

# GÉOSYNTHÉTIQUES DANS LES STRUCTURES ROUTIÈRES : EXPÉRIENCES EUROPÉENNES

## GEOSYNTHETICS FOR ROAD PAVEMENTS: EUROPEAN CONTRIBUTIONS

Arnstein WATN  
SINTEF, Trondheim, Norvège

**RÉSUMÉ** – Le renforcement par géosynthétiques été utilisé en Europe depuis plus de 40 ans dans les structures routières, tant dans les couches granulaires que dans les couches de chaussée. Malgré de bons retours d'expérience in situ assez nombreux, il apparaît qu'il manque toujours des méthodes de dimensionnement et des méthodes de vérification de l'effet sur le terrain. Les recommandations pour l'utilisation dans les couches de chaussées manquent aussi en grande partie dans des directives nationales. Sur la base des expériences d'un grand nombre de projets, SINTEF a préparé une proposition de directives pour l'utilisation de géosynthétiques pour le renforcement des structures routières dans les matériaux granulaires et dans le corps de chaussée. Les directives donnent des recommandations sur l'utilisation des géosynthétiques dans les routes, basées sur l'évaluation des mécanismes de détérioration et les effets possibles.

**Mots-clés** : Géosynthétiques, renforcement, route, chaussée, recommandations.

**ABSTRACT**. Geosynthetic reinforcement has been used in road pavement, both in the unbound granular layers and in the overlay, in Europe for more than 40 years. Despite a number of good experiences from the field, technically sound design methods and methods for verification of the effect in the field are still missing. Recommendations for use in road pavements in national guidelines to a large extent are also missing. Based on the experiences from a large number of projects SINTEF has prepared a proposal for guidelines for the use of geosynthetics for reinforcement in road pavements, both in granular materials and in asphalt overlays. The guidelines give recommendations on use of geosynthetic reinforcement in roads based on an evaluation of type of deterioration mechanisms and possible effects.

**Keywords**: Geosynthetics, reinforcement, road, pavement, guidelines.

### 1. Introduction

Le renforcement par géosynthétiques a été utilisé dans les structures de chaussée depuis plus de 40 ans en Europe. Les avantages, tant en matière de réduction des coûts de construction qu'en allongement de la durée de service, ont été vérifiés aussi bien grâce à des projets de recherche que dans des expériences de terrain. Le renforcement par géosynthétique peut être utilisé aussi bien dans la couche de base granulaire que les couches de béton bitumineux ou les structures en béton. Un projet de recherche européen, COST REIPAS (Cost Action 348, 2002), a été initié pour étudier l'utilisation de treillis métalliques ou de géosynthétique en renfort de chaussées. Dans cette communication, en s'appuyant sur les résultats préliminaires du projet COST REIPAS, nous essayerons de donner une vue d'ensemble d'applications typiques ainsi que des solutions utilisées. Nous présenterons aussi quelques expériences qui ont été finalisées et essayerons d'examiner le travail en cours en Europe en matière de recherche et développement. La terminologie utilisée dans ce document est basée sur les recommandations COST REIPAS (figure 1).

Le but de l'utilisation du renforcement par géosynthétique est (Cost Action 348, 2004-1):

- d'augmenter la durée de vie de la chaussée vis-à-vis de la fatigue,
- de réduire le tassement différentiel et total,
- de réduire l'orniérage de surface et du support,
- de supprimer ou limiter les remontées de fissures,
- d'augmenter la résistance aux fissures dues au gel,
- de réduire l'utilisation matériaux minéraux,
- de réduire les coûts de maintenance,
- d'augmenter la capacité portante,
- de permettre pontage des vides,
- et la construction de la plate-forme.

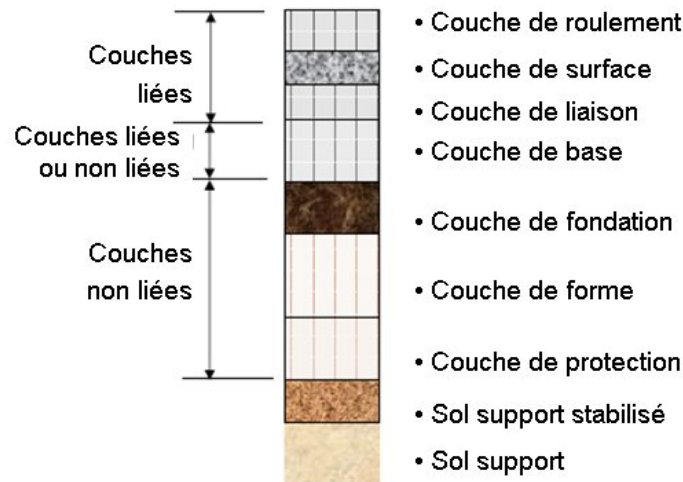


Figure 1. Terminologie de la structure de chaussée utilisée dans ce document (Cost Action 348, 2004-1)

La façon dont est utilisé le renforcement par géosynthétique dépend en grande partie des conditions locales. Les conditions de fondation, les types de matériaux granulaires, les types de couche de roulement, l'eau, la température et les conditions de trafic ont tous une influence sur la conception de la structure, les types de renfort utilisés ainsi que les effets atteints.

La figure 2 montre l'exemple d'un projet de renforcement de la couche granulaire d'une route à faible trafic par géogrille. Situé à Vesterålen en Norvège en 1984, il fait l'objet d'un rapport de SINTEF (Myhre, 1985). Un problème de cette région est la réalisation et le renforcement de chaussées pour des routes en matériaux granulaires sur sous-sols mous. Dans le cas présent, l'ancienne route était localisée une couche de tourbe d'une épaisseur de 3 m. La route avait une capacité portante insuffisante pendant la période de dégel et avait aussi subi d'importants tassements différentiels. Le renforcement de la route a été réalisé en utilisant une géogrille directement sur l'ancienne route et en superposant une couche portante d'1 m d'épaisseur au-dessus de la géogrille avant d'installer la couche de roulement.



Figure 2. Installation de la géogrille de renforcement lors de la réhabilitation d'une route à Vesterålen, Norvège (Myhre, 1985).

Les mesures après la réhabilitation ont indiqué que le renforcement a augmenté la capacité portante et a réduit des tassements différentiels. La route est maintenant en service depuis plus de 20 ans après la réhabilitation. De manière générale, l'expérience a été concluante, mais en raison d'une fissuration de la couche de roulement, un géosynthétique de renforcement a été mis en place ensuite dans celle-ci.

## **2. Applications**

### **2.1. Couches non-traitées**

Les géosynthétiques de renforcement utilisés dans les couches non-traitées sont des géogrilles, géotextiles et géocomposites en polymère. Le renforcement est installé dans la structure de chaussée sous, et parfois dans, la couche de base, la couche de fondation, la couche de forme ou le sol support stabilisé. Un résumé des fonctions, de l'emplacement et du type de renforcement utilisés est présenté dans le tableau 1.

Le renforcement peut être employé soit pour la construction de routes nouvelles soit pour la réhabilitation et la mise à niveau de routes existantes. Lorsqu'utilisé dans de routes nouvelles, la fonction la plus commune consiste à augmenter significativement la capacité portante du sol mou en répartissant les charges dues au trafic sur une surface plus large, ceci grâce au renforcement en général situé directement sur sol support. Les bénéfices sont liés à une réduction de la pression appliquée sur le sol mou et donc à moins de déformations lors de la construction et à moins de déformations (tassements différentiels et ornière) pendant la durée de service. Généralement les effets du renforcement augmentent lorsque la résistance du sol support diminue et lorsque les charges de trafic augmentent. Dans le cas de sol très mous, typiquement argile molle sur tourbe, une solution de multicouches de renfort au niveau du sol support combinée avec une deuxième ou troisième couche de renfort plus haut dans la structure est occasionnellement utilisée. Les géosynthétiques sont aussi fréquemment employés pour passer les vides dans zones à risque d'effondrement, comme par exemple les zones minières.

Dans des secteurs susceptibles au gel, les anciennes routes en sols granulaires comportent en général des matériaux sensibles au gel et ont de ce fait une capacité portante très faible pendant la période de dégel. Avant l'installation d'une nouvelle structure de chaussée, il est courant d'utiliser, au dessus de l'ancienne route, un géotextile de séparation avec, en sus, une grille de renfort ; ceci avant d'installer les nouvelles couches de base et de roulement. Dans ce cas, la fonction de renfort consiste à réduire la déformation de l'ancienne structure pour éviter un orniérage important ainsi que d'éventuels dégâts sur la structure de la nouvelle route. Une large gamme de matériaux est mise en place dans et sous les couches non-traitées. Ceux-ci ont beaucoup de fonctions et d'effets différents. Bien que tous les matériaux de renforcement apportent une amélioration du comportement de la chaussée, il n'est pas possible de préciser cet avantage à partir d'essais classiques de laboratoire.

### **2.2. Couches traitées**

Une gamme plus large de matériaux est utilisée pour le renfort de couches traitées ; ils répondent à un grand nombre de problèmes. Les types de géosynthétiques utilisés dans les couches traitées sont des géotextiles, des géogrilles à base de polymère, des géogrilles en fibre de verre et des géocomposites. L'utilisation de géosynthétiques dans des couches traitées est plus généralement liée à la réhabilitation de route. L'utilisation de géosynthétiques peut être liée soit à la mise à niveau et à l'installation d'une couche de roulement sur des routes existantes en matériaux granulaires, soit à la réfection de la couche de roulement de routes existantes dont le revêtement est fissuré. Typiquement les problèmes résolus lors de l'utilisation de géosynthétiques de renfort dans la couche de roulement sont présentés dans les figures 4 à 7 et les exemples de mécanismes de détérioration menant à la fissuration du revêtement sont présentés dans les figures 8 à 11.

Tableau 1. Fonction, emplacement et type de renforcement dans les couches non-traitées  
(Cost Action 348, 2004-1)

<b>Fonction</b>	<b>Couche de base</b>	<b>Couche de fondation</b>	<b>Couche de forme</b>	<b>Sol support stabilisé</b>
Éviter l'orniérage	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles.	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles. Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles. Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles. Géotextiles
Augmenter la capacité portante	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles
Éviter les fissures dues au gel	Treillis métalliques Géogrilles en polymère	Treillis métalliques Géogrilles en polymère		
Éviter les fissures dans les zones d'élargissement	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	
Éviter les fissures de fatigue	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	
Contrôle de déformation du sol support		Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles
Pontage des vides		Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles
Construction de la plate-forme	Normalement pas de couche de base	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles



Figure 4. Route en matériau granulaire avec une capacité portante insuffisante, Snåsa, Norvège.



Figure 5. Orniérage de surface du revêtement en asphalte, Hitra, Norvège.



Figure 6. Fissuration du revêtement en raison du gel, Rælingen, Norvège



Figure 7. Remontée de fissures sur chaussée en béton, Svalbard, Norvège

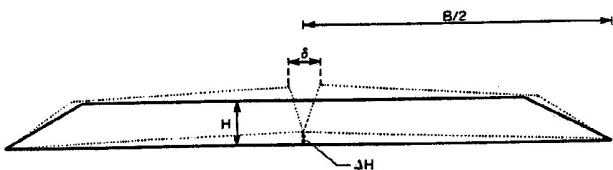


Figure 8. Mécanisme de soulèvement lié au gel.

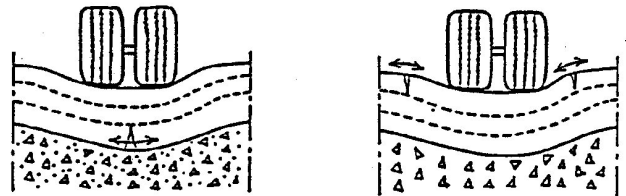


Figure 9. Fissure causée par l'orniérage

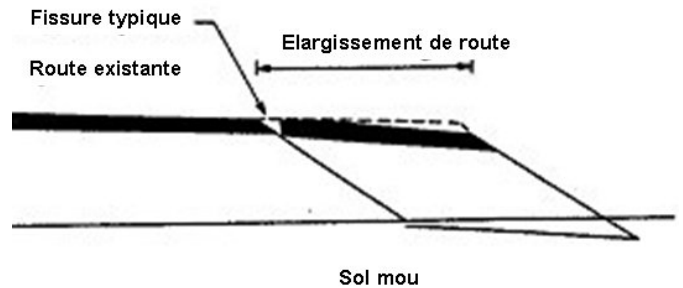
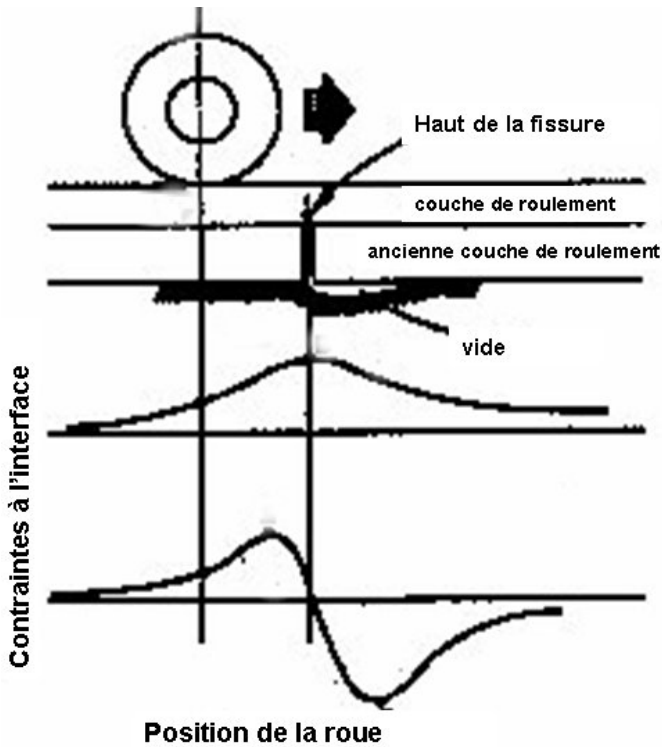


Figure 10. Mécanisme de remontée de fissure

Figure 11. Fissure liée à l'élargissement de la route

Un résumé des fonctions, de l'emplacement et du type de renforcement dans les couches traitées est présenté dans le tableau 2.

Tableau 2. Fonction, emplacement et type de renforcement dans les couches traitées  
(Cost Action 348, 2004-1)

Fonction	Couche de base	Couche de liaison	Couche de surface	Roulement
Éviter l'orniérage		Treillis métalliques	Treillis métalliques Géogrilles en polymère	Treillis métalliques Géogrilles en polymère
Augmentation et protection de la capacité portante	Treillis métalliques Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géotextiles pour chaussée	Géotextiles pour chaussée	
Éviter les fissures liées au gel	Treillis métalliques	Treillis métalliques	Treillis métalliques	
Éviter les remontées de fissures	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée
Éviter les fissures liées à la fatigue	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée
Contrôle du tassement différentiel	Treillis métalliques Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée Géogrilles en verre	Treillis métalliques Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée Géogrilles en verre	Treillis métalliques Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée Géogrilles en verre	

### 3. Fonctions, mécanismes et dimensionnement

#### 3.1. Couches non-traitées

La conception et la performance de couches de base en matériaux granulaires dans des structures routières sont probablement les sujets les plus anciens du génie civil. Depuis les anciennes routes romaines jusqu'à aujourd'hui, beaucoup d'expérience a été acquise sur les charges, les propriétés des matériaux et le comportement de la structure. Aussi l'utilisation de différents types de renfort pour la stabilisation des couches de base en matériaux granulaires dans les routes est une technique bien connue depuis les temps anciens. À l'origine, des matériaux d'origine naturelle ont été utilisés tels, la paille, le bois ou le bambou. Plus tard des matériaux synthétiques ont pris le dessus et, parfois même, d'anciens et de nouveaux matériaux se sont réunis dans la même structure (figure 12).



Figure 12. Des renforcements par géosynthétique sont apportés sur une route d'accès avec un renforcement en bois.

La conception de structures routières inclut une grande variété de paramètres : charges de trafic, température, pluie, neige, sol support, drainage et type de matériau dans la chaussée. Les modèles numériques pour décrire le comportement et le dimensionnement théorique sont devenus très compliqués et l'inclusion de renfort géosynthétique ne simplifie pas la tâche ! En conséquence, le dimensionnement de couches de base en matériaux granulaires renforcées par géosynthétique est dans une large mesure basé sur l'expérience et les modèles numériques ne permettent au mieux que de reproduire ce qui a été observé sur le terrain.

Pour les chaussées souples, l'approche mécanique-empirique faisant intervenir plusieurs couches élastique-linéaire est largement utilisée. Dans cette approche, la déformation au bas de la couche en matériau lié, la contrainte verticale sur la couche de base en matériaux granulaires et la déformation de compression au sommet du sol sont les paramètres critiques.

Les mécanismes fonctionnels du renfort géosynthétique dans les couches de base en matériaux granulaires non traitées peuvent être (Cost Action 348, 2004-2) :

- l'augmentation de la résistance aux déformations élastiques grâce à l'augmentation du niveau de la contrainte horizontale dans la structure ;
- augmentation de la capacité de portance de la structure de chaussée grâce à la diffusion de la charge sur une surface plus large du sol sous-jacent ;
- réduction de la mobilisation du sous-sol grâce à la diminution de la contrainte de cisaillement transférée au sol support ;
- augmentation de la résistance aux déformations permanentes du matériau granulaire lui-même en réduisant les mouvements horizontaux des particules granulaires (confinement).

La modélisation devrait prendre en compte à la fois l'effet des déformations élastiques de la chaussée mais aussi l'influence du géosynthétique sur la résistance contre les déformations plastiques (permanentes). Or, généralement, l'effet du renfort géosynthétique dans les couches de base en matériaux granulaires est surtout relié à la résistance aux déformations plastiques et dans une moindre mesure à l'influence sur les propriétés élastiques.

En pratique, pour dimensionner une chaussée avec un géosynthétique dans une couche de base granulaire il convient d'estimer l'effet principal de celui-ci sur les mécanismes fonctionnels. Cela signifie que la modélisation de l'effet du renfort géosynthétique doit prendre en compte :

- l'effet sur la rigidité de la couche granulaire,
- l'effet sur la fonction de transfert de l'endommagement de la couche granulaire,
- effet de mobilisation réduite du sol support.

Puisque l'effet d'un géosynthétique de renfort donné dépend fortement des conditions locales (charge de trafic, sol support, des matériaux et du degré de flexibilité de la chaussée) aucune règle ou directive générale n'est trouvée pour la modélisation de cet effet. En grande partie, le dimensionnement est basé sur des recommandations de dimensionnement spécifiques basées sur l'expérience du producteur. Néanmoins, cela signifie généralement que la comparaison entre différentes solutions de couches de base renforcées par géosynthétique et des solutions plus conventionnelles est très difficile. Cela signifie aussi que seule l'utilisation du renfort géosynthétique dans la couche de base a été prise en considération de manière limitée dans des recommandations générales pour le dimensionnement des routes.

### **3.2. Couches de roulement**

L'expérience principale concernant le renfort des couches liées concerne la couche de roulement en asphalte. Dans le cas des couches de roulement en asphalte, le géosynthétique est mis en place aussi bien dans les constructions nouvelles que lors de la maintenance de couches de roulement anciennes fissurées. Dans quelques cas, le renfort géosynthétique est aussi utilisé pour éviter les remontées de fissures quand la couche de roulement en asphalte est placée sur une ancienne couche de roulement en béton.

La fissuration peut être causée par trois mécanismes différents :

- les charges de trafic,
- les variations de température dans quelque temps,
- les mouvements du sol (tassements, soulèvement par le gel).

Deux mécanismes différents sont identifiés lors de l'utilisation de renfort géosynthétique dans les couches de roulement (Cost Action 348, 2004-2) :

- réduction de la déformation de traction dans la couche de roulement par mobilisation de la contrainte de traction dans le renfort ;
- relâchement des contraintes d'interface pour éviter le transfert des déformations de traction aux couches sous-jacentes.

Puisque le bénéfice du renfort géosynthétique dépend largement du type de mécanisme de fissuration, il est impossible de donner des directives générales pour le dimensionnement sur la base d'expériences de laboratoire. Un modèle de dimensionnement ou une directive de dimensionnement pour cette application devraient prendre en compte (Cost Action 348, 2004-2) :

- le mécanisme dominant de fissuration,
- les caractéristiques du trafic,
- les variations de température,
- les propriétés de la chaussée,
- les propriétés des matériaux granulaires,
- les conditions de la chaussée existante (en cas de réfection),
- les propriétés du géosynthétique,
- l'interaction géosynthétique avec les matériaux avoisinant (couche de roulement) - les équipements de construction et les procédures.

Actuellement, il semble qu'aucun modèle, ou aucune méthode, n'existe qui prenne en compte tous ces facteurs d'une façon cohérente. Comme pour le renfort des couches de base granulaires, le dimensionnement est en grande partie basé sur l'expérience ("cela a bien marché la dernière fois") et est aussi spécifique au produit. Les modèles et les procédures suivants sont couramment utilisés dans la pratique; ils sont décrits plus en détail dans (Cost Action 348, 2004-2) :

- Arcdeso
- Bitufor
- Université de Nottingham



#### 4. Vérification des effets

Un certain nombre d'essais de terrain ont été effectués pour évaluer l'effet d'un renfort géosynthétique. De même des expériences sont aussi largement disponibles. Mais seulement un nombre limité de ces projets ont été documentés de façon à pouvoir être utilisés comme référence.

Dans une partie du projet COST REIPAS, une enquête sur les méthodes utilisées pour vérifier les effets du renfort dans les structures de chaussées a été effectuée. L'enquête incluait à la fois la vérification de propriétés, base du dimensionnement et la vérification par essais sur le terrain. Un résumé des résultats de cette enquête est donné dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 3. Évaluation des propriétés des matériaux utilisés pour construire la chaussée  
(Cost Action 348, 2004-3)

Référence d'essai	Paramètre	Produit	Commentaire
Essai traction (EN 10319)	Résistance à la traction	Géotextiles Géogrilles Géocomposites	
	Déformation à l'effort maximal		
Masse surfacique (EN 965)	Masse surfacique	Géotextiles Géogrilles Géocomposites	
Poinçonnement statique (CBR) (EN ISO 12236)	Force maximum	Géotextiles Géocomposites	
Perforation dynamique (EN 918)	Taille du trou	Géotextiles	
Résistance des joints GR1/GG2	Résistance des joints	Géogrilles en fibre de verre et composites geotextile/grille pour chaussée	Une mesure de la capacité du textile et de la grille à adhérer l'un à l'autre dans un produit composite. C'est très critique à l'installation et pour la « constructibilité ».
Résistance d'une bande GR1/GG2 ASTM D6637	Résistance d'une bande	Géotextiles Géocomposites	
Résistance au pelage ASTM D 413	Résistance au pelage	Géogrilles en fibre de verre et composites geotextile/grille pour chaussée	Une mesure de la capacité du textile et de la grille à adhérer l'un à l'autre dans un produit composite. C'est très critique à l'installation et pour la « constructibilité ».
Essai à la roue T U München	Géométrie Raideur horizontale, verticale	Tous produits	

Tableau 4. Évaluation de la performance de la chaussée en service  
(Cost Action 348, 2004-3)

Nom de l'essai	Test de référence	Paramètre évalué	Application	Type de produit	Commentaire
Mesures du profil de surface		Planéité de la surface	Orniérage	Tous	
Poutre Benkelman		Déflexion / capacité portante	Capacité portante	Tous	Jusqu'à maintenant non utilisé pour les structures de chaussées renforcées
Contrôle de profondeur	ISB HILTI-Ferrosan		Orniérage Remontée de fissures	Treillis métalliques	Basé sur les méthodes conventionnelles du béton armé. Procédure de calibrage pour les couches d'asphalte nécessaire.
Capacité portante, essai de portance à la plaque	MSZ 2509/3:1989 MSZT	Module de portance (MN/m <sup>2</sup> ) Taux de compactage	Sur le renforcement avec geotextile au dessus de la première couche sur le sol support		Essai statique
Essai d'ancrage	GRI - Geosynthetic Institute, USA,PA	Force d'ancrage, interaction	Sol renforcé	Géogrilles	Pour l'instant seulement pour la recherché, non inclus dans les spécifications techniques
Performance interaction sol-géosynthétiques	BS + projet critère spécifique	Déformations de géogrilles	Sol renforcé pour remblais et soutènements	Géogrilles	Seulement pour quelques projets suivant spécifications techniques
Section d'essai – couche de roulement en asphalte renforcée		Observation générale sur période à long terme	Sections d'autoroute	Géogrilles - Tensar	Seulement plusieurs sections d'une autoroute sont instrumentées depuis 10 ans Monitoring de la performance de couches d'asphalte, de béton et de l'ensemble de la chaussée
Essai triaxial cyclique	Équipement de recherche	Déformation cumulée sous chargement cyclique	Propriétés de matériau de couche de base renforcé	Géotextiles géogrilles géocomposites	Utilisé dans projet de recherche
Essai de modélisation à grande échelle		Déformation observée sous chargement cyclique	Sol support renforcé	Géogrilles Géotextiles	Matériau concassé sur argile molle
Essais de déflexion	Défectographe				Vérification de l'impact du renforcement sur les routes bitumineuses

## 5. Recommandations nationales

Comme écrit précédemment, le manque de méthode de dimensionnement cohérente ainsi que d'évaluation des effets est un obstacle majeur pour la reconnaissance du renforcement par géosynthétique dans les structures de chaussées. Bien qu'un grand nombre de projets ait été réalisé en utilisant ce renfort dans les structures de chaussées, ce dernier n'est généralement pas inclus dans les normes nationales et les directives comme le sont les matériaux et les solutions structurelles conventionnels.

Cependant certaines recommandations sur l'utilisation de renfort géosynthétique dans les structures de chaussées existent, que ce soit pour les matériaux granulaires ou pour les couches de roulement. Le tableau 5 donne une vue d'ensemble de quelques directives et exigences nationales.

Table 5. Directives et recommandations nationales pour renforcement géosynthétique dans les structures de chaussées

Pays	Référence	Contenu
Suède	ATB Väg 2004	Recommandations pour des solutions structurelles
Norvège	L'utilisation de renfort pour renforcer les structures routières et les terrains d'aviation. Proposition de recommandations. SINTEF report STF69 A92025 (1992) (en Norvégien)	Recommandations pour le dimensionnement, les solutions structurelles et la construction
	Handbook 018 Road construction. Direction des routes norvégienne (en Norvégien, éditions révisées automne 2004)	Recommandations pour les solutions structurelles
Allemagne	Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Strassenbaus. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (2003)	Recommandations sur les exigences sur les géosynthétiques
Royaume Uni	Pas de documents officiels	
Pays-Bas	CROW Report 157.(2002): Dunne asfaltverhardingen: dimensionering en herontwerp	Méthode pour le dimensionnement des couches de roulement minces avec et sans renforcement géosynthétique

## 6. Sections d'essai

Un certain nombre de sections d'essai ont été construites pour examiner les effets du renforcement géosynthétique tant pour les couches granulaires que pour les couches de roulement. Dans la suite, seuls quelques exemples sont donnés pour montrer la variété de projets qui ont été réalisés.

### 6.1. Route d'essai à Hitra en Norvège

Le projet a été réalisé pour examiner l'effet du renfort géosynthétique dans le cas de la réhabilitation d'une ancienne route en grave sur un sol très mou soumis à des tassements et avec une faible capacité portante en période de dégel. Le but de la réhabilitation était d'améliorer la capacité portante de la route afin d'éviter les restrictions sur les charges d'essieux pendant la période de dégel et afin de limiter les déformations en surface pour éviter la fissuration de couche de roulement. La structure a été conçue par la municipalité de Hitra avec l'aide des autorités des routes locales. SINTEF était responsable de l'évaluation des résultats (Watn et Øiseth, 2000). La disposition de la structure est présentée sur la figure 13.

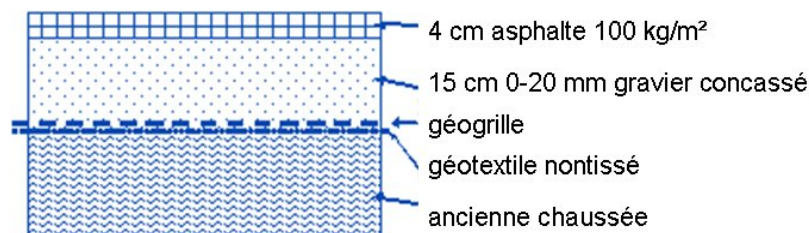


Figure 13. Disposition de la structure de route d'essai à Hitra (Watn et Øiseth, 2000).

La réhabilitation a été exécutée par section sur une durée de plusieurs années et avec différents types de renfort en géogrilles. Des vues de l'installation du renfort et de la couche de béton bitumineux sont montrées sur les figures 14 et 15.

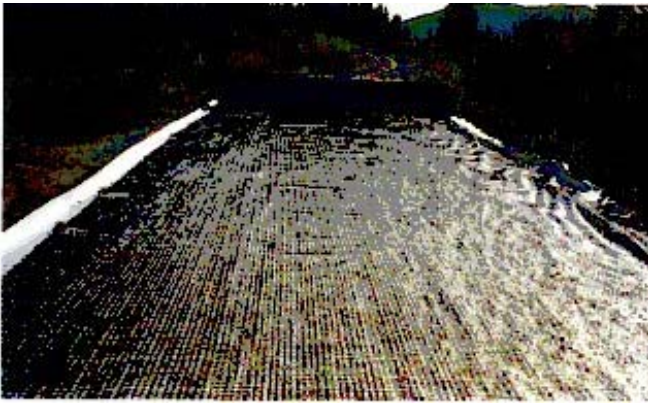


Figure 14. Hitra, Norvège. Installation de la géogrille.



Figure 15. Hitra, Norvège. Route après installation du béton bitumineux.

L'évaluation des résultats montre que les travaux de réhabilitation ont été fructueux, dans la mesure où aucune ornière significative ni aucune fissure dans le revêtement n'a été observée sur les sections d'essai.

On a aussi conclu que le déflectomètre (à chute de poids) (FWD) n'était pas approprié pour évaluer l'effet du renfort pour cette application dans la mesure où il permet d'évaluer principalement les propriétés élastiques alors que l'effet du renfort est généralement effectif dans des déformations plastiques

## 6.2. Test en Allemagne

Wilmers et al (2003) rapportent les résultats d'un projet expérimental en Allemagne où 3 types de géogrilles ont été installés dans une planche d'essai soumise à un trafic contrôlé et où les mesures des déformations totales et de la déformation du renfort ont été réalisées (figures 16 & 17).



Figure 16. Planche d'essai, Allemagne (Wilmers et al., 2003)



Figure 17. Installation de la géogrille dans la planche d'essai

La planche d'essai a été conçue pour permettre de remplacer le support afin d'évaluer l'effet du renforcement à la fois sur un sable relativement ferme et sans support. Ceci a été réalisé au moyen d'un tunnel d'inspection permettant d'exécuter des mesures et des inspections du renfort par dessous (figure 18). Des essais à la plaque ont été réalisés pour mesurer l'influence du renfort sur la capacité portante.

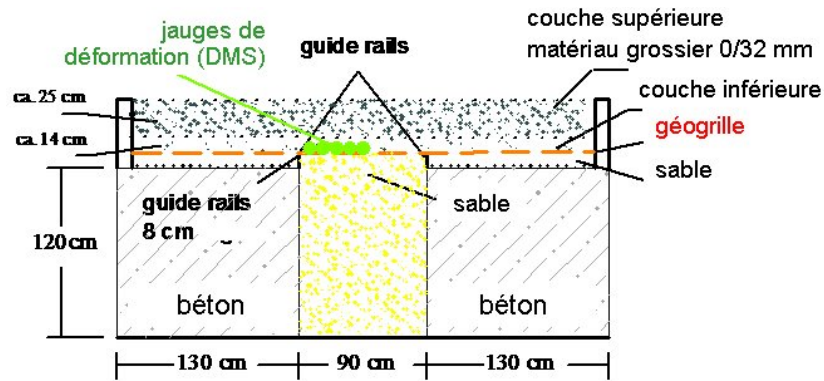


Figure 18. Disposition de la planche d'essai. Le sable au centre de la planche d'essai est excavé après compactage de la couche de matériau supérieur.

Les déformations et déplacements de la géogridde ont été mesurés pendant les essais à la plaque après compactage de la couche de matériau supérieur et après excavation du sable.

Les conclusions principales de ces essais sont les suivantes :

- le système a fonctionné avec toutes les grilles testées ;
- pendant les essais à la plaque en présence de sable support la réaction des grilles est mesurable, mais l'influence du renforcement est négligeable ;
- pendant les essais à la plaque sur le système sans sable, les grilles supportaient la charge, ensuite la couche porteuse a perdu toute sa rigidité (rupture) ;
- l'allongement des grilles se produit pour développer l'effort nécessaire au support de la charge - l'allongement dépend du module en traction de la grille.

## 7. Évaluation de l'état et du besoin en développement

Des essais sous trafic continuent à être effectués, utilisant tous les types de matériaux géosynthétiques. L'identification d'essais en laboratoire appropriés, permettant de caractériser les propriétés adéquates des matériaux de renforcement, continue à être difficile. Les investigations sur le mécanisme de renfort et l'interaction entre les particules de l'agrégat et le matériau géosynthétique ne sont pas encore bien développées et formeront le sujet de futurs projets de recherche.

Il y a très peu de documents nationaux en Europe qui spécifient, ou même reconnaissent, les avantages économiques et techniques qui peuvent être atteints en utilisant le renfort géosynthétique dans les structures de chaussée. Ces documents sont généralement des recommandations et quelques documents nationaux excluent l'utilisation de renfort en raison du manque de connaissance sur le sujet. Si l'on souhaite pouvoir valoriser tous les avantages du renfort des structures de chaussée, alors les initiatives comme le COST 348 sont essentielles pour générer l'enthousiasme des autorités afin qu'elles se penchent sur ces applications. L'ensemble des résultats du COST 348 a été présentée par Watn et al. (2005). Les complications liées au manque de tests appropriés pour évaluer la performance d'un matériau dans une route doivent être reconnues. Ceci représente probablement le sujet le plus critique pour le développement de ce domaine. Une fois que les raisons qui influencent la performance d'un renfort particulier dans une route seront comprises, alors les matériaux de renfort eux-mêmes se développeront pour optimiser cette performance.

## 8. Proposition de recommandations

S'appuyant sur plus de 30 ans d'expérience sur le terrain et sur un certain nombre d'essais, tant au laboratoire qu'in situ, SINTEF a préparé en 2006 une proposition de recommandations pour l'utilisation de renfort dans des routes (Watn et al., 2005 ; Hoff et Øiseth, 2006). Les recommandations incluent un guide introductif pour les différents types et qualités de renforcement. Le document est centré sur le choix de solutions pour l'utilisation de renfort lié aux types différents de mécanismes de détérioration et sur les exigences correspondantes pour le renforcement. Les applications sont divisées en renforcement dans la construction de routes nouvelles et en renfort utilisé dans le renforcement de routes existantes.

Le renfort est considéré particulièrement approprié pour la réhabilitation de routes existantes ou lorsque le sous-sol exige des mesures complémentaires pour supporter les effets du trafic pendant la construction de routes nouvelles. Pour chaque application et solution, il y a des recommandations pour l'exécution des travaux et pour les conditions nécessaires à l'obtention d'un bon résultat. L'utilisation de renforcement est reliée aux catégories listées dans le tableau 6.

Tableau 6 Emplacement and catégories de problèmes pour l'utilisation de renfort dans les structures de chaussée.

Emplacement du renforcement	Type de problème
Renforcement de couches granulaires	Route d'accès sur sol mou
	Élargissement
	Renforcement des bas-côtés
	Renforcement pour augmenter la charge d'essieu permise (amélioration de la capacité portante)
	Routes avec épaisseurs de couche de base et de couche de fondation réduites
Renforcement dans la couche de roulement	Fissures dues au soulèvement par le gel
	Fissures de rives / autres fissures
	Autres fissures
Autres endommagements	Autres endommagements

En s'appuyant sur l'évaluation de type de dégâts et des mécanismes de détérioration, les directives proposent des solutions structurelles possibles. Elles incluent le type de renfort et les exigences correspondantes, ainsi que les directives pour la vérification de la fonction et pour l'exécution de la mise en œuvre.

Un exemple de directives pour des recommandations sur l'utilisation de différents types de renfort dans le cas des fissures dues au gel est présenté sur la figure 19.

Type d'endommagement	Geogrid	SRI	Fibre de verre	Acier
Fissures liées au soulèvement du au gel				
très élevé : > 50 mm			(*)	
élevé : 20 à 50 mm			(*)	
moyen : 5 à 20 mm			(*)	
faible : < 5 mm				

Figure 19. Recommandations pour l'utilisation en renforcement de fissures dues au gel

*Le code des couleurs :*

*Vert : devrait normalement fonctionner ; d'autres solutions possibles en fonction des coûts.*

*Jaune : peut bien fonctionner, mais considérer d'autres méthodes en premier lieu.*

*Rouge : normalement non approprié : d'autres solutions à évaluer en raison des coûts.*

## 9. Conclusions

Le renforcement par géosynthétique a été utilisé pendant plus de 40 ans en Europe dans les structures de chaussées. Nous pensons que l'utilisation de géosynthétiques en renfort dans structures routières a un potentiel très important et que les avantages correspondants peuvent à la fois réduire des coûts de construction et augmenter la performance de la route. Malgré la grande quantité de projets de recherche et un grand nombre de projets fructueux sur le terrain, le renforcement par géosynthétique n'est toujours pas reconnu comme une solution au même niveau que les méthodes plus conventionnelles. C'est en grande partie dû au manque de modèles à la fois techniquement fiables basés les mécanismes fonctionnels du renfort et indépendants des produits.

Actuellement le dimensionnement des routes est basé en grande partie sur des méthodes semi-empiriques et cela rend l'inclusion de nouveaux matériaux et de nouvelles méthodes difficile. Un certain nombre de projets de recherche ont été effectués pour développer des modèles et des méthodes, mais il

reste toujours beaucoup de travail à faire. On devrait se concentrer sur le rassemblement d'expériences de terrain pour vérifier les effets du renforcement et combiner ces résultats avec des modèles techniquement raisonnables pour évaluer l'effet de renforcement et indépendants des produits. Sur cette base des méthodes de dimensionnement devraient être développées qui prennent en compte les conditions spécifiques au site et les caractéristiques du renfort.

## 10. Références bibliographiques

- Cost Action 348 (2002). Memorandum of understanding for the implementation of a European Concerted Research Action Designated as COST Action 348 "Reinforcement of pavements with steel meshes and Geosynthetics. COST – European Cooperation in the field of Scientific and Technical research". (<http://cost.cordis.lu/src/whaticost.cfm>)
- Cost Action 348 (2004-1). Reinforcement of pavements with steel meshes and geosynthetics (REIPAS). Draft Report of WG 1 chaired by Chris Jenner.
- Cost Action 348 (2004-2). Reinforcement of pavements with steel meshes and geosynthetics (REIPAS). Design Models and Procedures for Geosynthetics in Pavements, draft report of WG 4 chaired by Arian de Bondt.
- Cost Action 348 (2004-3). Reinforcement of pavements with steel meshes and geosynthetics (REIPAS). Development and testing work, draft report of WG 3 chaired by Gudmund Eiksund.
- CROW Publicatie 157 (2002). Dunne asfaltverhardingen: Dimensionering en herontwerp.
- Hoff I., Øiseth E. (2006). Use of reinforcement in roads. Proposal for guidelines. Lecturing compendium NGF-seminar 2006. (in Norwegian)
- Myhre J. (1985). Strengthening of a road on peat using Tensar geogrid and Terram Geotextile. SINTEF report STF61 F85011.
- Watn A., Øiseth E. (2000). Geosynthetic reinforcement in roads – test road at Hitra, Sør-Trøndelag, Norway. SINTEF report STF22 F00604.
- Watn A. et al. (2005). Geosynthetic reinforcement for pavement systems – European perspectives. Proceeding Bearing Capacity of Roads and Airfields (2005).
- Wilmers et al. (2003). Load bearing behaviour of Geogrids – Large scale tests. Geotechnical Engineering with Geosynthetics, Proceedings of the third European Geosynthetics Conference.

