (85).....en 2006
- Remblai allégé sur une dalle de parking à RENNES (35).....en 2006
- Réduction des poussées horizontales contre un mur à LIVRY GARGAN (93).....en 2006
- Remblai allégé sur une dalle de parking à CARCASSONNE (11).....en 2007
- Remblai allégé sur la dalle du bâtiment technique du Tunnel du LIORAN RN 122 (15).....en 2007
- Limitation d'emprise, Réduction des poussées, Hôpital St Anne TOULON (83).....en 2007
- Élargissement de voie et création d'un giratoire RD 6007 ROQUEBRUNE (06).....en 2007
- Stabilisation d'un glissement de terrain RD 810 BAYONNE(64).....en 2008
- Remblai allégé sur la dalle du tunnel routier A14 NANTERRE (92).....en 2008
- Allègement d'un ouvrage SNCF Pont de Verdun METZ (54).....en 2008
- Remblai allégé sur une dalle de parking Place du 14 juillet BEZIERS (34).....en 2008
- Stabilisation d'un glissement de terrain RD 54 RETTEL (57).....en 2009
- Remblai sur sol compressible RD 619 PROVINS (77).....en 2009
- Remblai sur sol compressible Hôpital VILLIERS ALLERAND (51).....en 2009
- Stabilisation d'un glissement de terrain RD 2565 UTELLE (06).....en 2010
- Remblai sur sol compressible Carrefour Béligon ROCHEFORT (17).....en 2010
- Remblai sur sol compressible TRAM ligne 1 ANGERS (49).....en 2010
- Remblai sur sol compressible Quartier des Halles PARIS 1er (75).....en 2010
- Comblement d'une fosse pour réalisation d'un parc à vélo gare de LUNEL (34).....en 2011

- Allégement d'un local EDF Ilot Tellier AMIENS (80) ..... en 2011
- Ouvrage démontable, trémie d'entrée d'un parking Av Paul SANTY LYON (69) ..... en 2011
- Remblai sur ancienne voute, Route de Banyuls PORT VENDRES (66) ..... en 2011
- Allégement des fondations d'un bâtiment Quartier des Grèves COLOMBES (92) ..... en 2012
- Remblai sur sol compressible RD 929 AUNEAU (28) ..... en 2012
- Stabilisation d'un glissement de terrain RD 30 CHATEAUNEUF (42) ..... en 2012
- Allégement d'une conduite hydraulique Ø800 RD 559 RAYOL CANADEL (84) ..... en 2012
- Reconstruction de la cour de l'Hôtel de Ville PONT DU CHATEAU (63) ..... en 2013
- Allègement d'un ouvrage RN 202 Pont des CP SAINT BENOIT (04) ..... en 2013
- Stabilisation d'un talus Rue de la Gaité HARFLEUR (76) ..... en 2013
- Remblai allégé sur la dalle de parking Place du Cheval Rouge ORLEANS (45) ..... en 2013
- Allégement d'un talus SNCF RD 286 SERVON SUR VILAINE (35) ..... en 2014
- Remblai sur sol compressible et allégement d'un OA RD 61 La Gde MOTTE (34) ..... en 2014
- Création d'une bretelle sur remblai existant RD 942 MONTEUX (84) ..... en 2015
- Agrandissement d'une cour d'école sur terrain instable CHARBONNIERES (69) ..... en 2016
- Création d'une rampe piétonne sur terrain instable OLETTE (66) ..... en 2016
- Protection d'une conduite forcée EDF contre les chutes de blocs PASSY (73) ..... en 2017
- Réalisation des rampes d'accès à un pont provisoire SAINT-GILLES (30) ..... en 2017
- Stabilisation d'un affaissement chronique sur la route d'Herbouilly (RD 221) – St-Martin-en Vercors (26) HARFLEUR (76) – 850 m³ ..... en 2018
- Réhausse remblais contigus à AO (RD 61) – La Grande Motte (34) ..... en 2018
- Allégement du parvis de la gare de Rennes (35) – 18 m³ ..... en 2018
- Elargissement Chemin de Ferrantu – Belgentier (83) – 414 m³ ..... en 2019
- Allégement d'une dalle au skatepark du stade Marcombes – Clermont-Ferrand (63) – 450 m³ ..... en 2020
- Aménagement de la cour du lycée Schoelcher – Fort de France – 550 m³ ..... en 2021
- Elargissement de la plateforme Resotainer sur sols compressibles – Marseille (13) – 21000 m³ ..... en 2021
- Rehausse remblais contigus du pont de la RD61 – Carnon (34) – 1350 m³ ..... en 2022
- Allégement au droit d'un réseau rue de Sancey – Sens (89) – 60 m³ ..... en 2022
- Réaménagement du parking du Vésubia – St-Martin-Vésubie (06) – 5200 m³ ..... en 2023
- Reprise des affaissements chemin du Parc – Bellegarde-en-Forez (42) – 55 m³ ..... en 2023
- Rampe d'accès au chantier de confortement de Morne Calebasse – Fort de France (972) – 1300 m³ ..... en 2023
- Elargissement de voirie – Choisy-le-Roi (94) – 120 m³ ..... en 2023
- Remblais contigus au pont Simone Veil – Bordeaux (33) – 800 m³ ..... en 2024
- Rampe d'accès au pont sur l'A64 – Urt (64) – 40 m³ ..... en 2024
- Réduction de poussée sur un bâtiment du Futuroscope – Chasseneuil du Poitou (86) – 40 m³ ..... en 2024
- Réduction des poussées sur culée et plateforme de lançage du pont du tramway T9 – Villeubanne (69) – 300 m³ ..... en 2024

10. PRINCIPES DE DIMENSIONNEMENT D'UNE CHAUSSÉE SUR COMPOSTYRENE®

L'usage principal du procédé COMPOSTYRENE® est la construction ou la réparation d'ouvrages routiers sur pente instable ou sols compressibles.

Le Massif COMPOSTYRENE® nécessite une couche de protection qui participe à la mise en compression du remblai allégé (cf. §1.1 et 5).

Cette couche sert aussi de plateforme à la structure de chaussée et participe à la protection du polystyrène.

Afin d'éviter les risques de fluage, les charges permanentes que constituent la couche de protection en béton, les couches de matériaux composant le corps de chaussée et les éléments de sécurité sont généralement limités à 25 % de σ_{10} de l'EPS employé.

L'expérience montre qu'en règle générale, la structure va de 30 à 60 cm d'épaisseur totale en intégrant les formes de pente et de dévers utiles à la chaussée. Si ces épaisseurs sont plus importantes, la classe d'EPS utilisée est adaptée en conséquence.

La couche d'assise en béton de type C30/37 (voir §5. Conception / Dimensionnement des ouvrages), en général sur une épaisseur de 15 cm, comporte un treillis soudé de type ST40C placé à la base de la couche. C'est une assise routière qui ne se dimensionne pas comme un ouvrage de Génie Civil.

Le corps de chaussée sus-jacent comporte 2 à 3 couches de produits routiers en fonction de la géométrie, des usages ou de l'intensité du trafic de la voie. La structure peut être déterminée selon deux principes.

a. Le principe de dispositions constructives

La structure de chaussée est alors déterminée en fonction des différents rôles qu'elle peut jouer :

- **La charge minimale** : la structure *« assise béton + chaussée »* doit apporter suffisamment de poids pour mettre en compression les blocs de polystyrène expansé. Un tapis de 6 cm sur le béton ne conviendrait pas pour un remblai COMPOSTYRENE® routier définitif.
- **La répartition des contraintes** : même si ce rôle est en grande partie rempli par l'assise béton, les différentes couches de la structure de chaussée aident à diffuser les efforts.
- **La géométrie du profil** : les couches de base, qu'elles soient en GNT ou en Grave Bitume, permettent de donner au profil les pentes adaptées à l'évacuation des eaux puisqu'en règle générale, dans le profil en travers, les blocs d'EPS et l'assise béton sont montés à l'horizontale.
- **Une étanchéité de surface** : un tapis de 6cm en BBSG et le jeu des pentes permettent l'évacuation d'une grande partie des eaux (ou polluants en cas de déversement accidentel) avant qu'elles n'arrivent à l'assise béton qui elle-même n'est pas étanche à 100 %.

b. La démarche de dimensionnement

Si toutefois le caractère de *« dimensionnement de chaussée »* doit entrer en jeu, les hypothèses considérées sont :

- Couche de roulement en Béton Bitumineux sur 4 à 6 cm
- Couche de base en Grave bitume, EME, Grave Emulsion ou GNT
- Reprofilage non compté dans le dimensionnement
- Assise béton posée sur le massif COMPOSTYRENE® considérée par postulat comme étant une plateforme PF4 à 200 MPa[1]

1 Les caractéristiques élastiques de l'EPS font que les essais de plaque chargée ou de déflexion sur l'assise en béton ne sont pas significatifs et ne permettent pas de justifier de la qualité PF4 de la plateforme par les critères habituels.

Exemple de calcul de structure routière selon NF P 98-086 :

6 cm BB collé	E = 7000 MPa	υ =0.35
11 cm GB 3 collé	E = 9000 MPa	υ =0.35
Reprofilage non pris en compte		
Assise béton et massif COMPOSTYRENE®	E = 200 MPa	υ = 0.25

Une valeur de εt à la base de la GB3 = 109,6 µdef correspond à un Neq = 1,07 millions. Il s'agit d'un trafic T2 (200 PL/jour sur 20 ans avec un taux d'accroissement annuel de 2 %, un CAM de 0,5 et un risque de 12 %).

11. LES DISPOSITIFS DE RETENUE ROUTIERS

Les systèmes de longrines de rive sont dimensionnés et prévus pour recevoir une glissière de sécurité de type GS2 dont la résistance est calculée en fonction du choc conventionnel.

Dans certains cas cette glissière peut être remplacée par une glissière béton type GBA de 60 cm ou surmontée d'une glissière acier ou bois (liste non exhaustive).

12. PAREMENTS

Plusieurs types de parements sont proposés afin de protéger l'EPS des rayons ultra-violets.

En parois verticales, on retient le plus souvent des bétons projetés, des enduits, des pierres, des tôles, ou, dans certains cas, des bardages en Sapin du Nord autoclave de classe 3 ou 4 ou imitation bois type Cedral. Le type de parement est aussi choisi en fonction de l'environnement du chantier notamment vis-à-vis du risque incendie. Ils ne participent pas à la stabilité des massifs.

Pour les talus végétalisés, on peut reconstituer les pentes naturelles et réaliser une protection minimum de 50 cm à la verticale en matériaux adaptés.

13. PRÉCAUTIONS PARTICULIÈRES

a. Rongeurs

Tous les suivis réalisés depuis plus de 40 ans montrent que les rares cavités observées sont superficielles et ne remettent pas en question la pérennité des ouvrages.

b. Niveau des plus hautes eaux (NPHE)

Si la base des remblais risque de se trouver dans la nappe phréatique, il y aura lieu de faire un calcul de poussée d'Archimède. Si nécessaire, on peut utiliser des SAUL (Structures Alvéolaires Ultra Légères) qui permettent la circulation verticale de l'eau au sein du remblai sans créer de poussées hydrostatiques sur le massif.

c. Feu

D'après le système européen harmonisé de classification des produits selon leur réaction au feu (EN ISO 11925-2), le polystyrène expansé est classé *« euroclasse F ».* Il peut cependant être traité *« euroclasse E ignifugé »* mais son coût est alors plus élevé.

Le matériau EPS est combustible, mais ne propage pas le feu si la cause de l'incendie est éliminée. Pour qu'il y ait risque qu'un feu prenne sur l'EPS, il faut une flamme persistante pour créer en présence d'oxygène un point chaud.

Le PPSPS (Plan particulier de sécurité et de protection de la santé) doit obligatoirement en tenir compte.

d. Hydrocarbures

L'EPS est sensible aux hydrocarbures. Il est donc important de réaliser des pentes et des caniveaux pour évacuer de grandes quantités de produits en cas de déversement accidentel. La couche d'assise en béton participe à cette protection.

e. Agressions climatiques

Une protection latérale est obligatoire pour prévenir les agressions climatiques en particulier les attaques par les UV.

14. PROTECTION VIS-À-VIS DU VENT

Une note de calcul au glissement et au renversement par le vent peut être réalisée pour les ouvrages non appuyés sur un talus ou sur un ouvrage et de grande hauteur (> 3 m). Les données climatiques locales doivent être fournies et en particulier la vitesse maxi des vents perpendiculaires au massif.

2 RÉSULTATS D'ÉTUDES – ÉLÉMENTS ET PARAMÈTRES DU PROCÉDÉ COMPOSTYRENE® – RÉFÉRENCES PROPOSÉES A LA COMMISSION

1. EXEMPLES D'ÉTUDES

Construction d'une chaussée en remblai sur sols compressibles (limitation des charges verticales)

Exemple de calculs de tassement

Cas d'un remblai de 4,5 m de haut à réaliser sur une frange homogène de mauvais sol de 10 mètres d'épaisseur qui présente un module pressiométrique moyen de 3 MPa et surmonté d'une structure routière de 50 cm d'une densité moyenne de 23 kg/m³. En appliquant la méthode « *pressiométrique* » (calcul élastique simple) pour estimer les tassements prévisibles, on obtient :

$$S = \frac{\alpha \times q \times h}{E_m}$$

Avec S : Tassements (m)

α : coefficient rhéologique du sol (égal à 2/3 dans l'hypothèse d'une argile normalement consolidée)

h : épaisseur de la couche de sol déformable considérée (m)

q : contrainte appliquée au sol (t/m²)

Em : Module pressiométrique du sol (t/m²)

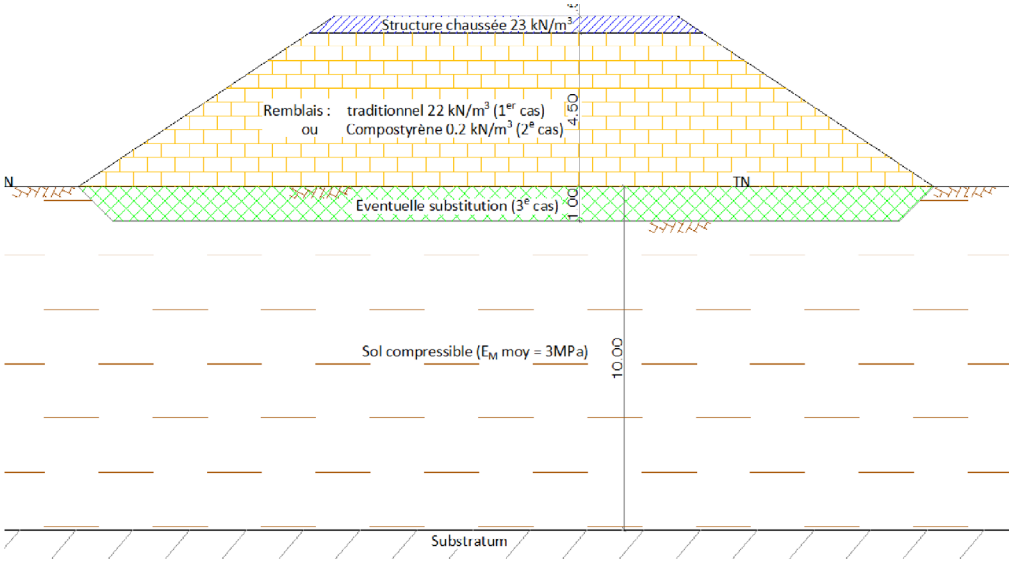


Figure 1 - Exemple de construction d'une chaussée en remblai sur sols compressibles

- Dans le cas d'un remblai traditionnel d'une densité moyenne de 22 kN/m^3 :

S = 0,24 m soit 24 cm

- Dans le cas d'un remblai COMPOSTYRENE® d'une densité moyenne de 0,2 kN/m^3 :

S = 0,0273 m soit 2,73 cm

- Si, en plus, on substitue 1 mètre de sol compressible par de l'EPS alors la contrainte initiale appliquée au sol support du remblai COMPOSTYRENE® (au niveau du TN – 1 m) est de q_0 = 16 kPa ; la contrainte appliquée au sol q = 12,6 kPa < q0. On peut donc estimer que sur un sol support normalement consolidé on a :

S ≈ 0,00 m

En conclusion, l'utilisation du COMPOSTYRENE® permet de passer d'une situation pour laquelle les tassements ne sont pas admissibles à une situation où ils sont quasi-inexistants.

Si à la place d'une densité de 20 kg/m^3 on prenait une densité de 25 kg/m^3 pour le polystyrène expansé, les tassements attendus dans le 2ème cas de l'exemple ci-dessus seraient de 0,0277 m soit 0,4 mm de plus, ce qui est négligeable.

Construction d'une route sur un talus existant (maintien de stabilité de talus)

Exemple de calculs de stabilité

Cas d'un talus existant et à priori stable le long duquel on veut créer une chaussée. En prenant les hypothèses géotechniques suivantes et en appliquant la méthode de calcul de Bishop suivant une méthode traditionnelle (sans coefficient partiel) :

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Remblais en place		20,0	37,00	8,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Chaussée		23,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Béton		25,0	45,00	50,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	EPS		0,2	27,00	50,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Remblais		20,0	30,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
6	Argile sablo limoneuse		18,0	20,00	7,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
7	Limon sablo argileux		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
8	Marne sableuse altérée		19,0	20,00	15,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
9	Marne saine		20,0	25,00	25,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
10	Remblais d'apport		20,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Pour le COMPOSTYRENE®, les caractéristiques *« long terme »* prises pour l'EPS sont :

- Angle de frottement : φ' = 27°, valeur théorique correspondant à un coefficient de frottement de 0,5 *« bloc sur bloc »*. Cohésion : c' = 50 kPa, valeur par défaut, n'ayant que très peu d'influence sur les calculs.

- Dans la situation du talus initial, on obtient un coefficient de sécurité de F = 1,52 (pour 1,5 visé en situation définitive/méthode traditionnelle) qui traduit la stabilité de l'existant :

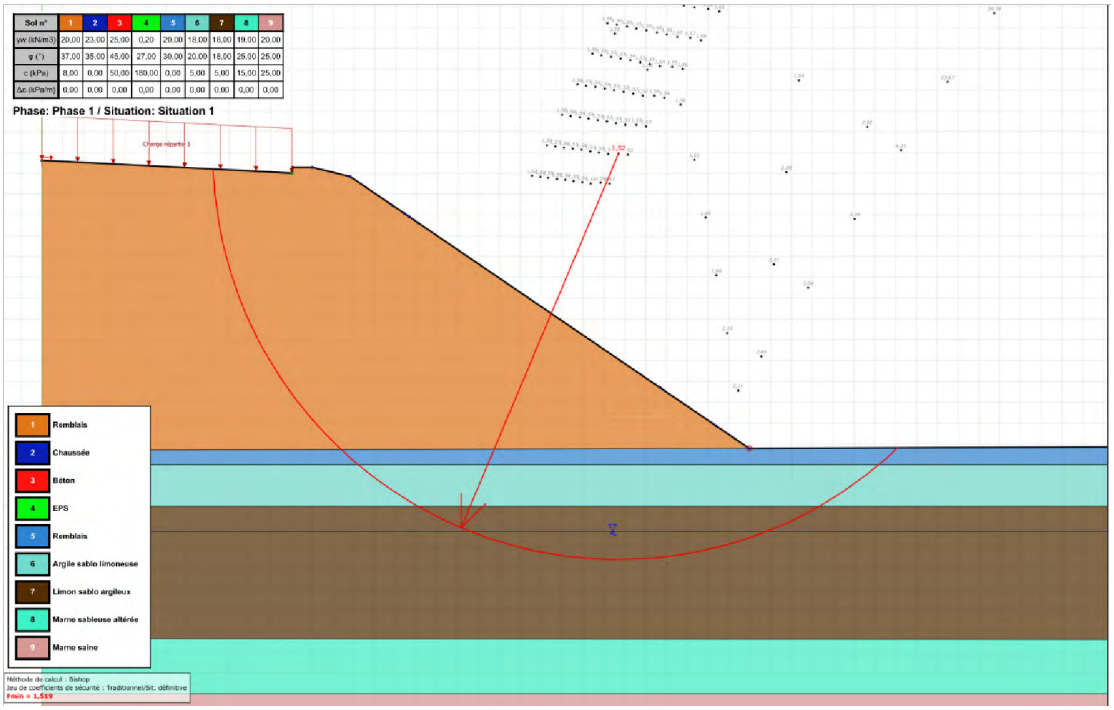


Figure 2 - Modélisation avec talus initial

- Si on reprend ce calcul suivant la méthode 3 des Eurocodes 7, on obtient un coefficient de sécurité de F = 1,10 (pour 1,0 visé en situation définitive) qui traduit encore une fois la stabilité de l'existant :

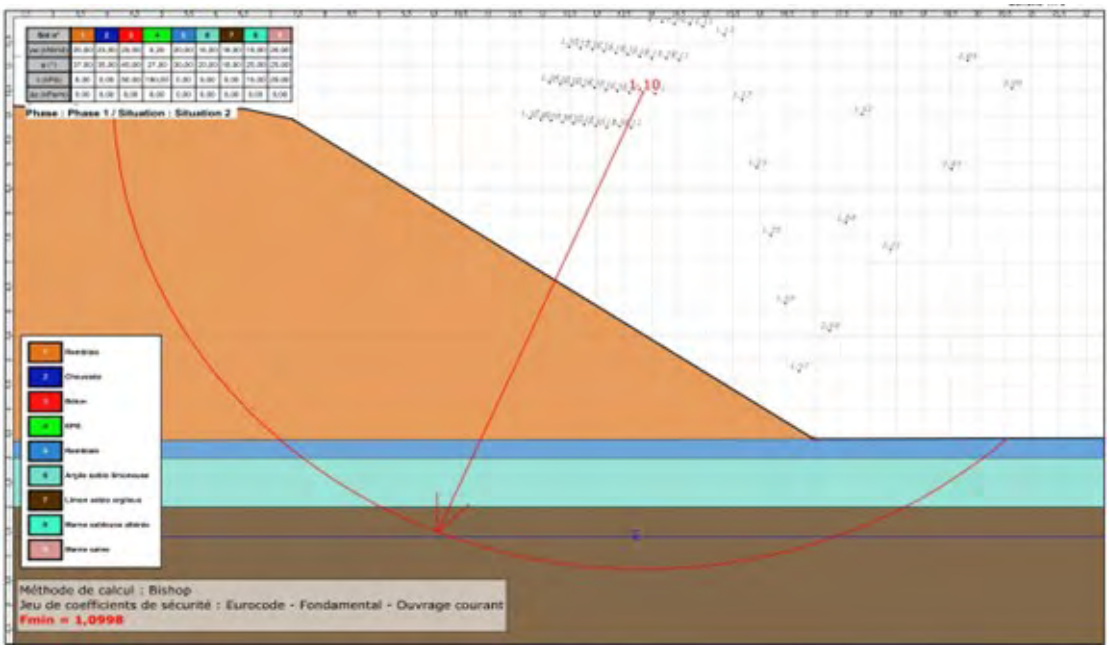


Figure 3 - Modélisation avec talus initial suivant la méthode 3 des Eurocodes 7

- Dans la situation de la solution qui consiste à mettre en place un remblai COMPOSTYRENE®, on obtient un coefficient de sécurité de F = 1,56 qui assure donc la pérennité de l'ouvrage :

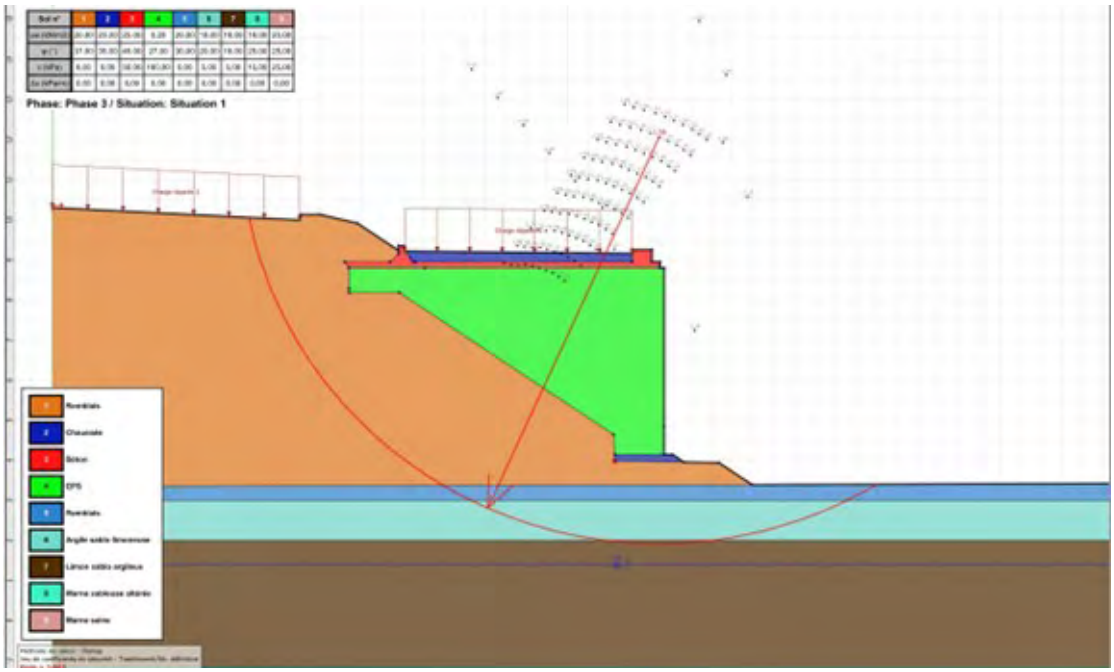


Figure 4 - Modélisation avec un remblai COMPOSTYRENE®

- Enfin si l'on refait le calcul de stabilité avec le remblai COMPOSTYRENE® selon les Eurocodes 7, on obtient un coefficient de sécurité de F = 1,13 > 1 :

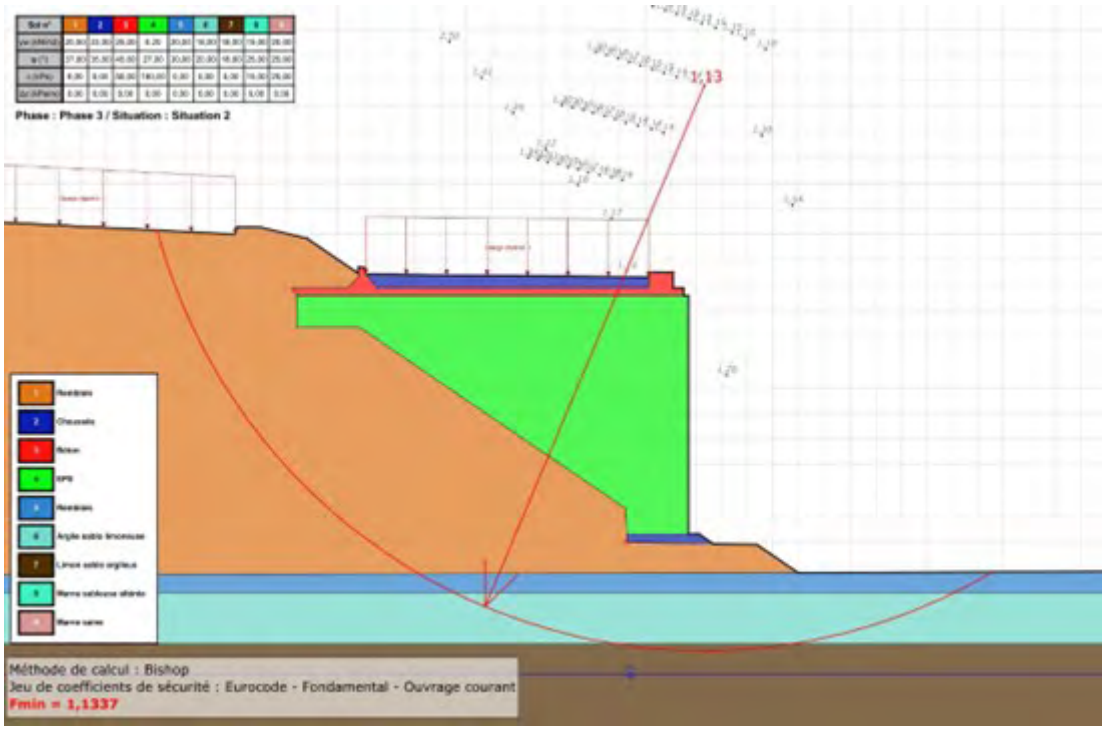


Figure 5 - Modélisation avec un remblai COMPOSTYRENE® suivant la méthode 3 des Eurocodes 7

En conclusion l'utilisation du COMPOSTYRENE® permet de créer une bretelle sur un talus existant stable, en restant dans l'emprise de ce talus et sans en affecter sa stabilité générale.

2. ÉLÉMENTS ET PARAMÈTRES DU PROCÉDÉ

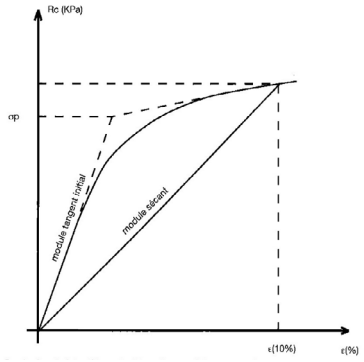
Détermination des classes d'EPS

Dans le guide technique SETRA ref.0622 de septembre 2006, il est fait référence à la norme NF T 56-201 qui n'est plus utilisée par les fabricants d'EPS. C'est désormais la norme NF EN 14933 qui définit les classes d'EPS (voir tableau C1 ci-après, issu de l'annexe C de la norme).

Cette nouvelle norme divise en différents *« types »* les produits en polystyrène expansé. Chaque type doit satisfaire deux conditions différentes afin de garantir les performances du produit.

Ces deux conditions qui définissent la classification des produits EPS sont :

- **La contrainte en compression σ_{10}** (kPa). L'essai consiste à *« comprimer l'éprouvette à l'aide du plateau mobile à une vitesse constante de déplacement égale à d/10 par minute avec une tolérance de ± 25 %, d étant l'épaisseur de l'éprouvette en millimètres. Conduire l'essai jusqu'à la limite de résistance de l'éprouvette et en déduire une valeur de la résistance à la compression, ou jusqu'à 10 % de déformation relative et en déduire une contrainte en compression à 10 % de déformation relative (Norme NF EN 826) »*.



Exemple de courbe contrainte/déformation sur laquelle on distingue :

- une partie représentant le module tangent initial linéaire et réversible, correspondant à un module de Young E et un coefficient de poisson voisin de 0 ;
- un seuil de déformation irréversible (ou seuil de plastification ou limite d'élasticité) noté σ_p.

- **La résistance à la flexion** (kPa) qui n'entre pas en compte dans la conception d'un remblai de type COMPOSTYRENE®.

L'essai de résistance à la compression définie par la norme NF EN 826 est celui utilisé par tous les fournisseurs d'EPS pour déterminer les classes de leurs produits suivant le tableau C1.

L'essai qui est décrit dans le guide du SETRA ref.0622 ne permet pas de valider la qualité de polystyrène utilisé car il ne répond pas au même référentiel (vitesse d'écrasement et type d'éprouvette différents). Les valeurs mesurées ne sont donc pas comparables aux valeurs utilisées pour dimensionner les remblais en COMPOSTYRENE®.

Choix de la classe d'EPS

Le fluage reste limité tant que les contraintes appliquées à l'EPS restent dans le domaine élastique du matériau. La littérature mentionne que la vitesse de fluage sous une pression de 0,4 σ_p est de l'ordre de 0,2 % par an, à une température constante de 20 °C. Pour s'assurer de rester en dessous de ces valeurs théoriques de fluage, nous limitons les charges permanentes sur nos remblais COMPOSTYRENE® à 25 % de σ_{10} (valeur inférieure à 40 % de σ_p). Les cycles de chargement – déchargement effectués dans le domaine élastique d'EPS n'engendrent pas de déformations irréversibles.

Le choix de la classe d'EPS se fait donc à partir de la classe de contrainte en compression à 10 % de déformation telle que définie dans la norme NF EN 14933. La masse volumique de l'EPS n'est plus un critère de choix en conception mais reste néanmoins utilisé par Colas pour contrôler l'homogénéité des EPS livrés.

Tableau de classification des produits EPS

EPS 40	40	60
EPS 50	50	75
EPS 60	60	100
EPS 70	70	115
EPS 80	80	125
EPS 90	90	135
EPS 100	100	150
EPS 120	120	170
EPS 150	150	200
EPS 200	200	250
EPS 250	250	350
EPS 300	300	450
EPS 350	350	525
EPS 400	400	600
EPS 450	450	675
EPS 500	500	750

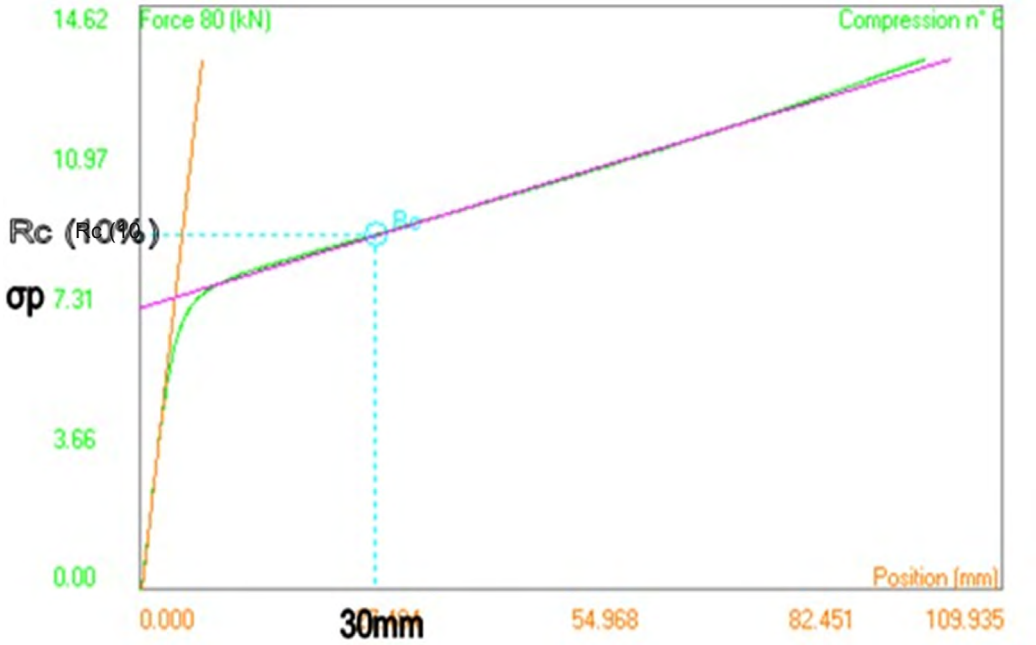
Pour étayer la méthode de détermination de la contrainte admissible dans les remblais COMPOSTYRENE®, voici le graphique issu de résultats d'une série d'essais réalisée par Colas sur des éprouvettes de 30 cm x 30 cm donc pour une surface de 0,09 m² :

Au global on obtient un Rc (10 %) = 101,5 kPa soit en présence d'un EPS 100. Le seuil de plasticité a lui été déterminé à σp = 81,2 kPa.

Si la contrainte admissible est fixée à 25 % de Rc (10 %) (ou σ_{10}), on obtient 25,3 kPa (que l'on fixera à 25 car on retient un Rc (10 %) = 100 kPa pour un EPS100).

Si l'on calcule maintenant 40 % de σ_p (valeurs en-deçà desquelles les risques de fluage sont considérés comme faibles) on obtient 32,5 kPa.

Cela démontre qu'en prenant 25 % de Rc (10 %) comme valeur de contrainte admissible, on reste sur des valeurs de contrainte admissibles inférieures à 40 % de σ_p donc sécuritaires.



3. RÉFÉRENCES

Le procédé COMPOSTYRENE® compte des réalisations qui, à ce jour, totalisent près de 350 ouvrages (remblais sur sols compressibles, sur ouvrages enterrés, franchissements de zones instables, allègement de dalles, élargissement de voiries, limitations d'emprises), représentant un volume de l'ordre de 350 000 m³.

Trois ouvrages ont fait l'objet d'une enquête par le Comité pour l'avis n°166 de 2018.

ANNÉE	LOCALISATION	DÉPARTEMENT	NATURE DU PROBLÈME TRAITÉ
1989	CD 225 – VIC LE COMTE	63	Reprise d'un glissement de terrain (1380 m³ de COMPOSTYRENE®)
2014	RD 61 – LA GRANDE MOTTE	34	Remblais sur sol compressible et allègement d'un OA (4200 m³ de COMPOSTYRENE®)
2017	RD6572 – SAINT-GILLES	30	Remblais d'accès à ouvrage provisoire sur sols compressibles (1700 m³ de COMPOSTYRENE®)

Cinq certificats de capacité concernant les chantiers suivants ont été transmis au Comité pour ce nouvel avis.

ANNÉE	LOCALISATION	DÉPARTEMENT	NATURE DU PROBLÈME TRAITÉ
2018	RD221 – Saint-Martin-en-Vercors	26	Stabilisation d'un glissement de terrain (850 m^3 de COMPOSTYRENE®)
2020	Stade Marcombes – Clermont-Ferrand	63	Allègement de dalle (450 m^3 de COMPOSTYRENE®)
203	Saint-Martin-Vésubie	06	Réaménagement parking (5 200 m^3 de COMPOSTYRENE®)
2023	Bellegarde-en-Forez	42	Stabilisation d'un glissement de terrain (55 m^3 de COMPOSTYRENE®)
2024	A64 – PS 161 – Urt	64	Remblai sur sols compressibles (1 200 m^3 de COMPOSTYRENE®)

3 AVIS DU COMITÉ

COMPOSTYRÈNE® est un procédé de remblai léger utilisé sur sols compressibles ou instables, ou pour diminuer les surcharges permanentes d'ouvrages de génie civil et routiers.

L'Avis précédent avait porté sur des remblais légers réalisés depuis 1983, jusqu'en 2018. De nouvelles références ont été ajoutées. L'ensemble des références concerne des chantiers de stabilisation de glissement de terrain, de remblais sur sols compressibles, d'élargissement de chaussée, d'allègements d'ouvrages et de comblement de cavités ou ouvrages souterrains désaffectés.

1. CARACTÉRISTIQUES DU PRODUIT ET DU PROCÉDÉ

Produit

Les caractéristiques du produit COMPOSTYRENE® sont définies au Chapitre 1 § 2.

Pour les remblais routiers continus (sans vides) ou pour les remblais à faibles sollicitations, deux classes de produits sont définis dans la norme NF EN 14933 : EPS 90 et EPS 70.

Pour les remblais routiers discontinus (avec vides), Colas utilise en général l'EPS 120 conforme à la norme NF EN 14933, produit ayant fait l'objet du brevet n° 97920772.7.

Pour les remblais routiers à fortes sollicitations, Colas utilise l'EPS 150 conforme à la norme NF EN 14933.

Sur chantier, il convient de vérifier la conformité des produits à ces classes.

Sous réserve de la vérification de la nature des produits qu'il est prévu d'utiliser en fonction de l'ouvrage, les études de laboratoire et les essais en vraie grandeur ont montré que ces produits ont des caractéristiques satisfaisant une utilisation routière.

Procédé

Au niveau des études, la procédure définie par Colas comprend :

- une étude géologique et géotechnique du site (y compris l'aspect hydrologique),
- le dimensionnement des ouvrages réalisés par le bureau d'études de Colas qui propose un projet de conception, ce dernier étant validé, si nécessaire, par un bureau de mécanique des sols extérieur à Colas.

Pour la technique des remblais avec vides, une vérification par le calcul de descente de charge et de RDM (flèche, cisaillement, ...) permet de déterminer les largeurs des vides possibles en fonction des charges statiques permanentes et du trafic.

Au niveau de la réalisation sur chantier, Colas met en application son manuel QSE ; elle s'appuie également sur les documents définissant l'état de l'art de la technique.

Quel que soit le cas – remblais avec ou sans vides – le procédé COMPOSTYRENE® apparaît bien maîtrisé par Colas.

2. COMPORTEMENT EN PLACE

Résultat des enquêtes

Pour le renouvellement de l'Avis technique n°166, l'entreprise a fourni au comité 5 certificats de capacité.

Toutes les enquêtes précédentes effectuées sur les ouvrages sélectionnés par l'IDRRIM aboutissent à la même conclusion : l'utilisation et la mise en œuvre du COMPOSTYRÈNE® en remblais n'a donné lieu à aucune pathologie ; il n'y a aucune déformation des massifs mis en œuvre, ni tassement imprévisible, si les données de l'Avis Technique sont respectées.

Par ailleurs, ces enquêtes ont montré la nécessité de soigner la mise en œuvre de la protection du COMPOSTYRÈNE® et de veiller à son entretien.

De plus, l'enquête réalisée sur l'un des ouvrages les plus anciens (1989) a permis de montrer le maintien dans la durée de l'intégrité de ce type d'ouvrage.

Le comportement de COMPOSTYRÈNE® dans les ouvrages est donc satisfaisant.

Durabilité

Depuis plus de quarante ans, Colas a réalisé en France plus de 350 chantiers en COMPOSTYRÈNE®. Sous réserve de respecter les dispositions constructives et la protection contre les agressions extérieures, notamment la protection vis-à-vis des UV ou des produits dissolvants (hydrocarbures), le COMPOSTYRÈNE® ne pose pas de problème de durabilité à l'échelle de la durée de vie d'un ouvrage routier.

À ce jour, aucun désordre imputable à une évolution des caractéristiques dans le temps du COMPOSTYRÈNE® n'a été relevé.

3. DOMAINE D'UTILISATION ET LIMITES D'EMPLOI

Les diverses utilisations proposées par Colas sont données dans le Chapitre I § 4 et correspondent à quatre fonctions principales :

- limitation des charges verticales ;
- stabilisation des glissements de terrains ;
- réduction des poussées horizontales et limitations d'emprises ;
- comblement de cavités ou d'ouvrages souterrains désaffectés.

Les chantiers réalisés à ce jour sans désordre confirment le domaine d'utilisation proposé. Les limites d'emploi de la technique à base de COMPOSTYRÈNE® sont d'ordre technique :

La plus forte épaisseur de COMPOSTYRÈNE® mise en œuvre à ce jour est de 23 mètres [MBN3.1]. Des hauteurs de remblais aussi importantes nécessitent une étude spécifique. Par ailleurs, la mise en place de COMPOSTYRÈNE® sous le niveau de l'eau doit se faire avec la plus grande prudence après vérification de la poussée d'Archimède. Il convient également de limiter les charges permanentes appliquées sur le COMPOSTYRÈNE®, conformément aux prescriptions du Chapitre 2 § 1.

4. PROCÉDURES À RESPECTER

Le Maître d'œuvre doit veiller particulièrement aux points suivants :

- existence d'une étude préalable de nature géotechnique et le cas échéant hydrologique ou hydraulique ;
- existence de l'étude de dimensionnement du remblai et des ouvrages annexes ;
- vérification de la conformité des produits utilisés aux caractéristiques des normes et aux prescriptions du marché ;
- contenu du PAQ et du PPSPS de Colas et contrôle de leur application effective au chantier.

À l'issue du chantier, le Maître d'ouvrage doit prévoir un suivi de l'ouvrage par des visites périodiques : contrôle visuel, relevé des déformations éventuelles, désordres sur le remblai lui-même ou sur les ouvrages annexes.

5. DOCUMENTS ET RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES EXISTANTS

- Guide technique CFTR, édité par le SETRA : Utilisation du polystyrène expansé en construction routière, septembre 2006
- Bulletin d'information technique – Direction du laboratoire des chaussées – Québec, novembre 1996 – Technique de Pneusol pour contrer l'effet Marston.
- Norme NF EN 14933 : Produits isolants thermiques et de remblayage pour les applications de génie civil - Produits manufacturés en polystyrène expansé (EPS) – Spécifications. AFNOR, mai 2008.
- Remblais et fondations sur sols compressibles : MAGNAN JP – ENPC, 1984
- New techniques for building embankments on soft soils ; Chapter 5, in "Embankments on soft clays", Bull of the public Works Res. Cent (KEDE), Athens, Special Publication, DELMAS P – MAGNAN JP – SOYEZ B, 1987
- Plastic foam in road embankments. Norwegian Road Research Laboratory, Oslo, Meddelelse, 61, FRYDENLUND TE – MYHRE O – REFSDAL G – AABOE R, 1987
- Conference on plastic foam in road embankments Preprints, Norwegian Road Research Laboratory, Oslo, June 1985
- Remblais légers en polystyrène expansé, Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, série thématique, REF : TH REM LEG, 1985
- Polystyrene foam fill. Deflections, friction, impact, Norwegian Road Research Laboratory, International. Report, 801: FLYNN RT, avril 1978
- Mechanical properties of expanded polystyrene as a lightweight fill materiel. Proceedings, 9th Southeast Asian Geotechnical Conference, Bangkok : HAMADA E – YAMAMOUCHI T , décembre 1987
- Propriétés mécaniques du polystyrène expansé pour ses applications en remblai routier, Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées n°164 : MAGNAN JP – SERRATRICE JF, novembre 1989

Document réalisé par l'Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité
IDRRIM – 9, rue de Berri 75008 PARIS
Téléphone : 01.44.13.32.99
E-mail : idrrim@idrrim.com

Disponible en téléchargement sur www.idrrim.com

Référence du document : AT 2026 170

Avertissement : Le présent avis est destiné à donner une information rapide. La contrepartie de cette rapidité est le risque d'erreur et de non exhaustivité. Ce document ne peut en aucun cas engager la responsabilité ni des auteurs, ni de l'Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité.

Cet avis technique a été préparé par le groupe spécialisé *« Remblais Allégés »* du comité Avis de l'IDRRIM.

IDRRIM

INSTITUT DES ROUTES, DES RUES ET DES INFRASTRUCTURES POUR LA MOBILITÉ

9, rue de Berri - 75008 Paris - Tél : +33 1 44 13 32 99

www.idrrim.com - idrrim@idrrim.com

@IDRRIM - PIARC France

Association loi 1901

Tracer ensemble les voies durables de la mobilité

Crédits photos : Tous droits réservés