

Journée d'Etude de la Route et des Infrastructures

J E R I

Méthodes de lutte contre le gel dans les chaussées

Parisa Rossel

N!buxs

Ingénieurs civils spécialisés en construction routière

Gel

Dégradation des chaussées en hiver

- ▶ Soulèvements différentiels de la chaussée



Photo : Federal Highway Administration Research and Technology

Gel

Importance du dimensionnement contre le gel

- ▶ Grand réseau routier de montagne en Suisse
- ▶ L'état actuel des routes de montagne est critique

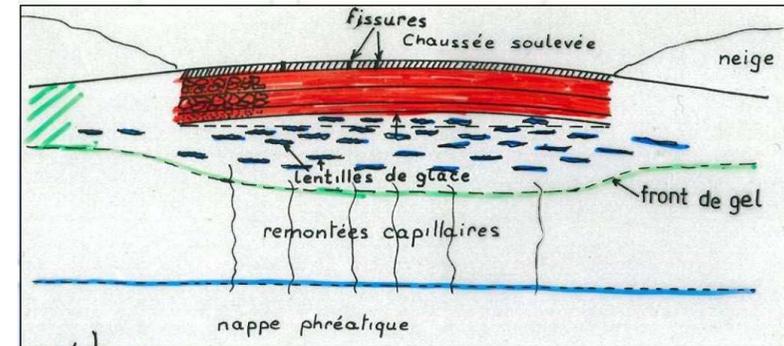


Route d'Arolla, Valais

Mécanismes de gel et dégel

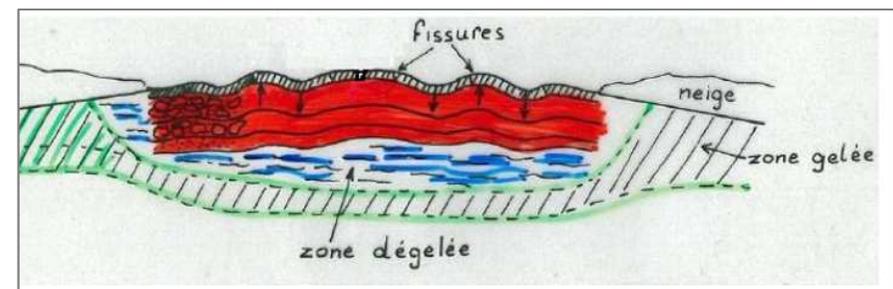
► Gel

- Soulèvement de la surface de la chaussée



► Dégel

- Diminution de portance de la chaussée
- Fissuration, déformations permanentes



Source: (Mauduit, 2010)

Mécanismes du gel

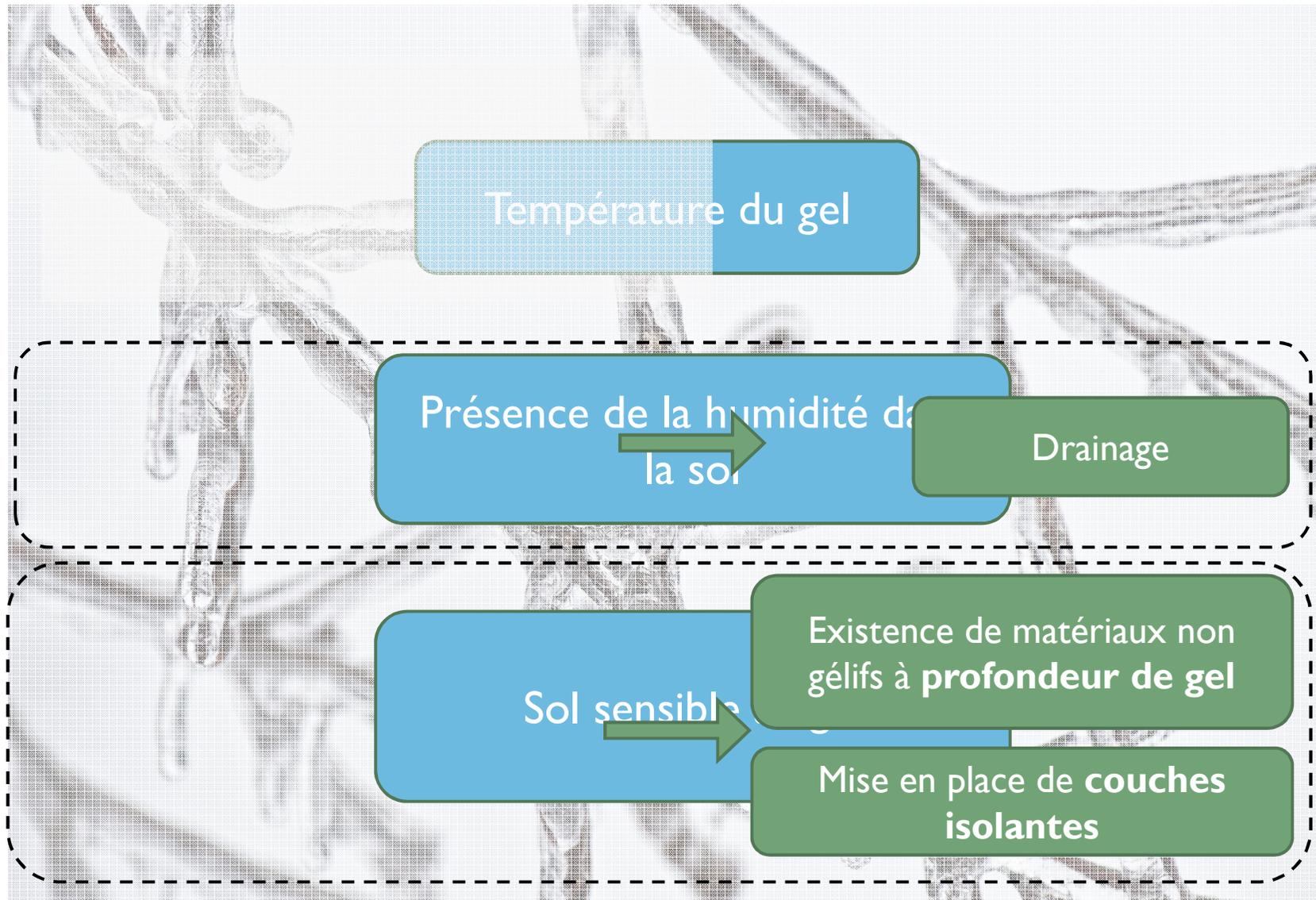


Température de gel

Présence d'humidité dans le sol

Sol sensible au gel

Méthodes de lutte contre le gel



Drainage

- ▶ Réduit le risque d'endommagement du gel dans les chaussées
- ▶ Important, mais pas suffisant !



Sol sensible au gel

- ▶ **Épaisseur suffisante** de la couche de support
 - ▶ Pas sensible au gel
- ▶ Remplacer le sol de support par les matériaux **non gélifs**
 - ▶ Exemple : matériaux de type G1 et G2 selon les normes suisses

- ▶ Profondeur du gel
- ▶ Le type de sol (gélivité)

Type de sol

- ▶ Le degré de gélivité des sols peut être défini par :
 - ▶ Pourcentage de fines (< 0.02 mm)
 - ▶ Degré de gélivité de G_1 à G_4
- ▶ Dans le cas où la teneur en fines $> 3\%$ -masse, la résistance au gel du sol doit être vérifiée.
 - ▶ Gonflement dû au gel pour des échantillons avec différentes teneurs en eau
 - ▶ Coefficient CBR_F après gel et dégel

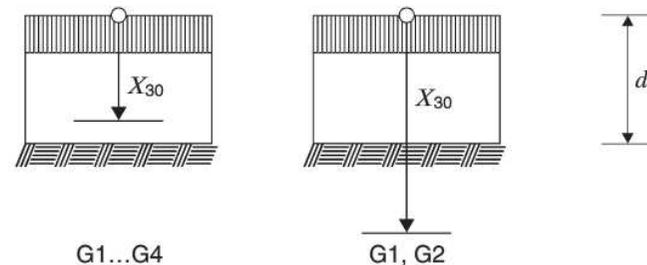


Profondeur de gel

- ▶ Méthode Empirique (norme suisse):

SN 640 324
SN 670 140b

- ▶ Détermination de la gélivité des sols ($G_1 \dots G_4$)
- ▶ Evaluation de l'indice de gel (FI) et de la profondeur de pénétration du gel (X_{30})



- ▶ Méthode numérique
- ▶ Simulation numérique

d_s Epaisseur de la chaussée
(du dimensionnement à la portance)

X_{30} Profondeur de pénétration moyenne du gel
des trois hivers les plus froids des 30 dernières
années

$G_1 \dots G_4$ Degrés de gélivité des sols selon la SN 670 140

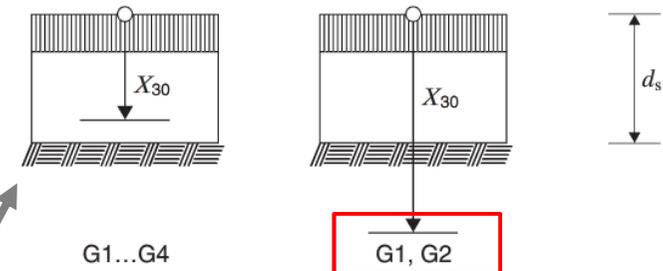
Mesure directe :

*Installation de capteurs de
température*

Profondeur de gel : Exemple (norme suisse)

- Structure de type 1
 - 170 mm d'enrobé bitumineux
 - 400 mm grave non traité

→ $d_s = 570$ mm
- Trafic T4
- Sol de portance S2
- Degré de gélivité de sol de support G3



	Lausanne	La chaux de fond	Andermatt
Profondeur de gel, X_{30} (mm)	500	650	1'100

Profondeur de gel : Exemple (norme suisse)

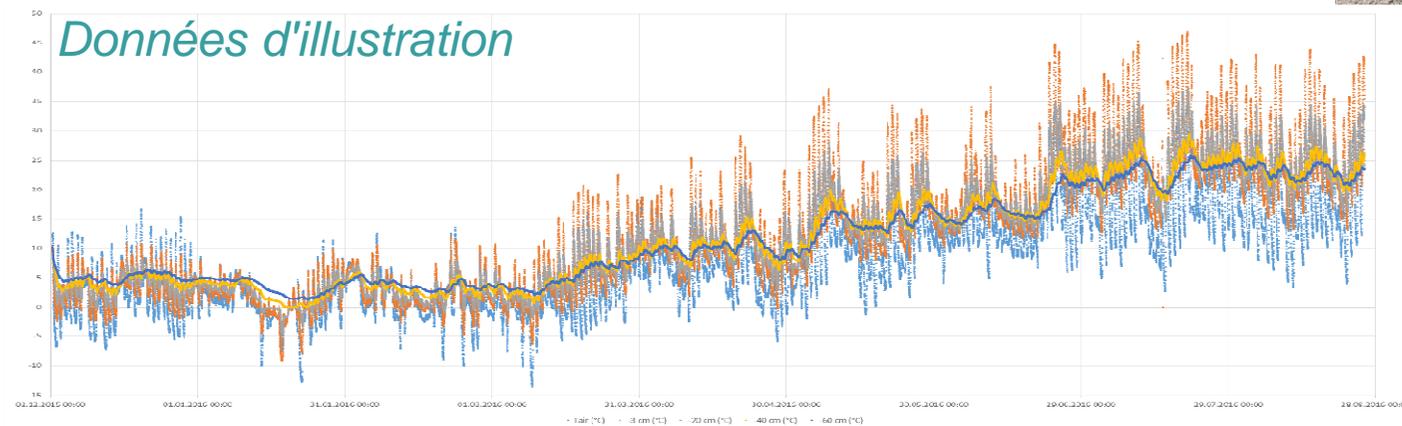
Selon les études précédentes, la profondeur de gel obtenue par la norme suisse est surdimensionnée

- *Changement climatique → Hivers plus chauds*

	Lausanne	La chaux de fond	Andermatt
Profondeur de gel, X_{30} (mm)	500	650	1'100

Mesure directe : Exemple

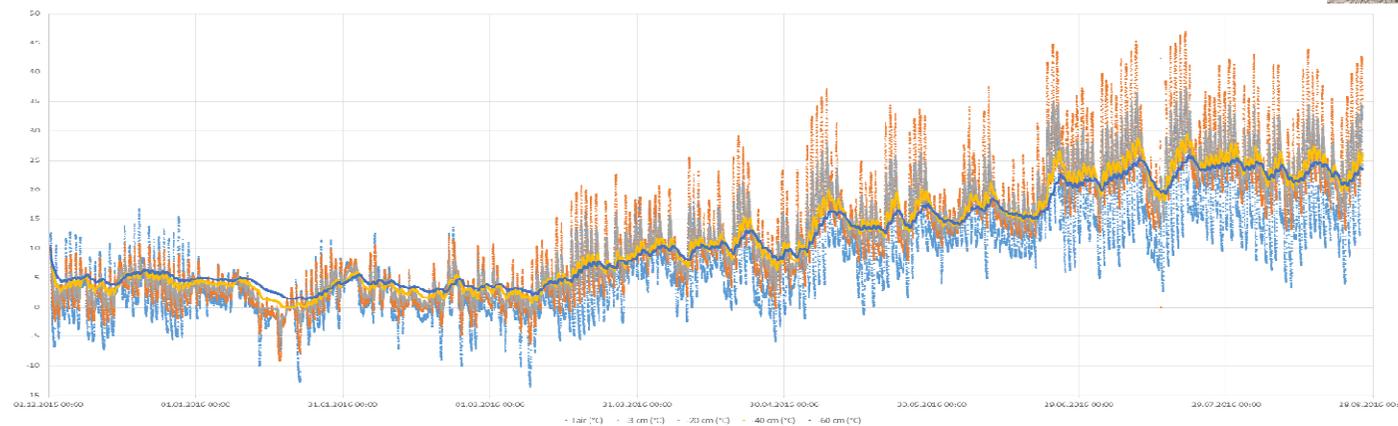
- ▶ Profondeur de gel théorique: 94 cm
- ▶ 5 sondes + température de l'air



Projet de Nibuxs

Mesure directe : Exemple

- ▶ Peu onéreux
- ▶ Résultats robustes
- ▶ Aide pour caler le dimensionnement
- ▶ Utile pendant la phase de planification



Projet de Nibuxs

Couche isolante

- ▶ Ralentir la progression du front de gel dans le sol de fondation
- ▶ Selon la norme Suisse (SN 640 324):
 - ▶ Profondeur minimale de **400 mm** au-dessous de la surface de la chaussée
 - ▶ Epaisseur minimale de l'isolation thermique de **40 mm**

Exemples des matériaux isolants:

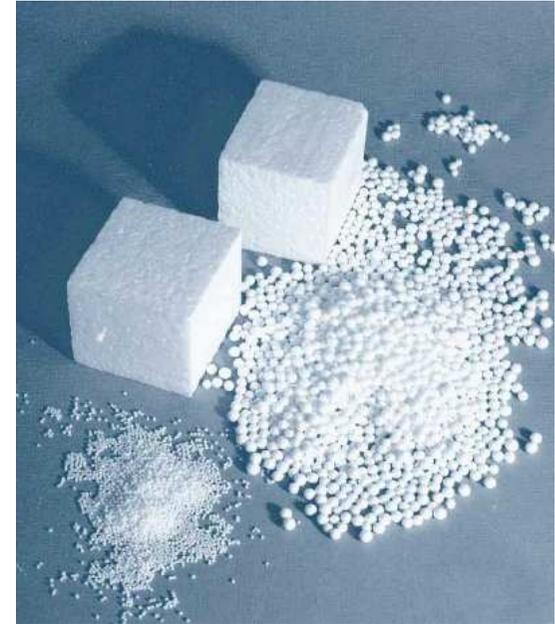
- **Polystyrène**
- **Argile expansée**
- **Verre cellulaire**

Polystyrène

- Forme de billes sphériques de petit diamètre
(0,2 à 0,3 mm)

✓ Très bon isolant thermique
(0.038W/(m.K) à 0.030W/(m.K))

✓ Économique
10 CHF/m² pour 100 mm d'épaisseur de parement et 100 mm d'isolant.



Source: Internet

Polystyrène: Limitations d'utilisation

❌ Circulation lourde interdite sur la surface de l'isolant

(module de rigidité selon la norme suédoise : 2-10 MPa)

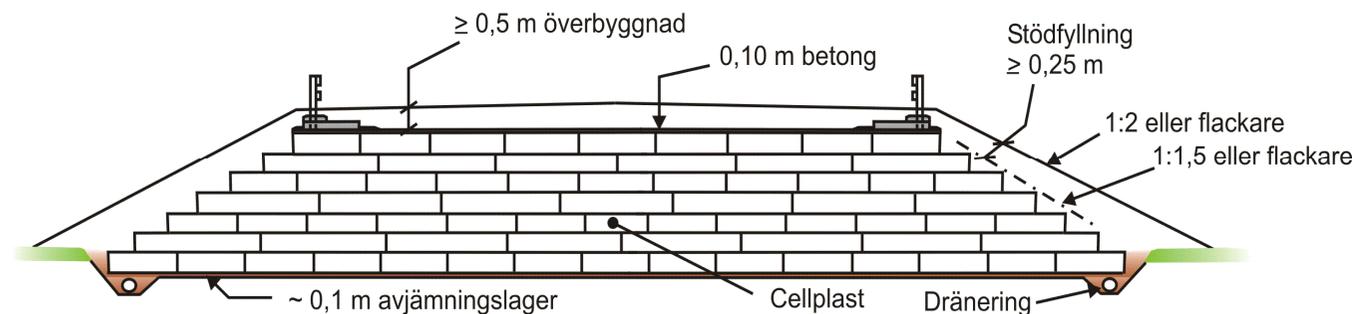


❌ Mise en place sur la surface uniforme



Polystyrène: Dimensionnement

- ▶ Dimensionnement (norme suédoise)
 - ▶ Couche de béton armé sur la couche isolante (min 100 mm)
 - ▶ Distance minimale de 500 mm au-dessous de la surface de la chaussée



Source: Norme suédoise TK Geo13

Argile expansée

- ▶ Matériau issu de l'argile naturelle
- ▶ Fabriquée industriellement et cuite à **1200° C**
- ▶ En forme de bille ou de bloc.

✓ Léger ($380-710 \text{ kg/m}^3$)

✓ Résistance thermique élevé

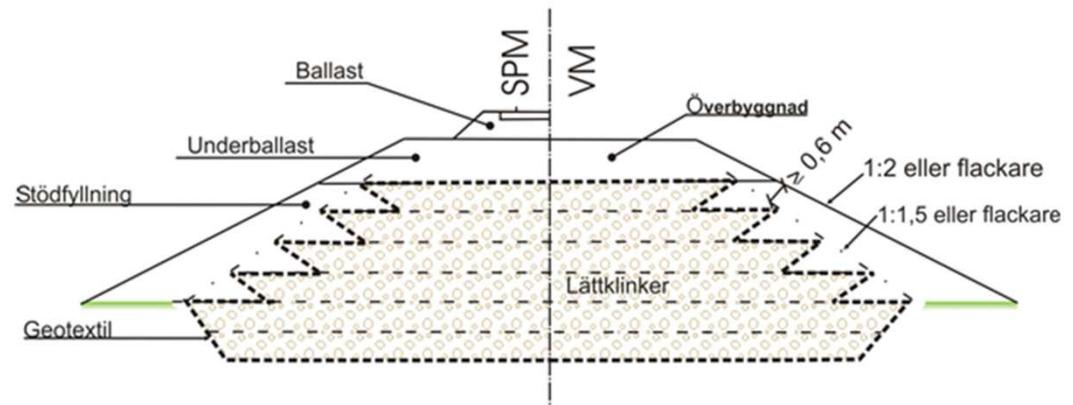
✗ Pas très écologique



<http://www.argex.eu/>

Argile expansée: Dimensionnement

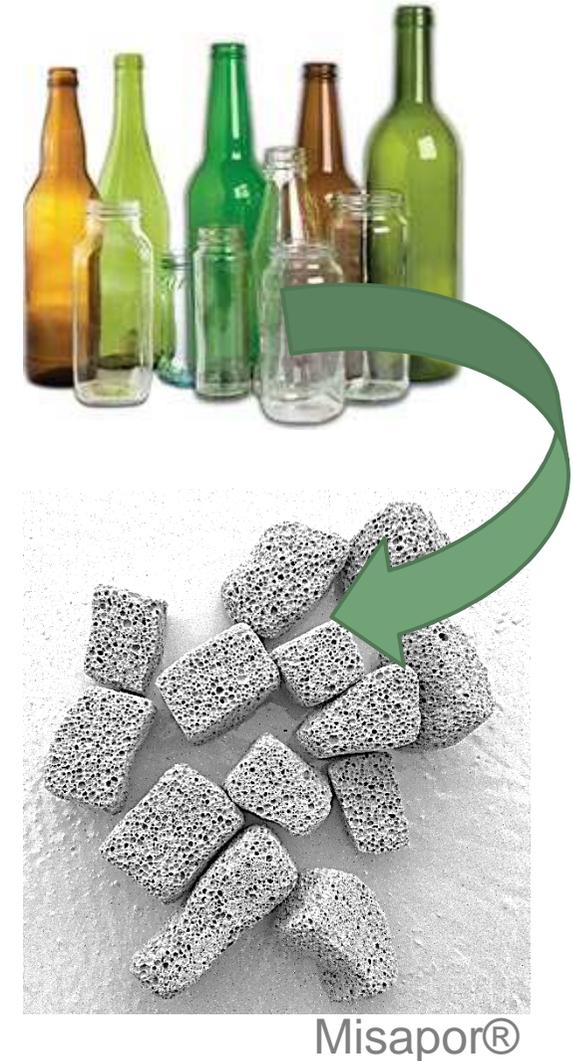
- ▶ Selon la norme suédoise:
 - ▶ Utilisation de Géotextile
 - ▶ Par couches d'environ 60 cm d'épaisseur
- ▶ La teneur en eau augmente dans le temps
 - ▶ Augmentation de la conductivité thermique



Source: Norme suédoise TK Geo13

Verre cellulaire

- ▶ Production à partir de verre recyclé
- ▶ Chauffé à plus de 950°C.
- ✓ Léger ($180 - 250 \text{ kg/m}^3$)
- ✓ Résistance thermique élevée
- ✗ Fabrication peu écologique
 - ✓ Compensé grâce au recyclage du verre

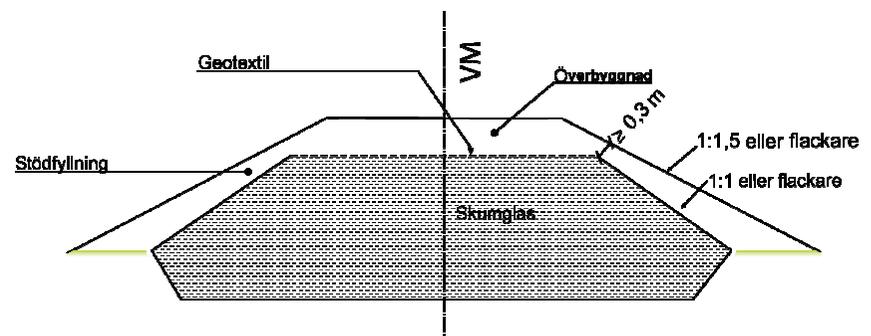
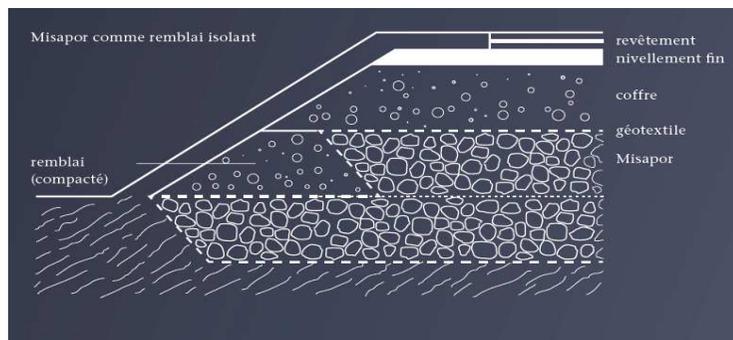


Verre cellulaire

- ✓ Pose plus facile par rapport au polystyrène
 - ▶ Pas besoin d'une surface uniforme
- ✓ Capacité d'absorption de l'eau plus basse que l'argile expansée
 - ▶ Couche drainante
- ✗ L'épaisseur de couche posée est environ 3 fois plus importante que l'épaisseur des couches de polystyrène

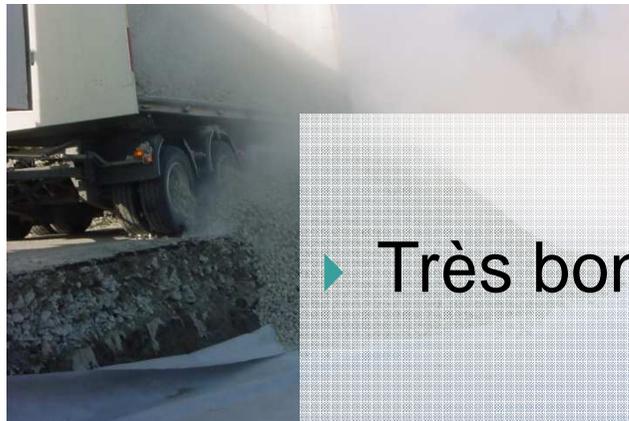
Verre cellulaire: Dimensionnement

- ▶ Selon la norme suédoise:
 - ▶ Utilisation de Géotextile
 - ▶ Module de rigidité recommandé 150 Mpa
 - ▶ Attention à la stabilité des pentes
- ▶ La fournisseur propose une épaisseur minimale de 40 cm



Verre cellulaire: Expérience

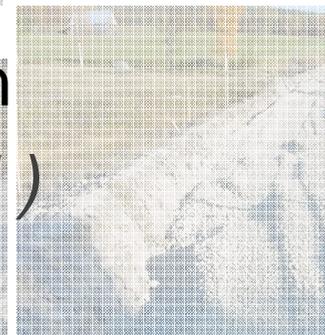
Expérience de construction (nord de la Suède)



▶ Très bons résultats



▶ Coûteux à la construction
(Analyser le cycle de vie!)



Couche isolante: Risque de givrage

- ▶ Refroidissement de la surface en périodes froides
- ▶ Nécessité d'adapter la maintenance hivernale



Conclusions

- ▶ La norme suisse a besoin d'une mise à jour
 - ▶ Détermination de la profondeur de gel
 - ▶ Intégration des méthodes de lutte contre le gel
- ▶ Les matériaux isolants présentent un potentiel pour les chaussées suisses
 - ▶ Plus coûteux à l'heure actuelle
 - ▶ Phase de construction à adapter/étudier
- ▶ Besoin de créer une expérience suisse

