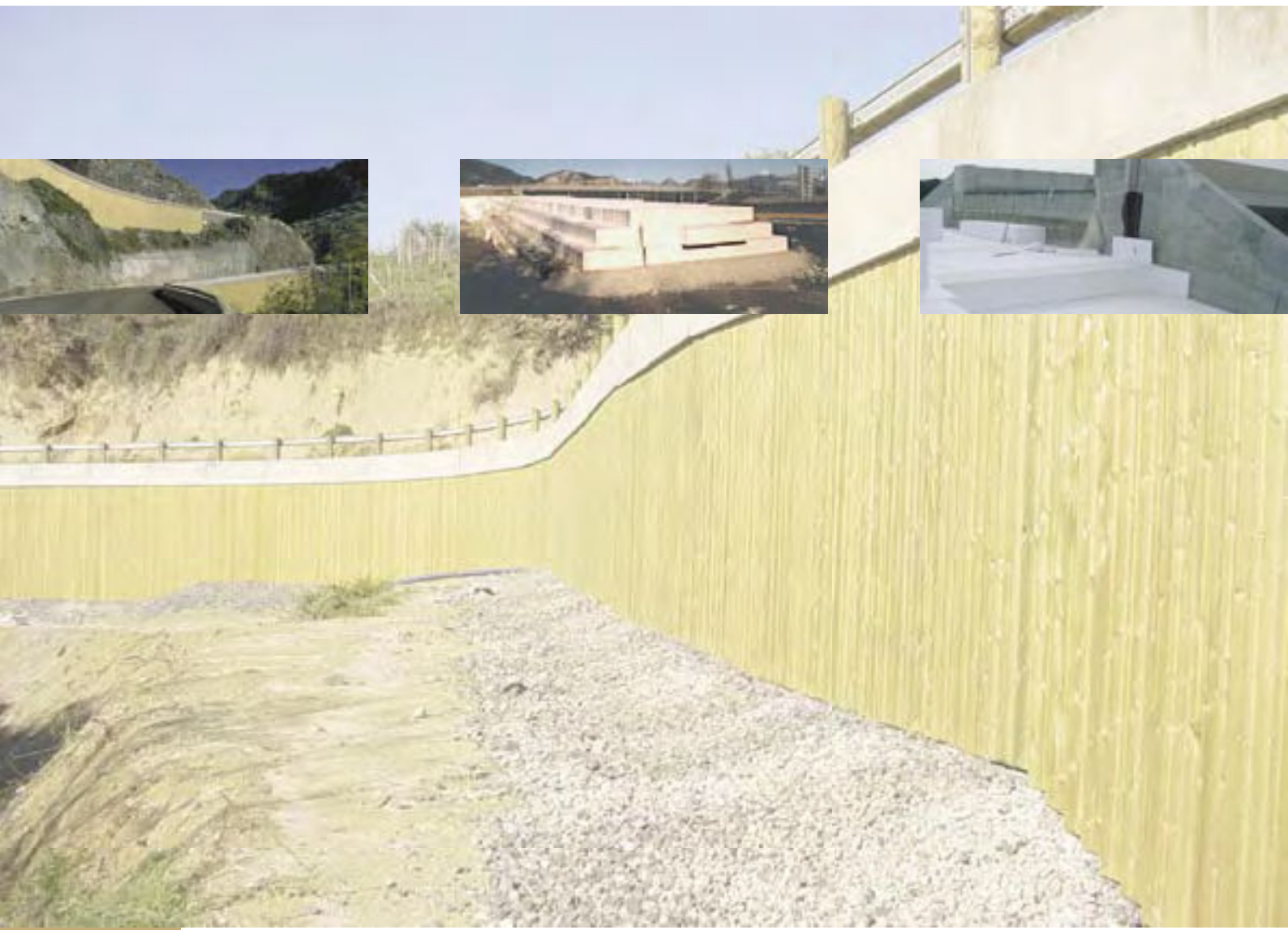


Guide technique

Utilisation du polystyrène expansé en construction routière



pages laissée intentionnellement blanche

Guide technique

Utilisation du polystyrène expansé en construction routière

— — — — —
Edité par le Sétra, réalisé par le Comité français pour les techniques routières (CFTR)



Le CFTR est une structure fédérative qui réunit les différentes composantes de la communauté routière française afin d'élaborer une expression de l'état de l'art partagée par tous et servant de référence aux professionnels routiers dans les domaines des chaussées, des terrassements et de l'assainissement routier.

Actions principales du CFTR

- établissement de documents exprimant l'état de l'art,
- élaboration d'avis techniques sur l'aptitude à l'emploi de procédés, produits et matériels, ainsi que de documents de qualification pour les matériels,
- délivrance d'agrément pour les laboratoires routiers,
- mise en œuvre de procédures de certification et de conformité aux normes.



Comité français pour les techniques routières
10 rue Washington 75008 Paris
téléphone : 33 (0)1 44 13 32 84 - télécopie : 33 (0)1 42 25 89 99
mél : cftr@usirf.com
internet : <http://www.cftr.asso.fr>



Ce guide technique a été rédigé, dans le cadre des activités du comité sectoriel "méthodologie" du Comité français pour les techniques routières (CFTR), par un groupe de travail constitué de représentants du réseau scientifique et technique du ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer, des directions techniques des entreprises et des producteurs dans le domaine routier.

Son contenu a fait l'objet d'une enquête de validation auprès des différents adhérents du CFTR.

Comité de rédaction :

Hervé Tessonneau, SCREG Sud-Est

Jean-Pierre Khizardjian, Centre d'Études Techniques de Équipement de Lyon (en retraite)

Bernard Bescond, Centre d'Études Techniques de Équipement Méditerranée

François de Saint Amand, Scetauroute

Yves Perrocheau, Eurovia Management

Patrice Chardard, Fougerolle - Ballot

Crédit photos

L'ensemble des figures, photos et tableaux ont été fournis par SCREG, à l'exception des figures 1, 2, 3, 6, 7, 10, 11 et 12, du tableau 1 et des tableaux de l'annexe 3 qui sont issus du guide technique "Utilisation du polystyrène expansé en remblais routier" édité en 1990 par le LCPC et le Sétra.

Sommaire

| | |
|---|----|
| Domaine d'utilisation du polystyrène expansé en construction routière | 5 |
| Allègement des remblais sur sols compressibles. | 5 |
| Allègement des remblais contre les ouvrages d'art | 6 |
| Allègement des remblais sur versants instables | 7 |
| Réduction des efforts horizontaux | 8 |
| Autres applications | 8 |
| Choix du matériau | 10 |
| Propriétés type du polystyrène expansé. | 11 |
| Méthodes de mesure des propriétés du polystyrène expansé | 11 |
| Dimensionnement et dispositions constructives des ouvrages | 12 |
| Les étapes du dimensionnement | 12 |
| Les dispositifs de retenue | 13 |
| Mise en œuvre du polystyrène | 14 |
| Dimensions des blocs et tolérances. | 14 |
| Fabrication | 14 |
| Repérage des blocs. | 14 |
| Contrôle du polystyrène. | 15 |
| Mise en œuvre de remblais en polystyrène expansé | 16 |
| Travaux annexes | 18 |
| Durabilité | 20 |
| Protection contre les hydrocarbures | 20 |
| Protection contre le feu | 21 |
| Protection contre les ultraviolets | 21 |
| Protection contre le vent et la pluie | 21 |
| Contrôles | 22 |
| Annexe 1 – Bibliographie | 24 |
| Annexe 2 – Méthodes de calcul | 27 |
| Annexe 3 – Propriétés forfaitaires des polystyrènes expansés pour les applications routières | 31 |
| Annexe 4 – Quelques référence depuis 1996 | 32 |



D'abord employé comme couche d'isolation thermique dans les structures de chaussées, le polystyrène expansé a été utilisé pour la première fois en remblai en 1972 en Norvège, à l'initiative du Laboratoire de Recherche Routière Norvégien (pont de Flom, près d'Oslo), et aux États-Unis (pont de Pickford, dans l'état du Michigan).

Depuis cette date, de nombreux chantiers en polystyrène expansé ont été réalisés dans plus de 25 pays au monde, principalement en Norvège, France, Canada, Pays Bas, Suède, Japon, Grande Bretagne, Belgique.

En France, plus de 200 chantiers sont actuellement réalisés.

L'expérience acquise sur le terrain, en parallèle à des études détaillées des propriétés mécaniques du polystyrène expansé en laboratoire, est maintenant importante pour que des recommandations puissent être données quant à l'emploi de cette technique de construction en remblais allégés.

Ces recommandations portent sur :

- le choix du matériau ;
- les règles de dimensionnement des remblais allégés ;
- la mise en œuvre du polystyrène expansé ;
- les précautions à prendre pour assurer la durabilité du remblai allégé ;
- les procédures de contrôle.

Il est donné, en annexe 1, une liste de textes de référence, la description de méthodes de calcul et un tableau des valeurs forfaitaires des caractéristiques mécaniques du polystyrène expansé pour les applications routières.

Domaine d'utilisation du polystyrène expansé en construction routière

On peut classer les applications actuelles du polystyrène expansé en construction routière en 4 classes :

- allègement des remblais sur sols compressibles ;
- allègement des remblais sur versants instables ;
- réduction des efforts horizontaux ;
- autres applications :
 - réduction de l'effet "Marston" ;
 - protection des chaussées contre le gel ;
 - diminution des phénomènes vibratoires.

Les deux premières classes d'application utilisent la très faible densité du polystyrène expansé.

La troisième classe s'appuie sur la faiblesse des déformations horizontales du polystyrène sous charge verticale.

La quatrième classe s'appuie sur diverses qualités du polystyrène expansé qui jouent un rôle de répartition de contraintes, d'écran thermique ou d'amortisseur vibratoire.

Les principes de dimensionnement des utilisations du polystyrène expansé présentent certaines spécificités, mais les règles de mise en œuvre du polystyrène et de choix du matériau sont les mêmes dans tous les cas.

Allègement des remblais sur sols compressibles

Le remplacement d'une partie d'un remblai existant par des blocs de polystyrène expansé (*figure 1*) constitue une technique fiable et efficace pour réduire les tassements des remblais sur sols compressibles.

Cette technique d'allègement est ainsi utilisée au voisinage de points durs (ouvrages d'art fondés sur pieux, transition d'un substratum rocheux à un sol très compressible, etc.) lorsque la poursuite des tassements est inacceptable.

Nota : dans certains cas, nous pouvons limiter les tassements à long terme en remplaçant une partie du remblai après préchargement par du polystyrène.

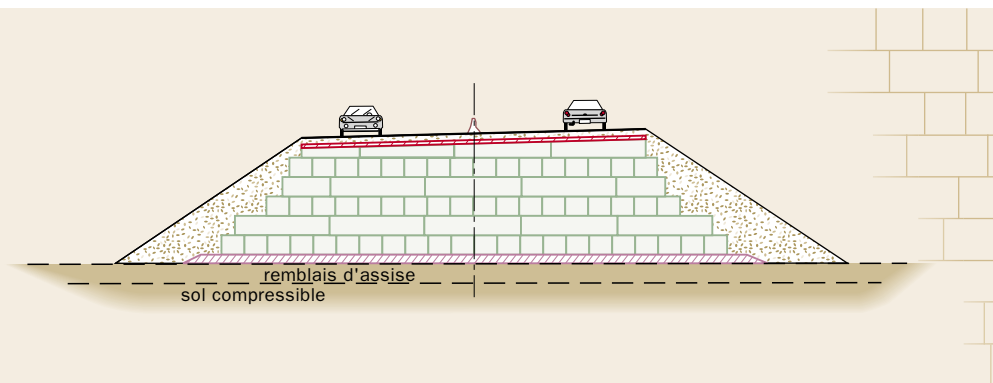


Photo et figure 1 : allègement d'un remblai sur sol compressible

Allègement des remblais contre les ouvrages d'art

En ouvrage neuf, l'utilisation de polystyrène expansé peut être envisagée à proximité d'un ouvrage d'art fondé sur pieux, pour limiter les efforts horizontaux sur les pieux et sur les culées (*figure 2*), la solution la plus économique restant très souvent de construire le remblai avant les pieux et la culée, de façon à précharger le sol.

Cette solution est également assez fréquemment utilisée en réparation derrière des culées sous dimensionnées vis-à-vis des efforts parasites.

Nota : la disposition de la *figure 2* est justifiée par la nécessité de ne pas trop charger les blocs au-delà de la limite de fluage.

La construction de remblais neufs allégés intervient généralement après pré-chargement des sols compressibles pour modifier favorablement l'évolution des tassements dans le temps.

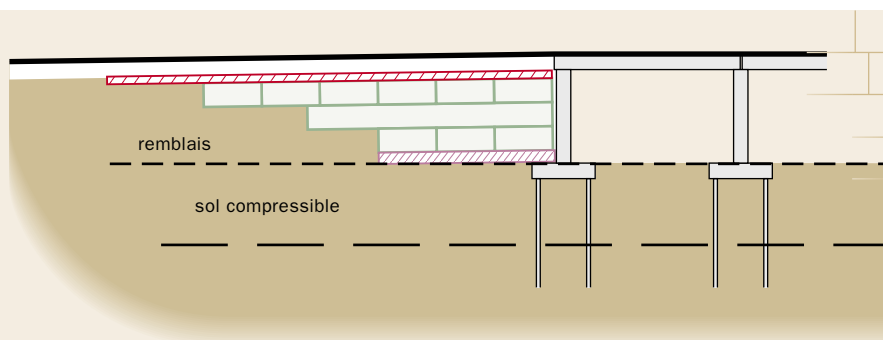


Photo et figure 2 : allègement d'un remblai d'accès à un pont

Allègement des remblais sur versants instables

L'utilisation de polystyrène expansé peut faciliter la réparation des routes emportées par des glissements de terrain ou la construction de remblais neufs sur versants instables (*figure 3*). La fiabilité de cette solution d'allègement dépend toutefois beaucoup de la qualité des études du site considéré. L'allègement du remblai est souvent accompagné d'autres mesures de stabilisation du versant.



Photo 4 : exemple de confortement amont par paroi clouée.



Photo 5 : réparation d'un glissement de terrain sur pente



Photo 3 : exemple de glissement de terrain sur pente

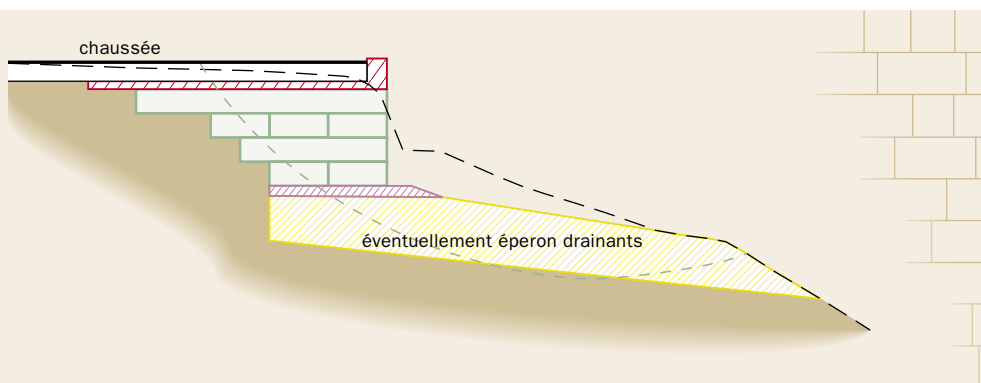


Figure 3 : réparation d'un glissement de remblai sur pente

Réduction des efforts horizontaux

La mise en place d'un massif de polystyrène expansé à parement vertical derrière un ouvrage de soutènement, avec un vide entre le polystyrène et le mur, peut constituer dans certains cas, une solution économique pour construire ou réparer un ouvrage de soutènement ou élargir une route (*photo 6*).

Autres applications

Effet "Marston" sur ouvrages enterrés dans les remblais

Les études ont démontré que les structures rigides qui sont construites sous une importante épaisseur de remblai et fondées sur des sols résistants subissent des contraintes qui peuvent atteindre jusqu'à deux fois le poids des terres qu'elles supportent. Ce phénomène, appelé effet "Marston", est dû au tassement différentiel entre l'ouvrage enterré et le remblai.

Le phénomène inverse se produit dans les mêmes conditions dans le cas des ouvrages flexibles : les déformations de la structure sous les charges de remblai créent un effet de voûte dans le remblai au-dessus de l'ouvrage, diminuant la charge sur ce dernier en la transférant au sol environnant. La mise en place d'un noyau compressible au-dessus d'une structure rigide permet de créer le même phénomène. Il devient alors possible de contrer l'effet Marston et de construire un remblai de grande épaisseur, tout en limitant le dimensionnement de la structure de béton et en permettant, dans le cas du Pneusol, le recyclage de pneus usagés. (Bulletin d'information technique – Direction du laboratoire des chaussées – Québec – novembre 1996) (*figure 4*) [1].



Photo 6 : remblai contre les fondations d'une habitation

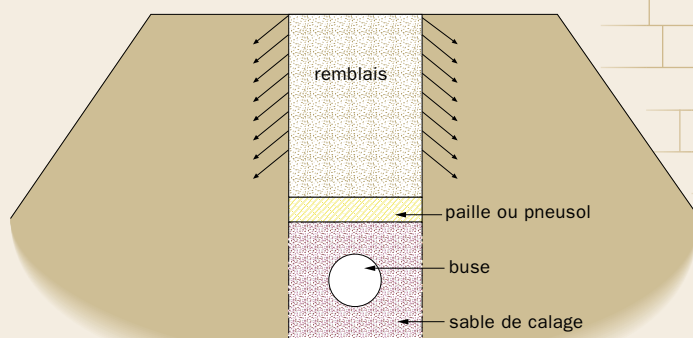


Figure 4 : effet "Marston"

Aujourd'hui, l'utilisation du polystyrène très léger comme matériau de remblai au dessus d'une structure rigide peut conduire à limiter très sensiblement la charge appliquée sur cette conduite (*figure 5*).

En effet, le polystyrène ne travaille pas par sa souplesse, comme le fait le Pneusol mais par sa légèreté. Comme le polystyrène ne supporte pas les surcharges, il est monté jusqu'au niveau inférieur de la chaussée.

Nota : actuellement il n'y a pas d'expérience où l'on a remplacé la paille, ou du Pneusol, par du PSE, mais une telle disposition pourrait probablement faire l'objet d'applications expérimentales (*photo 7*).

Protection des chaussées contre le gel

Les polystyrènes expansés de forte densité (34 kg/m^3) possèdent des coefficients de conductivité thermique de l'ordre de $0,034 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ce qui permet, avec une faible épaisseur, de protéger efficacement un fond de forme gélif.

Diminution du phénomène vibratoire : technique de la dalle frottante

Dans certains cas de type voie de tramway proche des habitations ($< 7 \text{ m}$), il peut être intéressant de couler la dalle béton de calage sur polystyrène expansé.

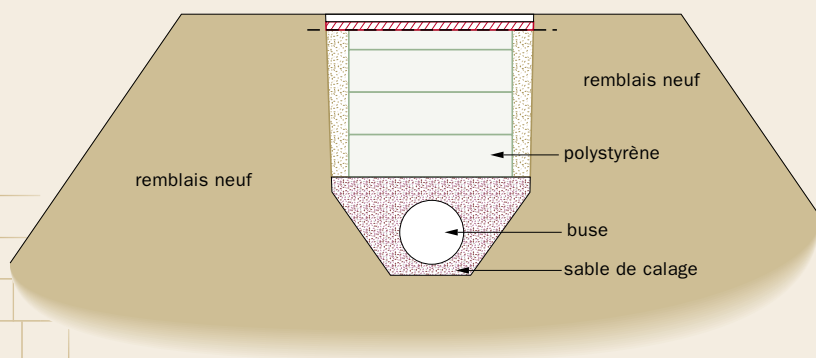


Figure 5 : remblai allégé sur une buse



Photo 7 : remblai allégé sur une conduite forcée

Choix du matériau

Pour la construction de remblais routiers allégés, les propriétés essentielles du polystyrène expansé sont :

- sa faible masse volumique ;
- ses caractéristiques de déformabilité instantanée et différée ;
- sa durabilité (plus de 30 ans d'expérience actuellement).

La densité du polystyrène expansé détermine l'essentiel de ses propriétés physiques et mécaniques. La norme AFNOR NF T 56-201 [2], élaborée pour les applications du polystyrène expansé dans le domaine des emballages et du bâtiment, malgré ses déficiences pour la caractérisation mécanique du polystyrène expansé, est cependant utilisée pour caractériser ce matériau.

Cette norme NF T 56-201 définit treize références de polystyrène expansé, mais pour la construction routière seuls les polystyrènes expansés EM et FM sont utilisés.

| | Pour les remblais routiers | | | | | | |
|---|----------------------------|----|----|----|----|-----|-----|
| Références | AM | BM | CM | DM | EM | FM | GM |
| Contrainte (kPa) pour $\varepsilon = 10\%$ | / | 30 | 50 | 70 | 90 | 140 | 190 |
| Masse volumique minimale (kg/m^3) | 7 | 10 | 13 | 15 | 19 | 24 | 29 |

Tableau 1 : qualités du polystyrène expansé produites en France (extrait de la norme NF T 56-201) – plaques découpées dans des blocs moulés

Pour des utilisations spécifiques, des polystyrènes expansés à caractéristiques plus élevées, ou de nature différente (plaques moulées en continu extrudées), peuvent être fabriqués notamment pour l'isolation thermique.



Photo 8 : stock de polystyrène expansé sur chantier

Propriétés type du polystyrène expansé

La courbe de compression type du polystyrène expansé utilisé pour les remblais routiers suit la forme représentée sur la *figure 6*.

Elle se caractérise par :

- 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 ;
- une contrainte à $\epsilon = 10\%$ dépendant de la vitesse de déformation.

Le module de Young sécant est la pente de la ligne droite OP joignant l'origine O de la courbe contrainte axiale/déformation à un point donné P de la courbe correspondant à un pourcentage fixé de la résistance au pic (de par la norme : 10 %).

Le fluage reste limité tant que les contraintes appliquées au polystyrène sont faibles. On ne dispose encore que de données partielles sur les vitesses de fluage. Pour un polystyrène expansé de masse volumique 19 kg/m^3 , la vitesse de fluage sous une pression de $0,4 \sigma_p$ est de l'ordre de $0,2\%$ par an, à une température constante de 20°C . La vitesse de fluage augmente nettement avec la charge appliquée. L'expérience montre que pour être à l'abri de ce phénomène, nous ne dépassons pas 25% de σ_p .

Pour sa part, la température semble influencer assez peu la vitesse de fluage pour les charges limitées à 40% du seuil de plastification. Son influence croît rapidement avec le niveau de contrainte.

Les chargements cycliques ne produisent pas de déformations permanentes, tant qu'ils restent inférieurs aux limites indiquées ci-dessus.

L'expérience montre que lorsqu'il est immergé dans l'eau, le polystyrène expansé n'en absorbe que des quantités très faibles (moins de 1% en volume en cas d'immersion épisodique ; de 4 à 9% en cas d'immersion continue pendant de longues périodes). Ce phénomène pourrait donc être négligé. Néanmoins, par sécurité, une masse volumique de 100 kg/m^3 sera

choisie pour le calcul des contraintes sous les blocs (cette densité a été atteinte dans des blocs immergés pendant neuf ans).

Le coefficient de frottement de surface des blocs de polystyrène expansé (rapport de l'effort tangentiel à l'effort normal) est au moins égal à $0,5$ (ce qui correspond à un angle de frottement entre blocs de 27°).

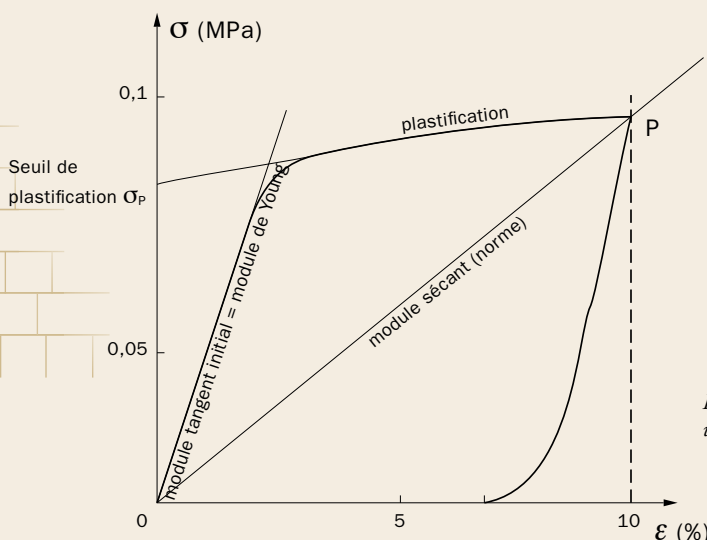
Méthodes de mesure des propriétés du polystyrène expansé

Dans la mesure où les commandes de matériau pour les applications routières feront référence à la norme NF T 56-201 [2], le contrôle des propriétés du polystyrène expansé prévues dans cette norme se fera en suivant les indications de la norme. Ce sera notamment le cas pour la mesure de la masse volumique, dont la procédure est fixée par la norme NF EN ISO 845 de juillet 1995 [3].

Pour les propriétés mécaniques du polystyrène propres à la construction routière, les valeurs fixées par la norme ne sont pas représentatives du comportement réel du polystyrène, car elles fixent un module sécant pour des contraintes supérieures au seuil de plasticité. De plus, les vitesses d'essai de déformation imposées par la norme NF T 56-101 [4] sont très élevées ($10\%/min$), ce qui augmente la résistance apparente du matériau (tant par effet de viscosité que par la participation de l'air occlus à la résistance à la compression).

On préférera des vitesses de déformation de l'ordre de $0,6\%/h$ environ, ce qui correspond à l'application de la totalité de la charge admissible en une heure. Les essais seront réalisés de préférence sur des éprouvettes cylindriques d'élanement 2 et de diamètre au moins égal à 5 cm , en utilisant les appareillages d'essai existant dans les laboratoires de mécanique des sols. Il est souhaitable de réaliser ces essais à température constante, représentative de la situation du polystyrène en place.

Les résultats ont confirmé que les caractéristiques mécaniques sont bien liées à la masse volumique. Il s'agit donc du point le plus important à surveiller.



Principe de l'essai de compression (Norme NF T 56-101)

Application, à vitesse constante, d'un effort de compression de direction axiale sur les faces d'une éprouvette parallélépipédique rectangle. Calcul de la contrainte maximale supportée par l'éprouvette.

Contrainte en compression à 10 % de déformation relative (σ_{10}) : quotient de la force de compression F_{10} , correspondant à une déformation relative $\epsilon_{10} = 10\%$, par la surface initiale de la section droite de l'éprouvette.

Figure 6 : courbe de déformation du polystyrène expansé de masse volumique 19 kg/m^3 en compression simple

Dimensionnement et dispositions constructives des ouvrages

Les étapes du dimensionnement

1 L'épaisseur de polystyrène à mettre en œuvre est liée à la charge que l'on souhaite imposer au sol de fondation. On calcule cette charge par les méthodes courantes de la mécanique des sols, compte tenu des déformations admissibles pendant les différentes phases de la vie de l'ouvrage et/ou des conditions de stabilité de l'ouvrage. La charge ainsi déterminée est ensuite répartie entre l'épaisseur de polystyrène avec sa dalle béton, l'épaisseur de remblai en matériaux courants et l'épaisseur des couches de chaussées ;

2 La position du polystyrène expansé se situe toujours en haut du remblai, juste sous la dalle béton et les couches de chaussées afin d'éviter tout risque de fluage.

En règle générale, dans tout site inondable, on émettra l'hypothèse que le remblai peut être recouvert d'eau pour vérifier sa stabilité à la submersion.

L'action du vent, particulièrement pendant les phases de construction et les impacts accidentels de véhicules, doit être également pris en considération. Des méthodes de calcul sont proposées en annexe pour ces deux dernières actions.

La protection du polystyrène contre les hydrocarbures est assurée en surface par une dalle béton armée d'un treillis soudé, qui sert de couche de roulement pendant le chantier (sur 20 cm de GNT) et participe à la répartition des contraintes sous la chaussée.

Il s'agit d'une dalle routière et qui ne s'apparente pas à une dalle d'ouvrage d'art (avec toutes les règles qui lui seraient liées).

La protection latérale est explicitée dans les travaux annexes page 19



Photo 9 : parement en bardage métallique



Photo 10 : parement en mousse de PVC



Photo 11 : habillage en pierre de pays

L'ensemble de ces protections assure également plusieurs rôles dans l'environnement du remblai léger :

- disposition d'aspect et d'esthétique ;
- protection contre les ultraviolets ;
- protection contre les hydrocarbures ;
- protection éventuelle contre le feu (notamment pour les solutions en béton projeté ou éléments béton préfabriqués).

La structure de la chaussée peut être calculée en utilisant les méthodes classiques de la mécanique des chaussées. La structure retenue doit avoir à la fois de bonnes propriétés mécaniques et thermiques afin d'éviter l'apparition préférentielle de verglas dans les zones traitées. Si la zone traitée a un comportement au gel et au dégel différent de celui des sections adjacentes, il faut en prévoir la surveillance comme pour un ouvrage d'art. Il faut noter aussi que l'on ne peut pas utiliser de rouleaux lourds vibrants pour le compactage et qu'il faut en tenir compte lors du choix de la structure de la chaussée.

Les dispositifs de retenue

Ceux-ci peuvent être réalisés de plusieurs façons :

- glissières GS2 ou glissières bois ou mixtes ;
- glissières BN4 ;
- glissières DBA de 60 ou 80 cm.

Dans tous les cas de figure, le concepteur devra s'assurer des dispositions constructives nécessaires à la mise en place de ces éléments pour respecter les normes :

- PRNF EN 1317-2/A1 : dispositifs de retenue routiers - Partie 2 : classes de performance, critères d'acceptation des essais de choc et méthodes d'essai pour les glissières de sécurité. AFNOR, juillet 2002 ;
- XP – ENV 1317-4 : dispositifs de retenue routiers - Partie 4 : classes de performance, critères d'acceptation des essais de choc et méthodes d'essai des extrémités et raccordements des glissières de sécurité. AFNOR, avril 2002 ;
- NF P 98-410 : barrières de sécurité routières - Glissières de sécurité en acier (profils A et B) - Composition, fonctionnement et performances de retenue. AFNOR, avril 1991 ;
- NF P 98-411 : barrières de sécurité routières - Glissières de sécurité en acier (profils A et B) - Dimensions et spécifications techniques de fabrication des éléments de glissement. AFNOR, avril 1991 ;
- NF P 98-412 : barrières de sécurité routières - glissières de sécurité en acier - Accessoires de fixation. Caractéristiques dimensionnelles. Spécifications de fabrication et de livraison. AFNOR, septembre 1997 ;
- NF P 98-413 : barrières de sécurité routières - glissières de sécurité en acier (profils A et B) - conditions d'implantation et spécifications de montage. AFNOR, avril 1991.



Photo 12 : parement en béton projeté



Photo 13 : parement en éléments béton préfabriqués

Mise en œuvre du polystyrène

Dimensions des blocs et tolérances

Les dimensions des blocs doivent être fixées par un plan de calepinage, établi par l'entrepreneur chargé des travaux, et faisant apparaître clairement, pour chaque phase d'exécution, l'assemblage des blocs et leurs découpes éventuelles, ainsi que la nomenclature des blocs découpés et leur emplacement dans le massif. Ce plan doit être établi pour chaque couche élémentaire.

Les directions des blocs des couches élémentaires seront si possible alternées, en veillant à ce que les joints de deux couches successives ne soient jamais superposés. Lors de l'établissement du plan de calepinage, on tiendra compte du tassement et de la mise en place des blocs lors de la mise en œuvre des charges permanentes (dalle béton et chaussée).

Fabrication

La longueur, la largeur et l'épaisseur des blocs doivent être respectées avec une tolérance de plus ou moins 0,5 %.

En l'absence d'autres éléments garantissant leur stabilité dimensionnelle, les blocs doivent être entreposés pendant une période de stabilisation d'au moins trois semaines après leur fabrication, avant d'être découpés et livrés sur le chantier.

Les blocs sont généralement découpés en usine au fil chaud, aux mesures définies par le plan de calepinage. Toutefois, dans le cas de découpes compliquées (à l'arrière de culées, par exemple), il est souhaitable de réaliser celles-ci sur le chantier en fonction des mesures réelles et au fur et à mesure de l'assemblage.

Pour le transport, les arêtes devront être protégées au niveau des sangles d'amarrage, par des cornières en bois ou en plastique.

Repérage des blocs

Pour faciliter le contrôle de la qualité, chaque bloc devra porter le nom ou code du fabricant, sa date de fabrication et sa référence suivant la norme NF T 56-201 [2].

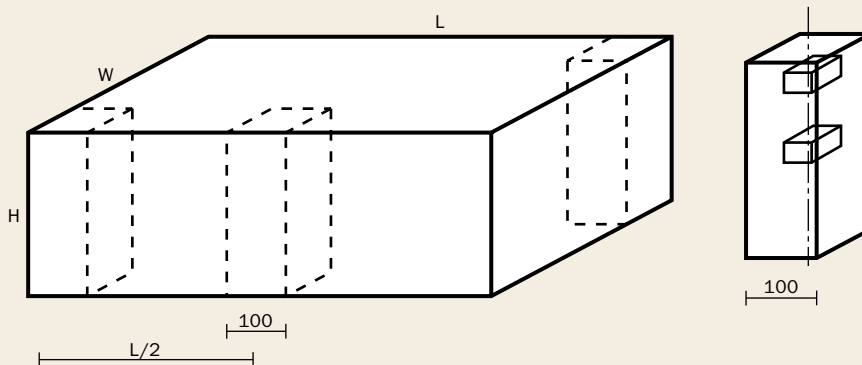


Figure 7 : disposition des essais de réception des blocs de polystyrène

Contrôle du polystyrène

Suivant le PAQ du fournisseur, il est procédé en usine à une série d'essais de réception comportant le contrôle des caractéristiques suivantes :

- masse volumique du solide total apparent (selon les conditions définies dans la norme NF EN ISO 845 [3]) ;
- dimensions des blocs (selon les conditions définies par les normes NF EN ISO 1923 [5] et NF T 56-121 [6]) ;
- limite d'élasticité (dans un essai de compression simple sur éprouvette cylindrique d'au moins 5 cm de diamètre et 10 cm de hauteur, avec une vitesse de déformation de 0,6 % par heure).

Ces essais de contrôle sont effectués après stabilisation sur chaque lot. Si les contrôles sont non conformes, le lot est déclassé pour une autre utilisation.

Les contrôles de masse volumique et de dimensions seront réalisés sur les blocs entiers. Les contrôles de la limite d'élasticité seront réalisés sur des éprouvettes taillées dans les blocs selon le plan indiqué sur la *figure 7*.

Le nombre des essais de contrôle pourra être modulé selon les procédures d'assurance de qualités mises en place pour le chantier (PAQ). L'objectif est d'assurer que chaque bloc soit conforme aux exigences de la norme pour la classe de polystyrène expansé choisie.

Le nombre de blocs et d'essais soumis au contrôle de la limite d'élasticité est conseillé selon la répartition suivante :

- un prélèvement pour les remblais $\leq 300 \text{ m}^3$;
- un prélèvement supplémentaire tous les 500 m^3 ;
- un prélèvement sur un bloc donne lieu à trois essais.

(Photos 14 et 15)



Photos 14 et 15 : matériel de laboratoire pour essais sur le polystyrène

Mise en œuvre de remblais en polystyrène expansé

Lit de pose

Les blocs de polystyrène expansé doivent être disposés sur une couche de 20/40 concassé de 10 à 20 cm d'épaisseur reposant elle-même sur un fond de forme stable et réglé dans le sens longitudinal et dans le sens transversal conformément aux plans d'exécution du chantier.

Les éventuels sillons laissés par les engins de réglage et ceux de transport seront éliminés par ratissage manuel surtout pour les remblais auto-stables où le 20/40 concassé peut être remplacé par un sable 0/6 concassé (chantiers où il n'y a aucun risque de glissement).

Dans certains cas, un ballast type 40/70 peut être intéressant pour éviter tout risque de déplacements horizontaux.

Les blocs seront mis en œuvre conformément au plan de calepinage par lits de direction si possible alternés, ou en tout état de cause par joints alternés.

Les vides entre blocs seront inférieurs à 5 cm. Chaque bloc sera positionné par rapport aux blocs précédemment mis en place, de manière à ce que le décalage par rapport au plan de calepinage pris par rapport à la première couche soit le plus faible possible.

La rectitude de la pose des blocs du premier lit devra être particulièrement surveillée. Un nouveau réglage localisé du lit de pose pouvant être nécessaire si la position des blocs n'est pas acceptable.



Photo 16 : remplissage arrière par chutes de polystyrène



Photo 17 : montage du remblai contre une paroi clouée



Dans le cas où une variante utiliserait des vides de taille supérieure, elle devrait être justifiée par une note de calcul et des références afin de prendre en considération les contraintes et la qualité de polystyrène qui en découlerait.

Il n'est pas nécessaire de coller les blocs mais des dispositions doivent être prises pour éviter qu'ils ne glissent les uns par rapport aux autres. On peut, par exemple, utiliser des connecteurs métalliques.

Raccordement aux talus arrières

Les matériaux de remplissage de l'interstice entre le talus arrière et le remblai proprement dit en polystyrène expansé seront des matériaux légers de type chutes de polystyrène expansé afin d'éviter au maximum les poussées et de laisser passer au mieux les infiltrations d'eau. Aucun matériel de compactage ne doit intervenir à cet emplacement (*photos 16 et 17*).

Précaution

À chaque interruption de chantier, et au fur et à mesure du montage en cas de vent, les blocs mis en place seront arrimés par tout moyen qui ne soit pas de nature à endommager les blocs ou le massif.

Il sera interdit de fumer ou faire du feu à proximité du stock de polystyrène et du chantier de mise en œuvre.

Le remplacement des blocs défectueux ou endommagés doit être prévu dans le marché de travaux.

Travaux annexes

Le massif de polystyrène est surmonté par une dalle de protection et de répartition des charges en béton armé d'un treillis soudé dont le dimensionnement devra être justifié en fonction des contraintes de trafic :

- nombre de poids lourds ;
- contraintes tangentielles ;
- pentes, etc.

Dimensions de la dalle

La dalle en béton aura une épaisseur minimum de 10 cm (trafics faibles). Elle débordera dans le profil en long, sur le remblai contigu d'au moins 1 mètre afin de s'affranchir de dénivellations dangereuses pour la circulation (*figure 2*)

La qualité de la surface devra être telle qu'elle ne devra pas entraîner de rétention d'eau significative et l'épaisseur devra être constante et au moins égale à l'épaisseur contractuelle.

Dans le cas de rattrapage de profils en escaliers (cas de devers), celui-ci devra être prévu par augmentation en conséquence de l'épaisseur de la dalle.

Pour des raisons de fluage, la charge au dessus du bloc n'exécède en général pas 1 m de terre (*figure 8*).

Une contrainte maximum de 0,02 MPa doit être environ respectée pour garantir de ne pas avoir de fluage à long terme. Ceci tient compte des matériaux de couverture et éventuellement de la glissière de sécurité type GBA.

Coffrage

Les bords de la dalle seront délimités par des coffrages plans grossiers placés à l'extérieur du massif de polystyrène expansé.

Treillis soudé

Le ferrailage dépend du rôle assigné à la dalle dans le fonctionnement d'ensemble de la structure. Dans le cas d'une dalle courante, d'une dizaine de centimètres d'épaisseur, le treillis soudé d'armatures sera mis en oeuvre au voisinage du 1/3 inférieur de la dalle de béton armé à construire.

Ainsi, pour une dalle de 10 cm, on disposera soit les panneaux, soit les rouleaux de treillis soudés, sur des cales de 3 cm d'épaisseur en densité suffisante et dont la surface d'appui sur le polystyrène sera suffisante aussi pour ne pas le poinçonner (à titre indicatif, 10 x 10 cm, au minimum).

Il est recommandé au minimum un treillis ST 40C.

L'extrémité des rouleaux situés à l'origine de l'enroulement sera redressée au mieux et suffisamment lestée et attachée pour éviter qu'elle ne remonte et sorte de la dalle. Les recouvrements entre panneaux ou rouleaux seront de 50 cm et devront intéresser trois fils, conformément à l'article 31.1.4 du titre VI du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes (CPC) [7].

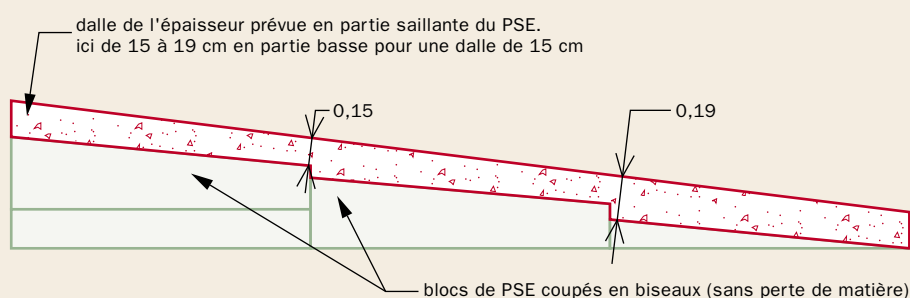


Figure 8 : rattrapage du profil en travers

Composition du béton

La composition du béton dépend, comme le ferrailage, du rôle assigné à la dalle dans le fonctionnement d'ensemble de la structure. À titre indicatif, pour une dalle classique de 10 cm, on peut utiliser un béton de résistance B30 et de dosage 350 kg de ciment par m³ de béton. La consistance du béton frais devra permettre une bonne maniabilité.

Nota : Les règles du BAEL [8] ne sont pas applicables à ces dalles, et il faut considérer la dalle comme une dalle d'assise de chaussée.

Tolérance sur les dimensions

La tolérance sur le tracé de la dalle peut être fixée à plus ou moins 5 cm par rapport aux bases d'implantation de l'ouvrage à construire (axe en plan et profil en long).

Protection latérale du massif de polystyrène expansé

La protection du polystyrène expansé peut être assurée de différentes façons. Dans le cas d'un empilement de blocs en gradins, comme figuré sur la *figure 9*, la solution la plus simple consiste à réaliser un talus en matériau d'au moins 50 cm d'épaisseur. On peut également, dans certains cas, protéger le massif de polystyrène expansé d'une membrane en polyéthylène ou d'un polyane.

Les massifs de polystyrène expansé à paroi verticale sont protégés par un parement à rôle décoratif ou de protection, ou par l'ouvrage de soutènement derrière lequel ils sont construits.



Photo 18 : bétonnage de la dalle de répartition.

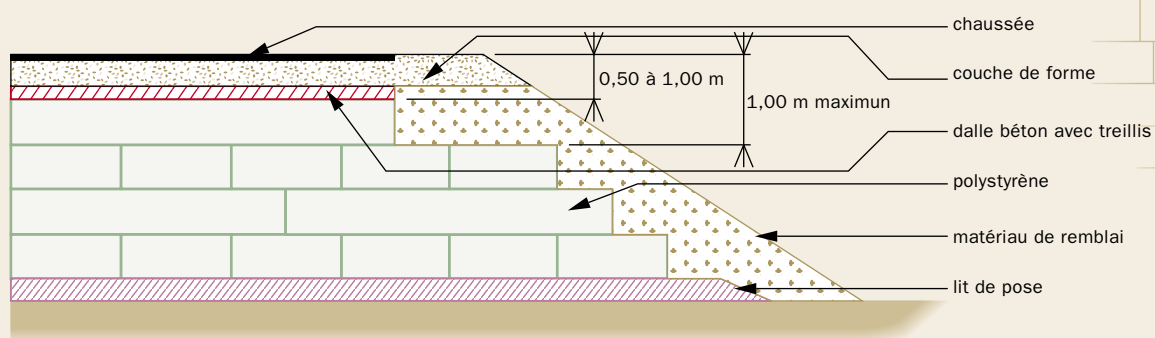


Figure 9 : protection latérale du polystyrène dans la limite de 0,02 MPa

Durabilité

Le polystyrène expansé est sensible à diverses agressions chimiques ou mécaniques :

- dissolution par les hydrocarbures ou d'autres produits chimiques ;
- attaque par le feu ;
- sensibilité aux rayons ultraviolets.

Ce matériau résiste par contre aux agressions biologiques (bactéries et enzymes) et n'évolue pas chimiquement aux températures qu'il est susceptible de rencontrer dans les remblais routiers. Les échantillons prélevés dans des remblais anciens avaient des résistances égales ou même légèrement supérieures à leur valeur initiale. Les essais de chargement cyclique ont montré que le polystyrène peut supporter sans évolution un nombre de cycles de chargement pratiquement illimité, tant que les charges restent inférieures à 25 % du seuil de plastification σ_p .

Enfin, les quantités d'eau absorbées par le polystyrène de masse volumique supérieure à 19 kg/m^3 restent très faibles. Des mesures faites en Norvège sur des blocs restés sous l'eau pendant neuf ans ont montré que la teneur en eau du polystyrène était passée de 0 à 9 % en volume, ce qui conduisait à une masse volumique de 100 kg/m^3 au lieu des 20 kg/m^3 initiaux.

Ces mesures ont aussi montré que l'ascension capillaire dans le polystyrène expansé était très faible (teneur en eau de 1 % au lieu de 9 % à 20 cm au-dessus du niveau de la nappe). Dans les remblais qui ne sont pas immergés en permanence, la teneur en eau volumique ne dépassait jamais 4 % avec des valeurs inférieures à 1 % dans les remblais hors d'eau.

Ainsi il est recommandé par prudence de tenir compte en situation immergée, un poids volumique de 100 kg/m^3 .

Protection contre les hydrocarbures

Pour éviter la dissolution du polystyrène expansé par les hydrocarbures, plusieurs dispositifs ont été essayés : mousse de polyuréthane, puis dalle en béton armé et enfin film de polyéthylène. La tendance actuelle est d'assurer la protection du remblai en polystyrène expansé à sa partie supérieure (sous les couches de chaussée) par une dalle en béton armé d'un treillis qui joue un rôle de protection, malgré sa fissuration probable, ainsi qu'un rôle de répartition des contraintes au passage des véhicules.



Photo 19 : protection du polystyrène par éléments béton préfabriqués



Les protections latérales sont assurées soit par un simple remblai, soit par un film de polyéthylène recouvrant les blocs. La probabilité qu'une grande quantité de produits pétroliers se répande sur la chaussée juste à l'endroit d'un remblai en polystyrène expansé est extrêmement faible mais, même si cela se produisait, seule la partie extérieure du remblai serait affectée et les réparations nécessaires devraient être faciles à exécuter. Aucun sinistre de ce type ne s'est produit à ce jour.

Protection contre le feu

Le polystyrène expansé peut brûler lorsqu'il est à l'air libre. Lorsqu'il est recouvert d'une dalle en béton armé, de couches de chaussée et de sol, la quantité d'oxygène disponible sera insuffisante pour permettre au feu de s'étendre (*photo 19*).

Protection contre les ultraviolets

Une couche superficielle de quelques millimètres d'épaisseur peut devenir fragile et jaune en cas d'exposition prolongée aux rayons ultraviolets de la lumière du soleil. Il est pour cette raison conseillé de maintenir les blocs de polystyrène expansé à l'ombre s'ils doivent être stockés pendant de longues périodes.

Protection contre le vent et la pluie

Les blocs de polystyrène expansé doivent être protégés contre le vent et la pluie en cas de stockage pendant de longues périodes. Ce risque disparaît évidemment dès que le remblai est construit.

Il est important d'amarrer les blocs chaque fois qu'il y a risque de vent violent, ou alors de coller sur le remblai la dernière rangée exécutée en fin de journée.

Protection contre les rongeurs

Comme le polystyrène expansé n'est pas une nourriture pour les animaux, on ne doit pas craindre d'attaque importante contre les remblais construits.

Contrôles

Le contrôle du matériau et de sa mise en œuvre doit s'opérer avant et pendant la construction du remblai.

Le contrôle du matériau doit être prévu dans les documents contractuels entre le maître d'œuvre et l'entreprise. Ses modalités générales ont été décrites dans ce qui précède. Le développement de procédures de contrôle de la qualité dans les entreprises de production de matériaux peut entraîner des modifications dans la répartition de ces contrôles. Dans tous les cas, il est indispensable de s'assurer que le polystyrène expansé a bien la résistance à la compression exigée, car des déformations élastiques ou de fluages excessifs peuvent se produire si les contraintes supportées par ce matériau excèdent 25 % de la valeur du seuil de plastification.

L'entreprise doit fournir le plan de contrôle de l'usine de production ainsi que son propre plan de contrôle de la mise en œuvre.

Le contrôle de la mise en œuvre du remblai en polystyrène expansé doit être exercé sur le terrain pendant le chantier. Ses modalités ont également été décrites plus haut (contrôle de la position des blocs et de la géométrie de la dalle de protection). Le contrôle du 1^{er} rang en altimétrie est primordial.

Le contrôle du comportement global du massif comportant le polystyrène expansé peut être effectué depuis la surface des couches de chaussée, au moyen de mesures de nivellement dans le temps et d'inspections périodiques (*photo 20*).



Photo 20 : remblais légers achevés

A sepia-toned photograph of a concrete retaining wall. The wall is made of vertical concrete panels and runs along a gravel base. In the background, there is a hillside with some vegetation and a utility pole with wires. The overall scene is a construction or infrastructure site.

Annexes

Annexe 1 – Bibliographie

Références citées dans le document

- [1] Bulletin d'information technique – Direction du laboratoire des chaussées – Québec – novembre 1996 – Technique du Pneusol pour contrer l'effet Marston
- [2] Norme NF T 56-201 : Plastiques – Matériaux alvéolaires rigides présentés sous forme de plaques de polystyrène expansé obtenues par moulage – Spécifications. AFNOR, juillet 1988
- [3] Norme NF EN ISO 845 : Caoutchouc et plastiques alvéolaires – détermination de la masse volumique apparente. AFNOR, juillet 1995
- [4] Norme NF T 56-101 : Produits alvéolaires à base d'élastomères ou de matières plastiques – essai de compression des matériaux rigides. AFNOR, décembre 1976
- [5] Norme NF EN ISO 1923 : Plastiques et caoutchouc alvéolaires – détermination des dimensions linéaires. AFNOR, juillet 1995
- [6] Norme NF T 56-121 : Plastiques alvéolaires rigides – Détermination des dimensions rectilignes moyennes des produits alvéolaires rigides présentés sous forme de plaques. AFNOR, septembre 1983
- [7] Ministère de l'Équipement et du Logement – Cahier des prescriptions Communes (CPC) - Fascicule 61 : Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art, article 31.1.4, décembre 1968
- [8] Règles BAEL 91 : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites – Paris CSTB, mars 1992, 145 p.

Documents généraux

Nous donnons ci-après une liste de documents traitant de polystyrène expansé en technique routière. Les documents généraux contiennent à la fois des textes de synthèse et des exemples de remblais comportant du polystyrène expansé.

MAGNAN, J.P ; Remblais et fondations sur sols compressibles – ENPC - 1984

DELMAS, Ph. - MAGNAN, J.P. - SOYEZ, B ; 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, 1987, pp. 323-356

FRYDENLUND, T.E. – MYHRE, O. – REFSDAL, G. - AABOE, R. (1987) ; Plastic foam in road embankments. Norwegian Road Research Laboratory, Oslo, Meddelelse, 61, 1987, 57 p.

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, 1985 REF : TH REM LEG

Propriétés du polystyrène expansé

FLYNN, R.T. - Polystyrene foam fill. Deflections, friction, impact, Norwegian Road Research Laboratory, International. Report, 801, avril 1978, 37 p.

HAMADA, E. - YAMAMOUCHI, T. ; Mechanical properties of expanded polystyrene as a lightweight fill material. Proceedings, 9th Southeast Asian Geotechnical Conference, Bangkok, décembre 1987, pp. 9-35 à 9-48

MAGNAN, J.P. - SERRATRICE, J.F. ; Propriétés mécaniques du polystyrène expansé pour ses applications en remblai routier, Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 164, novembre 1989, pp. 25-31

Exemples de chantiers

AABOE, R. ; Plastic foam in road embankments, Ground Eng., January 1986, pp. 30-31

BARBIERO, A. - LEVILLAIN, J.P. - MARCHAND, J.P. ; Sauvetage d'un pont par des remblais en polystyrène fondés sur sol compressible, Revue Générale des Routes et Aéroports, n° 651, avril 1988, pp. 37-40

BARTHELEMY, J.C. - LEDOUX, J.L. - CAROL, C. ; Utilisation du polystyrène expansé pour la réparation d'un glissement de terrain à Urt, Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 137, mai-juin 1987, pp. 28-32

CHAZAL, P. - TESSONNEAU, D. ; Le remblai en polystyrène expansé du pont des Quatre Canaux à Palavas-les-Flots, Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 137, mai-juin 1985, pp. 25-27

COLEMAN, T.A. ; Polystyrene foam is competitive, lightweight fill, Civ. Eng., February 1974, pp.68-69

LANGRAND, P. - PITIE, Ch. - LANYI, M. ; Routes, une première : un remblai en polystyrène expansé en paroi verticale, le Moniteur du BTP, 6 mars 1987, pp. 78-79

LASSAUCE, Ph. - ANTOINE, R. - MIEUSSENS, S. - TESSONNEAU, D. - FEUTRIER, D. ; Remblais en polystyrène dans l'Hérault, Revue Générale des Routes et Aéroports, 607, avril 1984 , pp. 79-87

MAGNAN, J.P. - BAILLY, J.C. - BONDIL, R. ; Les remblais en polystyrène expansé de l'autoroute A8 à Mandelieu, Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 165, janvier-février 1990, pp. 16.32

MIEUSSENS, C. ; Le remblai en polystyrène expansé du pont des Quatre Canaux à Palavas-les-Flots. 2. Aspects géotechniques, Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 136, mars-avril 1985, pp. 30-36

MOULIN, L. ; Remblai routier sur sols compressibles en polystyrène expansé. Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de l'Ouest, Nantes, Division terrassements-chaussées, Construction et entretien des chaussées, Inf., 43, février 1987, 6p.

Great Yarmouth bridge abutment uses polystyrene as lightweight fill, Ground Eng., January 1986, article, pp. 20-23

BERTAUD, M. - FORT, J.P. – TESSONNEAU, H. ; Revue Générale des Routes et Aéroports, Remblais ultra-légers pour voies lourdes, 10 ans de polystyrène expansé, n° 684, avril 1991

MONTAGNON, M. ; Des remblais légers et durables, article, Route actualité, n° 106, août 2001, pp 28-30

Expanded Polystyrène – A lighter way across soft ground XIII CIMSTF 1994 New Delhi - Inde

MATHIOUDAKIS, M. – JUTKOFISKY, W. ; Roadway embankment stabilisation using q super lightweight fill, ISBN 905809 160 D

Du polystyrène expansé pour réparer les routes, article, Le Moniteur, 17 août 2001

DUSKOV, M. ; EPS as a light-weight sub-base material in pavement structures, EPS sub-base, 1997, Pays-bas

Proceedings of the International Symposium on EPS Construction Method (EPS Tokyo 1996), EPS Development Organization (EDO), October 29, 30, 1996, Japon

PIANA, M. ; Isolare le fondazioni con l'EPS, Polistirene Espanso Sinterizzato", (AIPE), 1997, Italie

EPS Geofoam 2001, 3rd International Conference, Geofoam Research Center, Syracuse University, Syracuse, Salt Lake City, Utah, Etats Unis, December 10, 12, 2001

NIJE, K. , (CROW) ; Toepassings-richtlijn voor EPS in de wegenbouw", Publicatie 150, Pays Bas, 2000

HEFT, S. ; BULLWASSER, R. ; EPS Hartschaumstoff als Baustoff für Straßen", Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Allemagne , 1993

HEFT, S. - HILLMANN, R. - KOCH, C. - WOLF, C. ; Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Allemagne, 1995

DONDI, G. - SIMONE, A. - BIASUZZI, K. ; Les matériaux légers dans les constructions routières – la situation en Italie, Université de Bologne, Italie, 2003

HORVATH, J.S. ; Geofoam, Geosynthetic, Manhattan School of Engineering, New York, Etats-Unis, 1995

AABOE, R. - FRYDENLUND, T.E. ; Intern rapport nr. 2209 – EPS den lette losningen, Statens vegvesen, Vegdirektorat, Oslo, Norvège, 2001

Annexe 2 – Méthodes de calcul

Cette annexe donne quelques indications sur les calculs que l'on peut être amené à réaliser lors du dimensionnement d'un remblai en polystyrène expansé.

Pour des calculs classiques de la mécanique des sols, seuls quelques principes généraux sont rappelés. Les méthodes de calcul de l'effet du vent ou de l'impact de véhicules, inspirés des pratiques norvégiennes, sont par contre expliquées plus en détail.

Calculs de tassements

Pour déterminer l'épaisseur de polystyrène expansé à mettre en place dans un remblai, après pré-chargement du sol, il faut estimer les tassements du sol après l'allègement, en tenant compte du tassement de fluage, qui peut être momentanément interrompu à cause de la diminution des contraintes effectives, pour reprendre par la suite avec une vitesse plus faible, correspondant au nouvel état de contraintes effectives et de surconsolidation du sol.

Pour ces calculs, on admettra que le polystyrène a une masse volumique de 100 kg par mètre cube.

Stabilité en cas de submersion

Dans tous les sites où le remblai allégé peut être partiellement ou totalement immergé, il faut vérifier sa stabilité sous l'effet de son poids et de la poussée d'Archimède. Pour ce calcul, on retiendra la masse volumique nominale des blocs de polystyrène expansé.

Cette étude sera faite dans l'hypothèse la plus pessimiste pour le niveau des eaux. Il faut assurer la stabilité du remblai en cas de submersion complète chaque fois que cette éventualité ne peut être exclue.

En cas d'accident, lorsqu'un remblai en polystyrène expansé n'a pas été prévu pour résister à la submersion, on peut le préserver en chargeant la surface de la chaussée avec des matériaux lourds, pendant toute la période de submersion.

Stabilité au glissement

Chaque fois qu'un massif de polystyrène expansé est soumis à des efforts horizontaux, il faut analyser sa stabilité par les méthodes classiques de calcul de stabilité sur des surfaces de rupture.

On retiendra, pour la partie de ces surfaces de rupture située dans le massif de polystyrène, les caractéristiques de frottement entre les blocs (coefficient de frottement de 0,5 ou angle de frottement de 27°).

Dans le cas de structures compliquées, comme des massifs de soutènement comportant des niveaux d'ancrage, on étudiera tous les modes de rupture possibles, y compris ceux qui supposent des déplacements relatifs des blocs, du sol, des dalles en béton et des ancrages.

Résistance au vent

L'analyse de la stabilité d'un massif de polystyrène expansé soumis à un vent latéral (figure 10) peut être conduite de la façon très simplifiée suivante.

Les efforts qui s'exercent sur un tel ouvrage, par mètre de longueur, sont les suivants :

- R est la force correspondant à la pression directe du vent sur la face exposée du remblai (Pr) ;
- S est la résultante de la succion du vent sur la face opposée (Ps) ;
- P est le poids du remblai et des couches de chaussée qui le recouvrent éventuellement ;
- F est la résultante des frottements mobilisables à la base du massif de polystyrène expansé.

Les pressions Pr et Ps sont liées à la vitesse v du vent par les formules :

$$Pr = 0,75 \cdot v^2 \cdot \sin \theta.$$

$$Ps = 0,50 \cdot v^2 \cdot \sin \theta.$$

Dans ces formules, la vitesse v du vent est exprimée en mètre par seconde et les pressions Pr et Ps en pascals.

Pour ce calcul, on se contente de vérifier l'équilibre du massif avec un coefficient de sécurité de 1.

Exemple :

Cas d'un remblai de 10 m de hauteur à côtés verticaux ($\theta=0$), soumis à un vent de 40 m/s. Soit :

$$Pr = 0,75 \cdot 40^2 \cdot 1 = 1\,200 \text{ Pa} = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$Ps = 0,50 \cdot 40^2 \cdot 1 = 800 \text{ Pa} = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Avec :

$$R = Pr \cdot 10\text{m} = 12 \text{ kN/m}$$

$$S = Ps \cdot 10\text{m} = 8 \text{ kN/m}$$

$$R + S = \frac{20 \text{ kN}}{\text{mètre de longueur}}$$

Un massif de polystyrène soumis à son seul poids, de largeur et de hauteur 10 m, avec un coefficient de frottement de 0,5 sur sa base, est capable de mobiliser une force de frottement de :

$$F = 0,2 \text{ kN/m}^3 \times 10 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 0,5 = \frac{10 \text{ kN}}{\text{mètre de longueur}}$$

Donc $F < R+S$

Il sera donc nécessaire lors de la conception de définir les règles de montage (brochage, collage, poids de la chaussée et rapport hauteur/largeur) pour que la note de calcul permette de justifier sa capacité à supporter les vents violents.

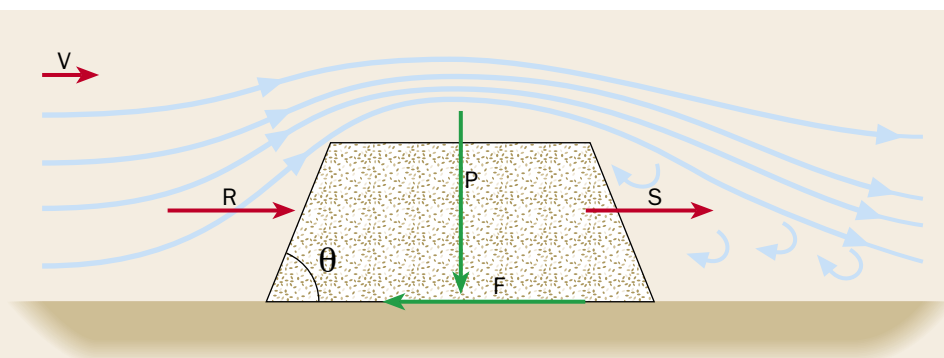


Figure 10 : effet du vent sur un remblai en polystyrène expansé

Glissement relatif des blocs de polystyrène sous les efforts de freinage d'un véhicule

Une méthode très simplifiée de vérification de la stabilité interne d'un massif de polystyrène sous les efforts horizontaux dus au freinage est illustrée par le diagramme de la *figure 11*.

On suppose que le glissement se produit sur un plan séparant deux couches de polystyrène, avec un coefficient de frottement de 0,5. Les efforts à évaluer sont :

- la force de freinage B exercée par le véhicule sur la chaussée (produit de la masse du véhicule par son accélération) ;
- le poids P du véhicule, de la chaussée et du polystyrène ;
- le frottement F mobilisable sur la surface de glissement étudiée.

Par exemple, un camion de 30 T, subissant une décélération de 7 m/s^2 , sur une chaussée équivalant à 50 cm d'un matériau de poids volumique 25 kN/m^3 , crée une force de freinage de 210 kN, tandis que la force de frottement mobilisable est de 270 kN.

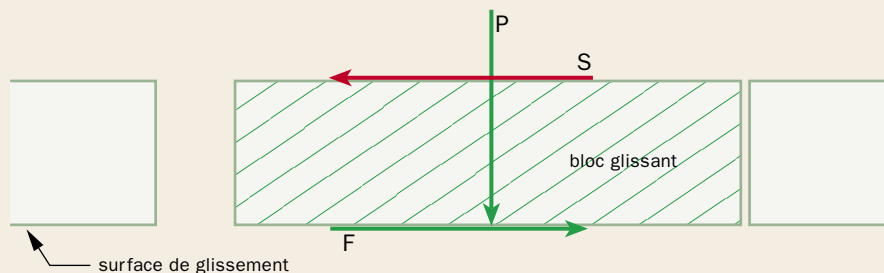


Figure 11 : efforts créés par le freinage d'un véhicule

Stabilité en cas d'impact horizontal sur le massif de polystyrène expansé

Ce risque doit être analysé dans la configuration typique suivante : un camion quitte une route pour venir heurter les remblais d'accès à un pont franchissant cette route (figure 12). Le mécanisme de rupture peut être schématisé comme représenté sur la figure 13, où :

- P est la force verticale qui s'exerce sur la masse de polystyrène soumise à l'impact ;
- $F1$ et $F2$ sont les forces de frottement mobilisées sur les faces inférieure et supérieure de cet élément.

Si l'on admet qu'il n'y a pas de frottement sur les faces latérales verticales du massif de polystyrène soumis à l'impact et que ni le véhicule ni le polystyrène ne se déforiment, on peut écrire que la variation de l'énergie cinétique du véhicule est égale au travail des forces de frottement $F1$ et $F2$ sur la distance dont se déplacent les blocs de polystyrène expansé soumis à l'impact.

Par exemple un camion de 30 T, de 9 m² de section, ayant une vitesse de 70 km/h au moment du choc, frappant un remblai de 10 m de largeur en tête et dont les parois latérales seraient verticales, s'enfoncerait de 9,5 m dans le massif de polystyrène, dans le cas d'une chaussée équivalant à 1 m de matériau de 20 kN/m³ de poids volumique, avec un frottement dynamique de 0,5.

Ce résultat, même s'il constitue une borne supérieure des effets réels d'un tel choc, conduit à prévoir des dispositifs de protection aux abords de tels ouvrages de franchissement.

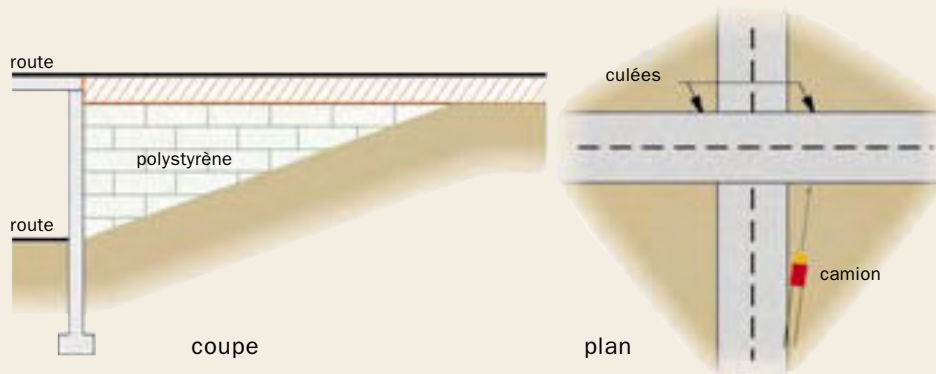


Figure n° 12 : situation type d'impact d'un véhicule sur un massif de polystyrène

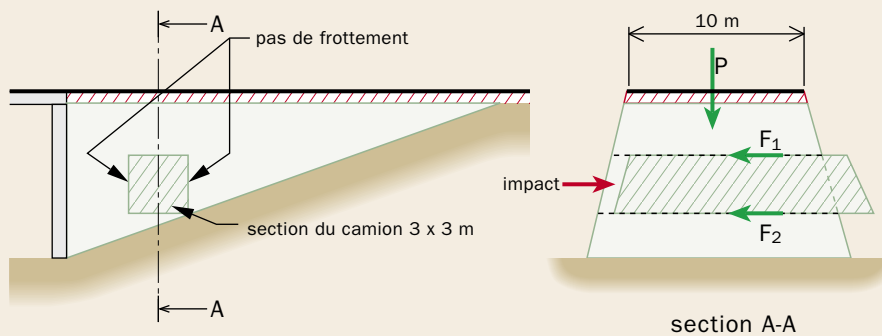


Figure n° 13 : mécanisme de rupture simplifié en cas d'impact

Annexe 3 – Propriétés forfaitaires des polystyrènes expansés pour les applications routières

| référence norme NF T 56-201 (juillet 1988) | ρ (kg/m ³) | $E^{(*)}$ (MPa) | σ_p (kPa) | ε (0,4 σ_p) à 20° C (% /an) | ε (0,6 σ_p) à 20° C (% /an) |
|---|--------------------------------|--------------------|---------------------|--|--|
| Pour mémoire | | | | | |
| AM | 7 | | | | |
| BM | 10 | | | | |
| BC | 10 | 1,5 ± 0,5 | 20 ± 10 | | |
| CM | 13 | | | | |
| CC | 13 | 3,5 ± 1 | 45 ± 10 | | |
| DM | 15 | | | | |
| DC | 15 | 4,5 ± 1,5 | 60 ± 10 | | |
| Applications routières en remblai | | | | | |
| EM | 19 | | | | 1,5 (***) |
| EC | 20 | 6 ± 1,5 | 85 ± 10 | 0,2 (***) | |
| FM | 24 | | | | 0,1 (***) |
| FC | 25 | 8,5 ± 1,5 | 120 ± 10 | 0,05 (***) | |
| GM | 29 | | | | |
| GC | 30 | 11(**) | 145(**) | (***) | (***) |

(*) Augmentation linéaire en fonction de la masse volumique

(**) Valeurs obtenues par extrapolation (à vérifier nécessairement avant tout chantier)

(***) Étude à poursuivre

Annexe 4 – Quelques références depuis 1996

1996-1997 : Autoroute A404 à St Martin du Fresnes (01) - 8 remblais sur sols compressibles – 21 000 m³ + 2 500 m³ de NIDAPLAST.

1997 à 1999 : Autoroute A51 à Varcès et Claix (38) – 4 remblais sur échangeurs sur sols compressibles – 7 100 m³.

1999-2000 : R.D.28 au lieu-dit "Pra d'Astier" sur la route de Valberg (06) – 3 remblais d'élargissement de lacets de montagne – 3 000 m³ – Hauteur maximale = 8,50 mètres.

2000 : Rue Henri Dunant à Nice (06) – reprise de glissement de terrain en milieu difficile (soutènement en travaux acrobatiques + terrassement à l'aspiratrice) – 1 200 m³.

2000 et 2004 : R.N. 10 à Poitiers (86) – 2 remblais pour la reprise d'affaissement de chaussée sur 110 et 250 mètres de longueur. Dimensionnement de la dalle et de la chaussée pour un trafic T0 fort.

2004-2005 : Maroc – Confortement d'un glissement de terrain à Matmata sur les bords de la retenue du Barrage Idriss 1^{er} près de Fès. 4 000 m³ sur une longueur de 190 mètres.

2004 : Réalisation d'un passage Grande Faune sur la ligne LGV Est à Triaucourt sur Argonne – Allègement d'un ouvrage suite aux désordres provoqués par les remblais traditionnels. 2 remblais de culée : 1 400 m³.

2004 : Col de l'Escrinet sur la RN 304 à Privas (07) - Reprise d'un glissement de terrain par paroi clouée + remblai léger. 1 000 m³ sous fort trafic poids lourds.

2005 : Suisse – Commune de Blonay – Réalisation d'une terrasse sur un parking sans apport de surcharge sur une structure sous-dimensionnée.

46 avenue
Aristide Briand
BP 100
92225 Bagneux Cedex
France
téléphone :
33 (0)1 46 11 31 31
télécopie :
33 (0)1 46 11 31 69
internet : www.setra.equipement.gouv.fr



Ce document présente des recommandations tirées de l'expérience des Laboratoires des Ponts et Chaussées, des entreprises et des maîtres d'œuvre français en matière de construction de remblais allégés en polystyrène expansé.

Après un rappel des principaux domaines d'utilisation du polystyrène expansé en remblai (allègement des remblais sur sols compressibles, allègement des remblais sur versants instables, réduction des efforts de poussée sur les soutènements), sont données des recommandations sur :

- le choix du matériau ;
- les règles de dimensionnement des remblais allégés ;
- la mise en œuvre du polystyrène expansé ;
- les précautions à prendre pour assurer la durabilité du remblai allégé ;
- les procédures de contrôle.

Les annexes fournissent une liste de références sur les applications du polystyrène en remblai routier, des détails sur certaines méthodes de calcul et un tableau de valeurs forfaitaires des caractéristiques mécaniques du polystyrène expansé pour les applications routières.

Document disponible au bureau de vente du Sétra
46 avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 53 - télécopie : 33 (0)1 46 11 33 55
Référence : **0622** - Prix de vente : **13 €**

Conception graphique - mise en page : Philippe Masingarbe (Sétra)
Impression : Caractère - 2, rue Monge - BP 224 - 15002 Aurillac Cedex
L'autorisation du Sétra est indispensable pour la reproduction, même partielle, de ce document
© 2006 Sétra - Dépôt légal : 2^{ème} trimestre 2006 - ISBN : 2-11-095824-4

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
de l'Équipement

