

VERRE CELLULAIRE – UNE NOUVELLE VISION DE LA CONSTRUCTION DES ROUTES

Tor Erik Frydenlund & Roald Aabøe
Administration Norvégienne des Routes
Direction des Routes, Département Technologie
torfry@vegvesen.no & roalda@vegvesen.no

RESUME

L'Administration Norvégienne des Routes a une longue tradition d'application de divers types de matériaux de remplissage légers pour la construction des routes. Durant les 50 dernières années, des matériaux en bois tels que la sciure et les résidus d'écorce de l'industrie du bois ont été utilisés pour cela. Des matières de déchet de la production de blocs de béton cellulaire et de LWA (Agrégat d'Argile Léger [Light Weight Clay Aggregate]) ont aussi beaucoup été utilisées. Depuis 1972, des blocs de Polystyrène Expansé ont beaucoup été employés dans les projets de route pour de nombreuses applications incluant aussi des blocs produits à partir de matière EPS recyclée. Des programmes de surveillance ont été entrepris afin d'étudier la performance à long terme de ces matériaux. Actuellement, une nouvelle option est étudiée, impliquant l'emploi de verre cellulaire granulé produit en recyclant des déchets de verre. La taille maximum du grain sera d'environ 50 mm avec des bords angulaires et la matière sera produite en diverses densités. Lorsqu'elle est placée et compactée dans un remblai drainé, la densité d'unité de la version la plus légère sera d'environ 300 – 350 kg/m³ selon l'équipement de compactage et les efforts de compactage. Sur les projets récents de route, les déformations et les variations possibles de contenu en humidité, de densité d'unité et de distribution de la taille des grains seront surveillées. Dans deux projets en particulier, le verre cellulaire utilisé temporairement dans une section de route sera extrait et réutilisé dans un autre endroit permettant davantage de possibilités de surveillance du comportement de la matière. Ce document présente les résultats de ce programme de surveillance et donne les recommandations concernant les critères de conception et les procédures de construction liées au verre cellulaire. L'application du verre cellulaire dans la construction des routes fait aussi partie d'un programme plus vaste afin d'améliorer l'emploi de matières recyclées dans la construction des routes en général.

MOTS CLE

Matières de déchet / remblai léger / verre cellulaire / surveillance sur le terrain

1. INTRODUCTION

1.01 Sciure, résidu d'écorce et béton cellulaire

L'Administration Norvégienne des Routes emploie depuis de nombreuses années divers matériaux de remblayage pour surmonter les problèmes de charge et d'affaissement liés à la construction de routes sur les sous-sols mous. Initialement, dans les années 50 et 60, de la sciure et des résidus d'écorce de l'industrie du bois ont été utilisés avec une densité d'unité de 10 kN/m³ employée pour des calculs de

conception. Les déchets de la production de blocs ou dalles en béton cellulaire pour la construction de maisons ont aussi été employés avec une densité d'unité de conception de 10 kN/m^3 établie à partir de tests de surveillance sur le terrain. L'aspect du coût et de la disponibilité de ces matériaux a cependant beaucoup changé, lorsque l'industrie du bois a commencé à utiliser ses déchets pour le chauffage et la demande pour le béton cellulaire dans l'industrie de la construction a reculé.

1.02 Granulat d'Argile Léger (Light Weight Clay Aggregate) - LWA

L'intérêt s'est alors porté sur un autre type de granulat léger, le Granulat d'Argile Léger LWA (Light Weight Clay Aggregate). En frittant de l'argile dans un four spécial, des sphères dures de diverses tailles sont formées (généralement 0 – 32 mm). Ces sphères sont utilisées pour produire des blocs et des dalles de construction. Au début, à la fin des années 50, les produits déchets de cette production de blocs étaient utilisés comme matériaux légers de remblai, mais on a aussi trouvé qu'il était possible d'utiliser directement les grains de LWA dans les remblais. Il a été déterminé que la densité d'unité de ce matériau, basée sur les programmes de surveillance, était de 6 kN/m^3 lorsqu'elle était mise en condition drainée dans le remblai ou de 7 kN/m^3 lorsqu'elle était périodiquement submergée. Elle possède de plus des effets d'isolation thermique et peut donc aussi agir comme couche d'isolation du gel en épaisseur suffisante. La matière LWA est aujourd'hui communément utilisée comme matériau de remblai léger dans la construction des routes en Norvège et fait concurrence à d'autres matériaux légers tels que les blocs de Polystyrène Expandé EPS.

1.03 Polystyrène Expandé

Depuis 1972 lorsque le premier remblai en EPS de route a été placé en Norvège, l'utilisation des blocs d'EPS comme matériau de remblai super léger a vu une forte augmentation à la fois en volume et en types d'application à l'échelle. Initialement, les blocs étaient seulement expandés en utilisant des matériaux bruts frais. L'incorporation de matière recyclée EPS a aussi été introduite dans la production des blocs et dans certains cas, des blocs entiers ont été réutilisés dans un autre endroit. Les densités d'unité de conception employées pour ce type de matériau sont de $0,5 \text{ kN/m}^3$ mis en condition drainé et de 1 kN/m^3 lorsque submergé.

1.04 Autres matériaux légers de déchet en Norvège

Un autre matériau de déchet intéressant est les pneus usagés de voiture. La plupart des pays ont maintenant accumulé des quantités importantes de pneus usagés de voiture et ces pneus pourraient être réutilisés dans les remblais comme matériau léger. Diverses approches ont été prises dans différents pays, mais en général, les pneus déchiquetés sont les plus employés pour cela mais dans certains cas, des pneus entiers ont été appliqués. En Norvège, seuls quelques projets ont été terminés en utilisant des pneus déchiquetés dont une barrière antibruit avec un noyau de pneus déchiquetés.

1.05 Programme de recyclage

Une politique environnementale ambitieuse, des traités et des accords internationaux ainsi qu'un changement général d'attitude et une prise de conscience de la production et de la manutention des déchets a encouragé le développement des

politiques nationales, codes, routines et clauses de contrat qui motivent un emploi plus développé des matériaux recyclés. L'Administration Norvégienne des Routes (NPRA) a pour cela entrepris un programme afin de promouvoir l'utilisation de matériaux recyclés dans les structures des routes. Ceci comprend l'incorporation de matériaux secondaires dans les directives et les normes de conception. Les questions et les problèmes environnementaux doivent être résolus durant le cycle de vie entier depuis la phase de conception jusqu'à la maintenance et la démolition.

Un aspect de ce programme est d'encourager la réutilisation du verre cellulaire, des pneus de voiture entiers ou déchiquetés, de l'EPS, du laitier et du verre cassé comme matériaux légers de remblai. Pour la NPRA, il est important de définir les spécifications de qualité de ces matériaux comprenant les considérations environnementales et de les incorporer dans les spécifications générales de conception.

2.0 LE VERRE CELLULAIRE

2.01 Le concept

Dans l'hémisphère occidentale, de vastes amas de produits verriers s'accumulent. Ils comprennent diverses sortes de déchets de verre provenant des ampoules électriques et autres types d'éclairage comme les lampes à mercure, les bouteilles, les vitres, les pare-brises de véhicules etc. et les déchets industriels. En Europe, la consommation annuelle moyenne de verre est d'environ 30 – 40 kg/par habitant. En même temps qu'il est un produit de déchet, il constitue aussi un matériau brut de réutilisation possible. Certains déchets de verre peuvent être utilisés directement dans la production de bouteilles et d'autres produits mais d'autres contiennent des matériaux toxiques qu'il faut enlever dans le processus de recyclage.

Pour cela, un processus de production a été entrepris basé sur le recyclage des déchets de verre dans la région centrale de la Norvège. Un processus patenté originaire de la Suisse (Misapor) est utilisé en Norvège sous le nom commercial de Hasopor. Dans ce processus, les éclairages et les autres déchets toxiques en verre sont traités afin de retirer les composants en métal lourd et les autres matières

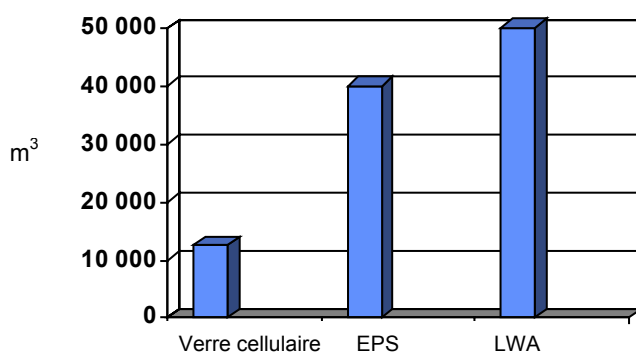


Figure 1 – Utilisation annuelle des matériaux légers de remblai pour les routes en Norvège

difficiles pour l'environnement. Le produit a maintenant été utilisé comme matériau léger de remblai dans plusieurs projets de routes en Norvège et l'Administration Norvégienne des Routes a entrepris un programme de surveillance afin d'évaluer les propriétés et la performance de ce matériau dans cette utilisation. Il existe aussi un produit similaire en Suisse depuis quelques temps et il a aussi été rapporté qu'il a été utilisé dans les structures de routes. En ce qui concerne la qualité et le comportement du matériau, il n'y a que peu d'informations.

En Norvège, environ 4 millions de lampes de mercure sont utilisées chaque année et l'objectif est d'en recycler environ 40 %, ce qui équivaut à une production annuelle d'environ 50 000 m³ de Hasopor.

2.02 Processus de production

Le verre cellulaire est produit en utilisant une technologie de recyclage écologique des déchets contaminés et toxiques allant des lampes de mercure, du laitier industriel et des cendres volantes, des écrans de PC et de TV et du verre feuilleté aux batteries. Le processus est basé sur le concept de la transformation de poudre de verre finement broyé provenant de différentes sources de verre mélangée avec un activateur comme le carbure de silice en verre cellulaire. Lors du processus de broyage, les métaux lourds sont enlevés et recyclés dans des installations de fonte de métaux.

La poudre est étalée sur un transporteur à courroie passant à travers des fours à température élevée, ce qui fait que la poudre quadruple de taille et quitte le four en matériau de verre cellulaire. Lorsque le produit quitte le four, il se fend et se divise en des unités plus petite en raison du choc de la température. La taille normale des grains varie entre 10 et 60 mm (figure 2).



Figure 2 – Particule typique de verre cellulaire

obtenu pour ce matériau confirmant que les produits de lixiviation possibles d'un remblai auront un contenu toxique bien inférieur aux exigences environnementales normales.

Le verre cellulaire est généralement composé de 8 pour cent de verre par volume et de 92 pour cent de bulles de gaz. Une fine paroi de verre étanche entoure chaque bulle.

Les qualités du matériau données par le producteur sont les suivantes :

- Faible densité d'unité en vrac, le produit est fourni en deux qualités : (léger) 180 kg/m³ et (standard) 225 kg/m³.
- Qualités élevées d'isolation thermique
- Résistance élevée du matériau, 60 – 120 kN/m²

Le processus de production ne produit pas de poussières et aucun gaz dangereux, il ne nécessite pas d'eau à aucun stade.

Les principes derrière ce système sont très simples :

- Séparer et
- Nettoyer les déchets par fractions pour un traitement ultérieur dans la ligne.

Durant ce processus, les composants toxiques sont réduits en-dessous des limites de détection. Un certificat a été

obtenu pour ce matériau confirmant que les produits de lixiviation possibles d'un remblai auront un contenu toxique bien inférieur aux exigences environnementales normales.

- Faible absorption d'humidité
- Chimiquement et thermiquement stable

2.03 Propriétés du matériau

Grâce à ses propriétés d'isolation et son poids léger, ce matériau peut être utilisé à la fois comme matériau léger de remblai et/ou couche d'isolation contre le gel dans les routes. Comparé aux paramètres de production utilisés au début en 1999, ce matériau a maintenant une structure de pore, une densité et une résistance différentes aujourd'hui avec des améliorations possibles des propriétés du matériau en conséquence.

Afin d'étudier les propriétés du matériau pour la construction des routes, divers programmes de surveillance ont débuté à la fois sur le terrain et en laboratoire. Les données concernant le contenu en eau et les densités mesurées sur le terrain par l'Administration des Routes Publiques sont données dans le tableau 1.

Tableau 1 – Essais sur le terrain sur le matériau du verre cellulaire placé dans des structures de route.

Project de route	Type de mat.	Année	Essai sur le terrain	Volume m ³	Cont. en eau %	Densité kg/m ³	Fines < 8 mm (%)
Lodalén	Léger	2001	2001	1500	3 - 18	325	
Rv 120	Léger	2001	2001	2900		500	15 - 65
E 6 Mule	Léger	2002	2002	550		295	25 - 35
E6 Eggemarka	Std.	2002	2003	1000	15 - 20	345	20
Postterminalen	Std	2000	2000	2750			30
E6 Rosendal	Std	1999	2002	310	18	530	30
E 6 Klemetsrud	Léger	2003	2003	1100	0,5	271	5 - 20



Figure 3. – Installation du tube en acier

Sur 6 des remblais existants en verre cellulaire, un tube à paroi fine en acier de 570 mm de diamètre a été enfoncé / vibré de 270 mm dans le verre cellulaire jusqu'à ce que le haut soit à niveau avec le haut de la couche de verre cellulaire (Figure 3). Les particules contenues dans le tube d'acier ont été enlevées et le matériau extrait a été pesé sec et mouillé. Le vide laissé dans le tube a aussi été doublé d'une fine membrane en plastique et rempli d'eau afin de déterminer le volume extrait.

La précision de cette méthode de test est assez bonne. Des erreurs peuvent se produire si la membrane en plastique recouvre certains vides à l'intérieur du tube en acier et un compactage est possible

lorsque l'on enfonce le tube dans le matériau. L'erreur totale, cependant, ne devrait pas dépasser 1–2 %. Les sites de test seront surveillés avec davantage de tests dans le temps afin d'observer les changements en déformations, contenu d'eau et densité.

Des tests absorption d'eau en laboratoire ont aussi été effectués par le groupe Sintef (La Fondation des Etudes Scientifiques et Research Industrielles de l'Institut de Technologie Norvégien) et le 'Norwegian Building Research Institute' (NBI). Les résultats sont donnés dans le tableau 2.

Tableau 2 – tests de laboratoire effectués sur le verre cellulaire par le groupe Sintef

Type de matériau	% d'absorption d'eau (2000) en poids après 22 semaines	% d'absorption d'eau (2003) en poids après 50 semaines
Léger	76	48
Standard	103	45

D'après les tests sur le terrain et en laboratoire le groupe Sintef conclut que le verre cellulaire de type Hasopor a des propriétés favorables d'isolation et de drainage et que des procédures de production ajustées ont amélioré les propriétés du matériau en particulier pour la qualité de légèreté. En raison des particules angulaires, le matériau possède aussi une stabilité et une souplesse internes. Pour l'utilisation dans les structures de routes, le matériau possède des propriétés élastiques comparables au gravier ordinaire communément utilisé comme matériau de base des routes. Il est cependant important que le niveau de contrainte soit maintenu en-dessous d'un niveau qui résulterait en un écrasement et des déformations permanentes du matériau.

Le verre cellulaire peut faire concurrence à d'autres matériaux légers de remblai comme le LWA et l'EPS. Les tests effectués jusqu'à présent indiquent que l'on peut s'attendre à des densités d'unité entre 300 – 350 kg/m³ mais pour l'utilisation dans les routes, les Autorités Norvégiennes des Routes n'ont pas encore pris de décision sur les valeurs à appliquer au type léger et standard de Hasopor. Ici aussi, les procédures de construction et le type d'équipement utilisés joueront un rôle important. Les densités d'unité de conception devront probablement être liées à la fois au type de matériau fourni sur site et aux procédures de construction.

Tableau 3 – Déformations observées dans les remblais

Site	Hauteur max. de remblai en m	Facteur de compactage %	% de déformations à court terme	% de déformations à long terme	% de déformations en pente
Lodalen	2	1,25	1,5 – 2,5	+ 0 – 0,5	4
Rv 120	3	1,6	1	+ 0 – 0,5	2 - 3
E 6 Mule	3	1,25			
E6 Eggemarka	4		1	+ 0	1,5
E6 Rosendal	2.5	1.4			
E 6 Klemetsrud	3	1.20	1		

Le facteur de compactage est défini comme le volume réel placé dans un remblai divisé par le volume théorique. Après être placé dans le remblai et compacté, seulement de petites déformations supplémentaires peuvent être attendues des chaussées et des charges actives, à court terme environ 1 % de l'épaisseur de la couche. Les observations sur une période de temps (3 ans) indiquent qu'un écrasement et des déformations supplémentaires ont tendance à être négligeables. Le contenu en fines peut être à nouveau contrôlé lorsque deux remblais temporaires en verre cellulaire seront extraits et déplacés vers un autre lieu pour être réutilisés en 2003 (voir le chapitre 3). Sur les pentes latérales, les déformations ont tendance à être environ deux fois celles du reste du remblai mais ces déformations se produisent aussi dans les étapes initiales et aucun effet à long terme semble être présent. En raison de la forme angulaire des particules du verre cellulaire, le remblai peut être placé avec des pentes latérales assez raides et ceci est la raison des plus grandes déformations initiales dans la partie extérieure du remblai.

2.04 Propriétés environnementales

La réutilisation des matériaux de déchet pour les remblais demande une certification que le matériau est inerte et qu'aucune matière non voulue ne s'échappe dans l'environnement. Pour cela, une série de spécifications et de directives de l'Autorité Norvégienne de Contrôle de la Pollution (SFT) doit être considérée en relation avec le projet en question. Un matériau peut être défini comme inerte à condition qu'il ne subisse pas de changement physique, chimique ou biologique notable et tout fluide lixivant doit contenir seulement des quantités insignifiantes de matière polluante.

La composition des matériaux de déchet, ses effets lixivants, ses propriétés environnementales et son comportement à long terme dans un dépôt doivent donc être connues avant de le déposer. C'est pour cela qu'une description technique du verre cellulaire est préparée par le 'Norwegian Building Research Institute' pour le fabricant de Hasopor. Une Procédure d'Évaluation de Compréhension Commune est utilisée comme alternative à l'approbation de l'ETA des matériaux non standardisés.

3.0 UTILISATION DANS LES PROJETS DE ROUTE

3.01 Route nationale No 17 – Réparation de la défaillance de la pente à Rosendal

En raison de l'érosion le long du lit de la rivière, il y a eu une défaillance d'une pente de route de 10 m de haut sur une distance d'environ 30 m. Au niveau de la rivière et dans la pente, le sous-sol était constitué d'argile rapide de résistance moyenne. Afin de rouvrir la route et empêcher davantage d'érosion le long de la berge et de glissements, il a été nécessaire de rapidement mettre en œuvre des mesures de réparation. La protection contre l'érosion a été faite en utilisant du rocher abattu avant de remplir la zone du glissement avec du verre cellulaire de type Hasopor. Le matériau a été livré sur site par de gros camions et versé dans la zone du glissement. Des volumes allant jusqu'à 100 m³ ont pu être transportés en une seule fois. Le verre cellulaire a ensuite été distribué et placé en couches d'épaisseur de 0,5 m par une pelle hydraulique sur chenilles de 30 tonnes et compacté en 3 – 4 fois donnant un taux de compactage de 1,4. Ainsi, un volume total de 300 m³ a été placé en 4 heures.

La composition et l'épaisseur de la chaussée placée sur le remblai en verre cellulaire étaient équivalentes à celle des sections de route voisines.

Des observations visuelles et des tests sur site pour contrôler la densité et la distribution de taille des grains ont été effectués 3 ans après le rétablissement de la pente (voir le tableau 1). La route est en bon état, sans fissures ou affaissement de la chaussée.

3.02 Voie piétonne / cyclable à Lodalen

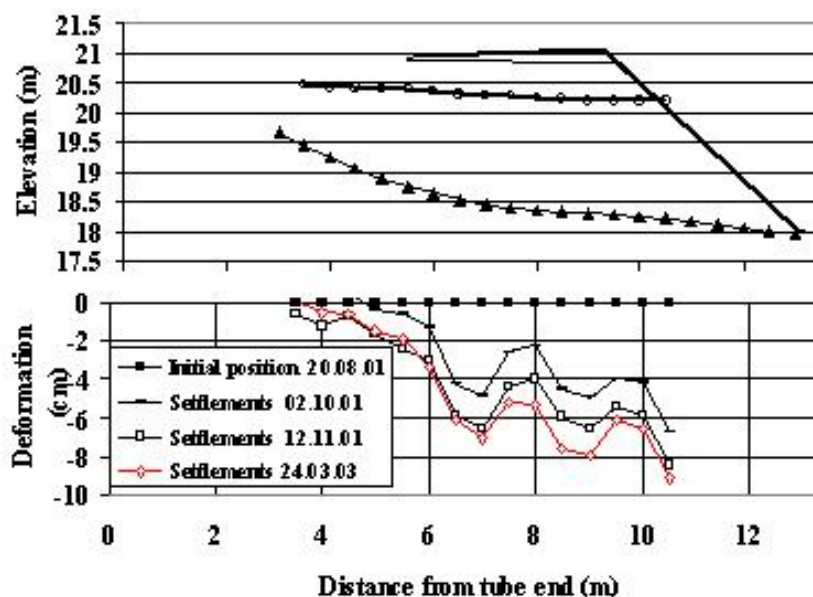
En connexion avec la construction d'une voie piétonne / cyclable sur une pente avec une faible stabilité, du verre cellulaire a été utilisé pour construire le remblai. La qualité de verre cellulaire la plus légère a été employée, $\rho = 180 \text{ kg/m}^3$. Etant donné qu'aucune charge supplémentaire ne pouvait être placée sur la pente, il a été décidé d'utiliser une solution entièrement compensée en remplaçant une partie du sous-sol naturel par du verre cellulaire. En tout, un volume de 1200 m^3 de verre cellulaire a été utilisé.



Le verre cellulaire a été placé sur une épaisseur de couche allant jusqu'à 2 m. La surface supérieure a été mise à niveau par la pelleteuse et le compactage effectué par les chenilles de la pelle. Sur les pentes, un compactage léger a été exécuté avec le godet de la pelleteuse. L'angle naturel de la pente pour le verre cellulaire non compacté semble être de 45° .

Figure 4 – Distribution du verre cellulaire utilisant une pelle montée sur chenilles / boteur

Pour une épaisseur de couche inférieure à 2 m, le compactage peut être effectué après avoir placé la base de la route. L'épaisseur de la couche de la base de la route doit être d'au moins 20 cm.



Afin de surveiller les déformations du matériau, des tubes d'affaissement ont été installés en bas et en haut de la couche de verre cellulaire sur deux sections (figure 5).

Les déformations de la couche en verre cellulaire

Figure 5 – Déformations observées à Lodalen

peuvent ensuite être évaluées d'après les différences d'affaissement des tubes, voir figure 5. Selon les mesures données à la figure 5 la couche en verre cellulaire s'est déformée d'environ 10 cm après que les matériaux de la base de la route ont été placés. Il est important de noter que les déformations de la zone extérieure se sont produites immédiatement après le chargement du verre cellulaire.

3.03 Remblai de la Route Nationale No 120

Dans une région à environ 50 km au nord d'Oslo ayant des sous-sols composés d'argile plastique sensible, il a été décidé d'utiliser du verre cellulaire comme matériau léger de remblai en concurrence avec le LWA. La section transversale de la route est en coupe d'un côté et remblai de l'autre. La hauteur du remblai va jusqu'à 4 m. Aucun affaissement important n'est attendu mais des matériaux légers ont été sélectionnés pour le remblai en raison d'inquiétudes pour la stabilité.



Figure 6 - Transport au site en gros camions

Un volume total de 3.950 m³ de verre cellulaire de type Hasopor, version légère avec une densité d'unité de 180 kg/m³ spécifiée par le fabricant a été utilisée en une couche d'épaisseur allant jusqu'à 3 m. Le verre cellulaire a été placé en couches d'épaisseur de 1 m et compacté en utilisant une pelleteuse montée sur chenilles avec une pression de 56 kN/m².

Comme dans le cas précédent de Lodalen, des tubes d'affaissement ont été installés en bas et en haut de la couche de cellulaire layer en deux endroits afin de surveiller les déformations possibles du matériau (figure 7).

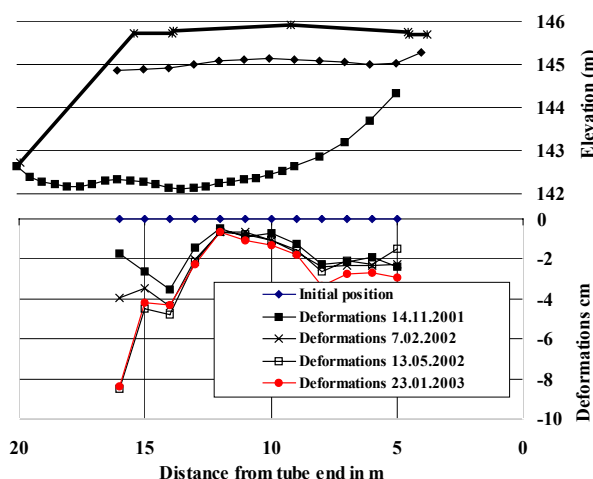


Figure 7. – Déformations observées sur la RN 120

Des mesures de densité et de contenu en eau ont été réalisées aux deux endroits ; une sous les pistes des camions de transport et autre circulation sur le remblai tandis que l'autre était située près du bord du remblai moins influencé par la circulation autre que pour le compactage.

Un contenu en eau plus élevé que prévu a été trouvé ainsi qu'une densité d'unité considérablement plus élevée qu'attendue a été mesurée, (voir le tableau 1)

Des puits de test ont aussi été creusés sous les passages des roues pour un contrôle visuel. Ici, des indications claires d'écrasement important ont été détectées à

une profondeur de 700 mm sous la surface. En dehors de la piste de passage des roues et dans les zones avec peu de circulation sur site, un écrasement bien moins important a été observé.

Durant la construction, de grosses machines ont été beaucoup utilisées pour placer et compacter le verre cellulaire et le matériau a été distribué en fines couches. De plus, le remblai a aussi été utilisé comme route d'accès au site de construction en général. Un facteur de compactage de 1,37 est calculé par l'entrepreneur, basé sur le volume réel de verre cellulaire livré sur le site comparé au volume théorique.

Les résultats des tests de tamisage effectués sur le matériau excavé sont donnés à la figure 8. Il peut être observé ici que les courbes de distribution de taille des grains montrent une quantité considérable de fines en dessous de la taille typique des particules de 10 – 60 mm qui résulte du processus de production.

Ce site sera aussi suivi et davantage de tests réalisés afin de surveiller les changements possibles de déformations, contenu d'eau et densité.

Grâce aux particules de forme angulaire, le verre cellulaire a une stabilité interne élevée, facilitant le transport du matériau directement dans de gros camions. Cela provoquera, cependant un broyage et un écrasement des grains individuels provoquant une densité d'unité plus élevée sous les passages de roues.

3.04 E6 Tunnel coupé et couvert de Steinkjer, Eggemarka

Dans ce projet de route, un tunnel en béton coupé et couvert d'environ 600 m de long rejoint un tunnel dans le rocher pour la route européenne E 6. La couverture de remblayage au-dessus du tunnel en béton atteint environ 25 mètres au point le plus élevé. Afin de maintenir la circulation sur la E 6 durant la période de construction, une route temporaire de diversion avec une hauteur de remblai de plus de 15 m est nécessaire, avec les 6 m supérieurs composés de matériaux légers de remblai. Ici, un agrégat d'argile expansé (LWA 9000 m³) et du verre cellulaire (Hasopor 1000 m³) sont utilisés pour diminuer le poids sur le ponceau et améliorer la stabilité et réduire les problèmes d'affaissement. De plus, du verre cellulaire et du LWA seront utilisés pour l'isolation contre le gel sur la voie piétonne/cyclable. La construction du remblai a commencé en novembre 2002 et a été terminée en février 2003. La route de diversion a été ouverte à la circulation en mars 2003 et est prévue pour être en service jusqu'à ce que la construction de la nouvelle route soit terminée durant l'été 2004. Les matériaux légers du remblai seront alors réutilisés contre les culées du pont sur d'autres parties des projets de la route. Cela fournira des possibilités de comparaison des propriétés de matériau du LWA et du verre cellulaire réutilisés.

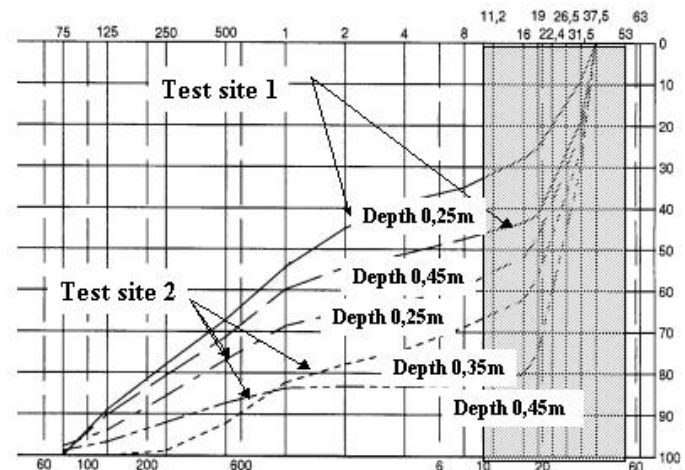


Figure 8 - Distribution des tailles de grains du matériau excavé

Les matériaux en verre cellulaire ont été traités de la façon suivante :



Figure 9 – Pentes en verre cellulaire exposé

Un géotextile de séparation (classe 2) a été placé au-dessus du matériau de roc abattu afin de faciliter le retrait ultérieur des matériaux légers. Le verre cellulaire a été transporté sur le site dans des camions de grand volume directement depuis l'usine ou depuis des sites locaux de stockage dans des basculeurs. Le placement et le compactage ont été effectués dans des couches de 1 à 1,5 mètre d'épaisseur en utilisant des pelleteuses montées

sur chenilles avec des pressions au sol des chenilles $\leq 40 \text{ kN/m}^2$ effectuant environ 3 passages sur la zone par couche. Avec cette procédure, une réduction de volume de 25 % a été observée. Une réduction supplémentaire de 5 % en volume a été prévue en raison du transport sur site depuis des zones de stockage locales. Un tissu de séparation (classe 1) a été utilisé sur le verre cellulaire avant de placer les matériaux de la base de la route. Aucune terre de couverture n'a été placée sur les pentes en verre cellulaire sur le remblai temporaire (voir la figure 9).

Afin de surveiller les densités sur le terrain, des méthodes de test similaires à celles appliquées sur les sites mentionnés ci-dessus ont été appliquées. Des mesures de densité ont été effectuées durant toute la période de construction à la fois sur le matériau en vrac livré sur site et sur le matériau compacté dans le remblai. Dans le remblai, 2 échantillons ont été pris pour chaque deuxième couche et avec 4 couches, un total de 8 échantillons ont été recueillis pour chaque type de matériau (LWA et verre cellulaire). Des chiffres moyens provenant de ces tests sont donnés au tableau 1. Le contenu en eau a été mesuré sur les échantillons à la livraison sur le site et au compactage dans le remblai. Les changements possibles de contenu en eau seront surveillés en retirant des échantillons supplémentaires pour les tester après un an dans le remblai.

Des tests de tamisage ont été réalisés à la fois sur le matériau en vrac livré sur le site et sur le matériau compacté pris dans le remblai. Étant donné que l'emploi d'une machine à tamiser a tendance à créer des fines supplémentaires durant le processus de tamisage, une attention spéciale a été prise lors de l'exécution des tests de tamisage. Les tests de tamisage ont été effectués sur tous les échantillons de test recueillis pour les mesures de densité (tableau 1).

De plus, des essais de charge avec plaque et des mesures de choc vertical en chute libre ont été effectués à la fois sur les passages extérieurs et intérieurs des roues sur la voie de droite de la route et sur la ligne centrale de la voie piétonne / cyclable. Jusqu'à présent, il semble qu'il y ait de petites différences entre le remblai en rocher et le matériau léger.

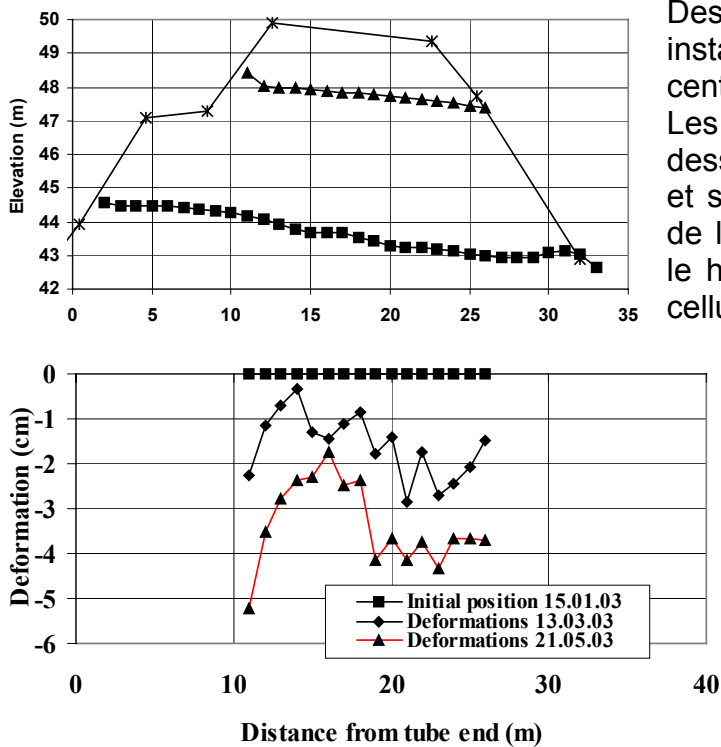


Figure 10 – Déformations observées à Eggemarka

installées dans les trois mêmes sections de la voie piétonne/cyclable ainsi que mentionné ci-dessus. La température sera surveillée durant l'hiver 2003/2004.

Les affaissements sont surveillés en utilisant des tubes d'affaissement placés en deux sections, une section avec du LWA et une section où du verre cellulaire est utilisé. A ces sections il y a un tube sur le haut et un sur la bas de la couche de remblai léger. Des mesures initiales ont été prises lorsque les remblais ont été terminés, puis à nouveau deux mois plus tard (voir la figure 10).

3.05 E 6 Klemetsrud



Figure 11- Compactage léger du remblai de la route de diversion à Klemetsrud

Les activités de construction ont commencé en 2003 dans la section vers le sud hors d'Oslo vers la Suède pour passer d'une autoroute de deux à quatre voies. Afin de pouvoir maintenir la circulation durant la période de construction, une courte route de diversion est nécessaire pendant environ six mois en 2003. Sur cette section, du verre cellulaire a été employé avec une épaisseur de couche allant jusqu'à 4 mètres afin de réduire la charge et les affaissements en résultant sur une conduite d'eau. La qualité de légèreté a été utilisée et le matériau sera réutilisée en connexion avec une bretelle à

l'une des intersections ayant des conditions de sol mou. Le verre cellulaire a été soumis à des activités de compactage léger avec une pression de 45 kN/m^2 afin de

Des jauges de température sont installées dans trois sections au centre de la voie piétonne / cyclable. Les jauges sont situées juste en-dessous de la chaussée en asphalté et sur le haut et le bas du matériau de la base de la route ainsi que sur le haut, le milieu et le bas du verre cellulaire et à 20 cm dans les matériaux en-dessous. Afin de surveiller les dangers possibles de gel, des jauges sont aussi placées dans la partie supérieure de la chaussée en asphalté. Les températures de l'air sont surveillées à 2 mètres au-dessus du niveau du sol.

Afin de surveiller l'emplacement de la zone de gel en hiver, des jauges de zones de gel sont aussi

réduire l'écrasement des particules. Pendant que la route de diversion est en fonctionnement, des déformations possibles de la surface de la route et en haut de la couche en verre cellulaire seront surveillées afin d'évaluer si ce compactage léger est acceptable. Le facteur de compactage calculé est faible (1,2). Jusqu'à présent, les déformations observées en haut de la couche en verre cellulaire ne dévient pas des déformations enregistrées dans d'autres projets de verre cellulaire. Des essais de tamisage et des mesures de densité ont été réalisés lorsque le remblai a été placé et des essais similaires seront effectués lorsque le matériau est déplacé vers son futur emplacement.

4.0 CONCLUSIONS

Le verre cellulaire de type Hasopor est un matériau léger intéressant pour les remblais qui peut être appliqué dans les projets de construction de routes si son prix est économiquement favorable par rapport aux produits concurrentiels. Le coût du verre cellulaire livré sur site en Norvège est à présent d'environ US \$ 35 - 40 par m³. Composé de verre, le matériau est entièrement résistant aux agents chimiques de dégradation possible dans une structure de route. La résistance mécanique du matériau de qualité légère peut nécessiter une manutention spéciale afin d'éviter un broyage excessif. Les observations faites jusqu'à présent indiquent que des machines relativement légères doivent être utilisées sur site pour le placement, la distribution et le compactage de Hasopor qualité légère. C'est pourquoi la qualité plus dense peut dans certains cas être préférée étant donné que la densité d'unité en place de la qualité légère a tendance à être au moins aussi élevée que celle attendue de la qualité plus dense. C'est pour cela qu'il faudra sans doute réviser les spécifications de détermination des densités de conception et les procédures de construction.

5.0 REFERENCES

Aabøe Roald, 1980, "Lette fyllmasser i vegbygging" (matériaux de remblai légers dans la construction des routes – texte en norvégien), Intern rapport 954, Norwegian Road Research Laboratory, Oslo

Aabøe Roald et. al., 1995, "Vegbygging på bløt grunn" (Construction de routes sur des sous-sols mous – texte en norvégien), Handbook 188 (Code de bonne pratique), Norwegian Public Roads Administration, Oslo

2003, Vegbygging (Construction des routes – texte en norvégien), Handbook 018 (Spécifications Standards), Norwegian Public Roads Administration, Oslo

Frydenlund Tor Erik & Aabøe Roald, "Use of waste materials for lightweight fills", International Workshop on Lightweight Geomaterials, Tokyo Japan March 2002.