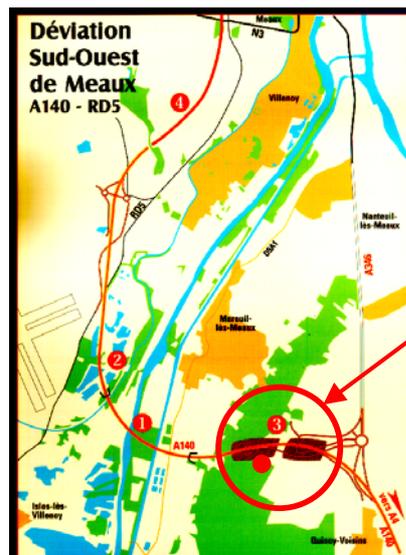


DEVIATION SUD OUEST DE MEAUX

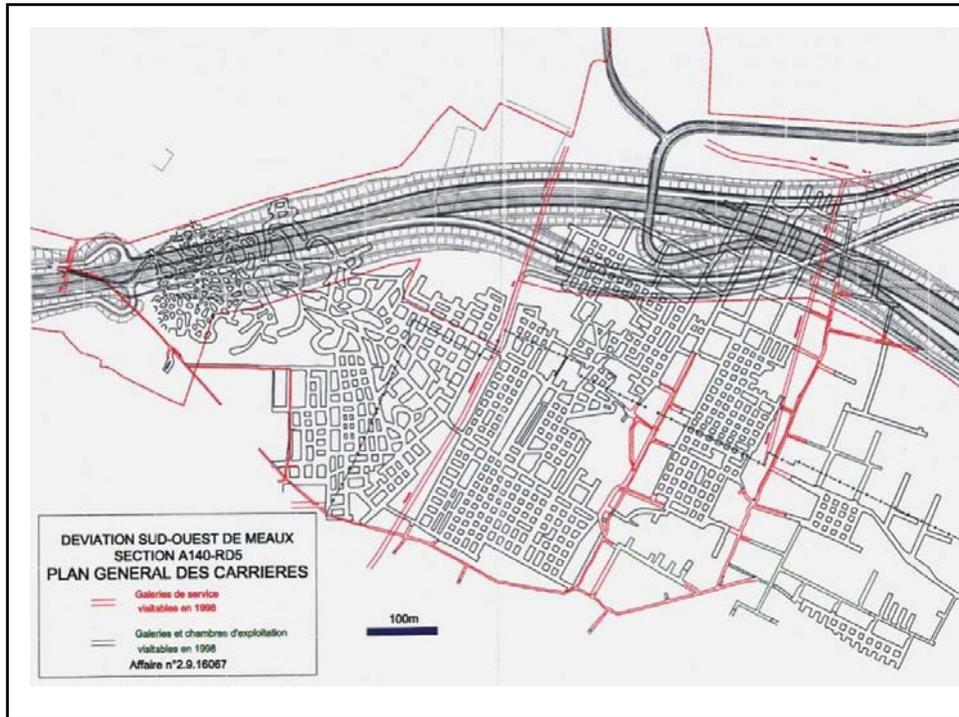
PREVENTION DU RISQUE D'EFFONDREMENT: STABILISATION D'UNE PLATE-FORME ROUTIERE CONSTRUITE SUR DES CARRIERES SOUTERRAINES A L'AIDE DE GEOSYNTHETIQUES

Alain HIRSCHAUER – LREP
Jean- Claude BLIVET- Consultant



1. Viaduc de franchissement de la vallée de la Marne
2. restructuration des bassins de la sucrerie de Villenoy
3. **Comblement des Galeries de gypse**
4. Réalisation de la rocade ouest
5. talus de déblais

Situation géographique du projet



Effondrement constaté sur le site





Toit effondré - 1972



STRATEGIE PROPOSEE

*Carrières archaïques

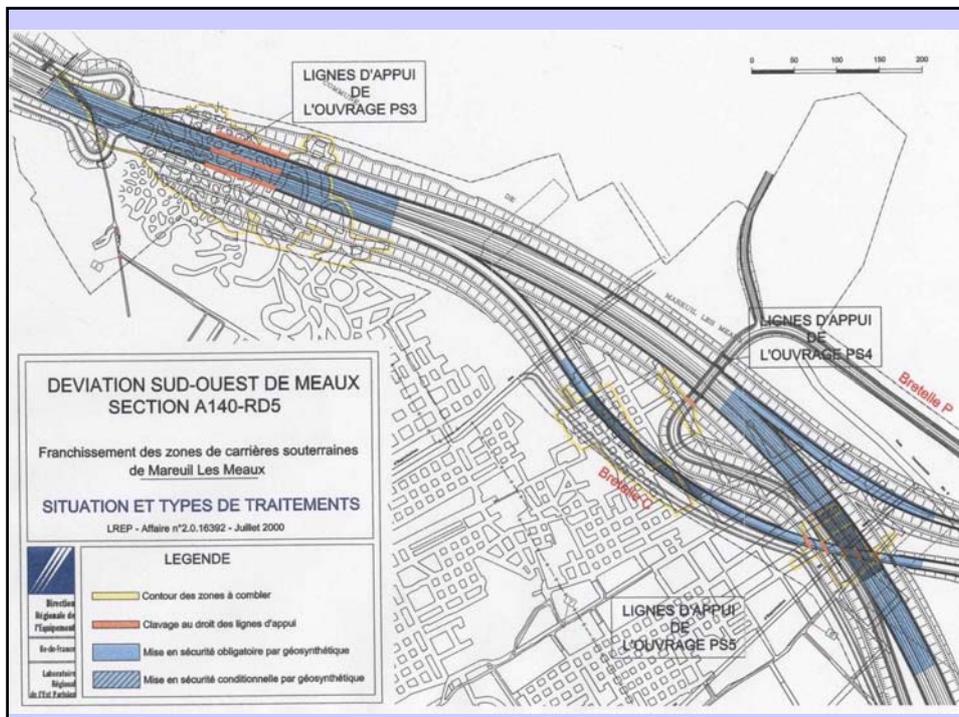
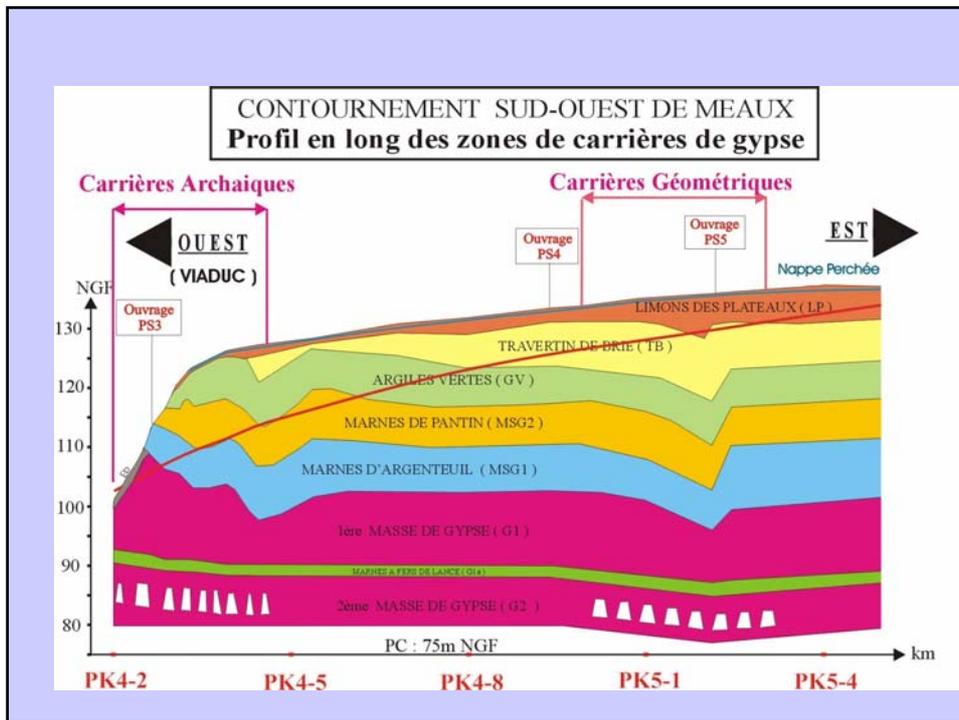
- comblement
- géosynthétique de renforcement

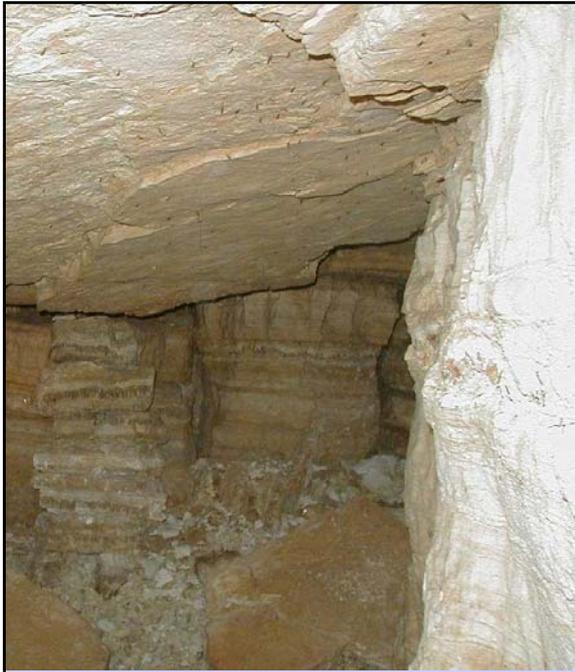
* Carrières géométriques

- * comblement sous les appuis des ouvrages et les zones à fort taux de défrusement
- * autres zones: géosynthétique

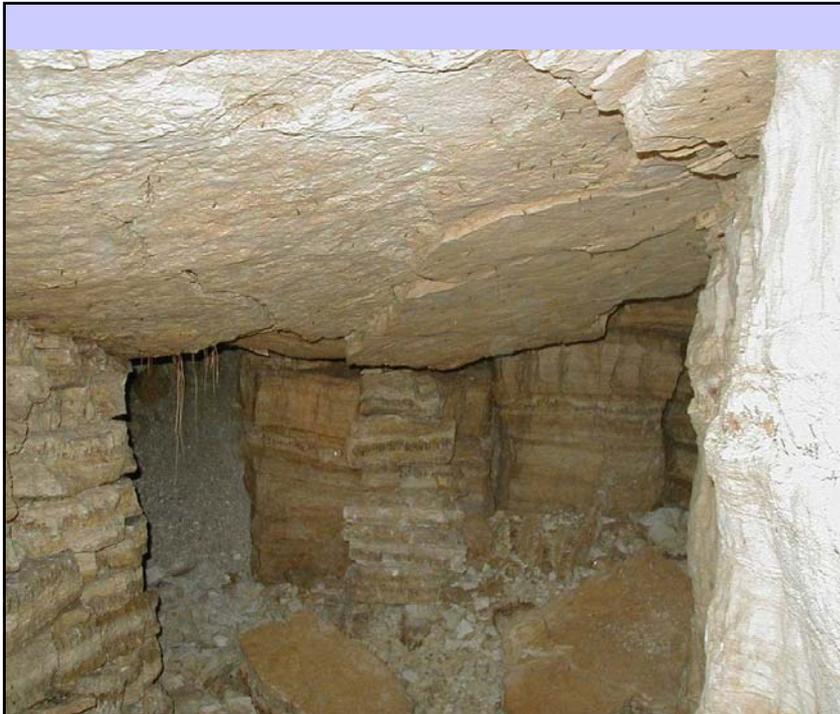
MODELE A VALIDER LORS DES TRAVAUX







Les nouvelles galeries





Ciel tombé



Maille de forages

Zone archaïque:
10 m sur la plate- forme
15 m sur les talus
+forages de barrage

zone géométrique:
•Selon les plans (10 m)
• +forages de barrage

- CONTRAINTES GEOTECHNIQUES –Alain HIRSCHAUER



Mortier de Cendres volantes ciment (75 kg/m³)
Mortier de Sablon ciment (120 kg/m³)

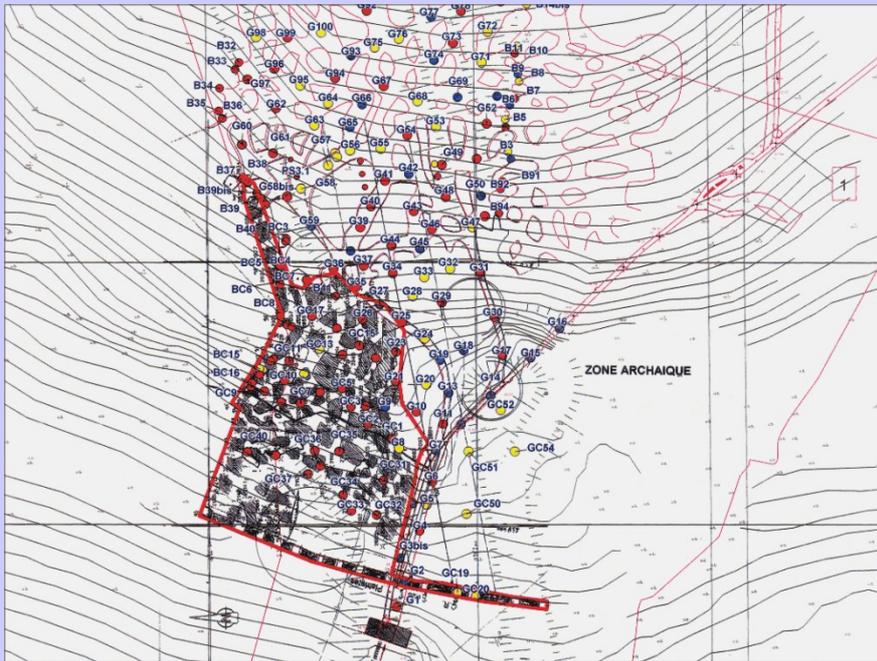
Quantité : 50 000 m³



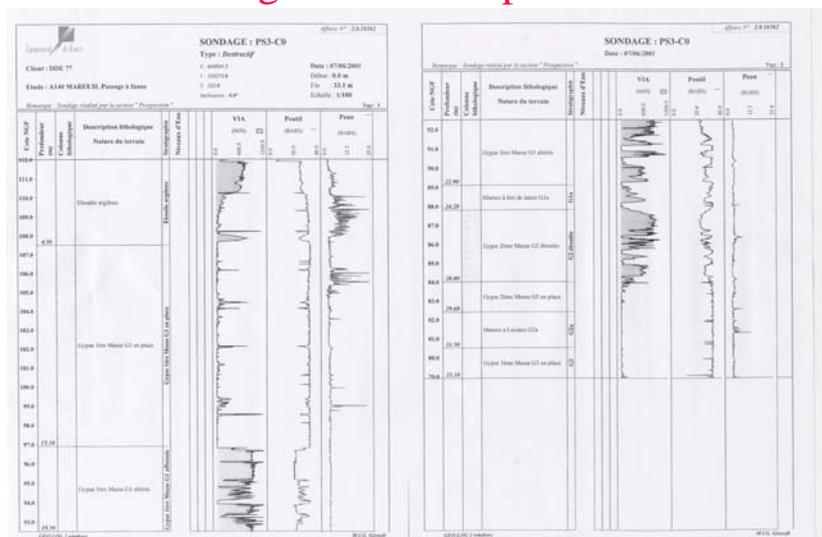
La centrale d'injection a réalisé 45 000 m³ de cauxis pour alimenter 300 forages – certains jusqu'à 50 m de profondeur – pour combler, en 8 mois, les galeries d'anciennes carrières de gypse. À l'horizon, le réseau d'arbres bordant l'A10 et la D456A.

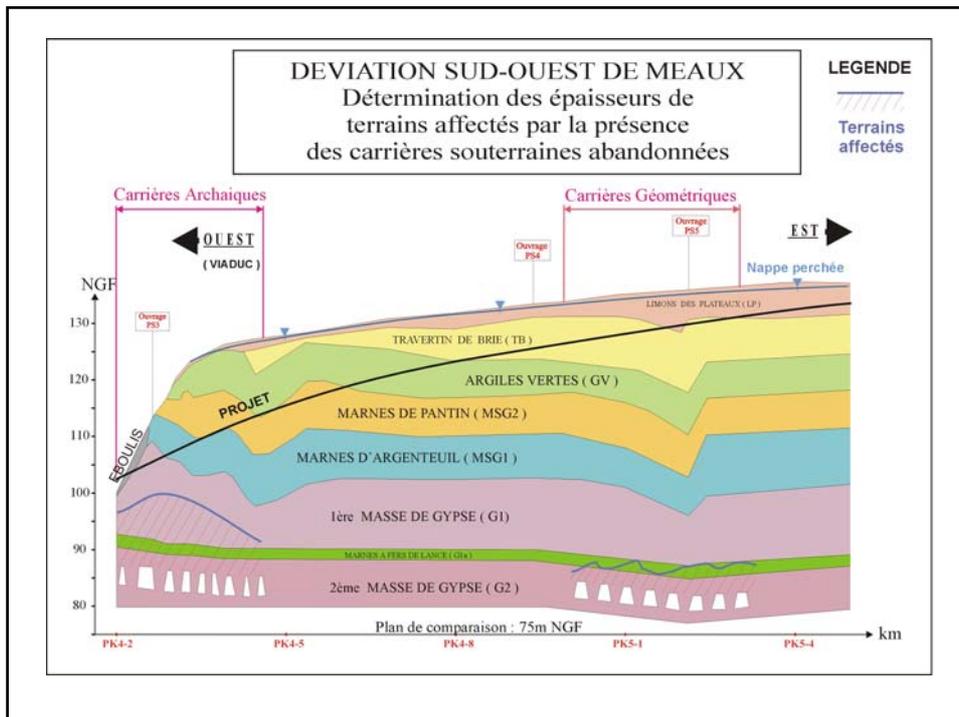
②

Forages de la zone archaïque (260)



Forage destructif avec enregistrement de paramètres





Mise à jour d'un fontis lors des terrassements (après réalisation des comblements)

GEOSYNTHETIQUE DE RENFORCEMENT

- surface à traiter: 30 000 m²
- Placé sous l'arase terrassement (- 1 m / LR) et sous l'assainissement
- diamètre de la cavité: 2m
- flèche admise par l'exploitant: 10 cm

Evite l'effondrement brutal
Nécessite un comblement rapide

Zone d'affleurement de la première masse :
Mise en place d'une géomembrane sous le géosynthétique



Parc des Lilas – Vitry

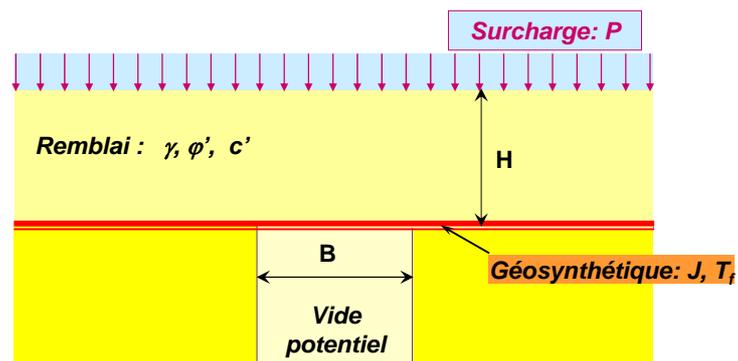
ϕ du fontis: 6 m
Recouvrement: 1 - 1.50 m
q: 10 KNm²
Flèche admissible: 1 m
Géogrille: Tf: 645KN / m²

Renforcement par géosynthétique des plates-formes dans les zones où subsiste un risque d'effondrement

Dimensionnement du renforcement

1. Rappel du fonctionnement
2. Approche "RAFAEL"
3. Dimensionnement de Meaux

1. Fonctionnement général du renforcement

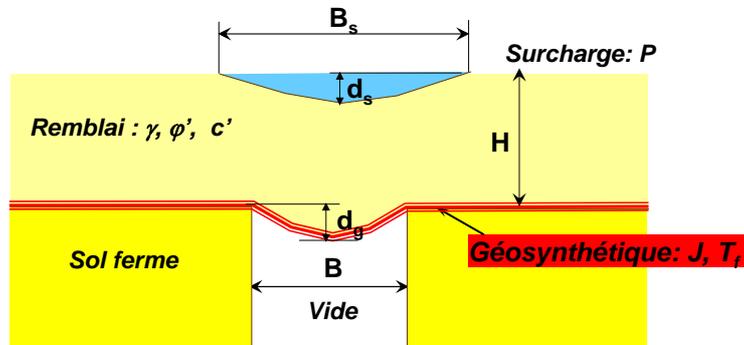


Vide : circulaire, diamètre B (conditions axisymétriques)
longueur infinie, largeur B (conditions de déformations planes)

Diamètre maximal B de l'effondrement ?

→ expérience régionale et analyse géologique (ex. 2 m; 4 m; ...)

L'effondrement se produit :

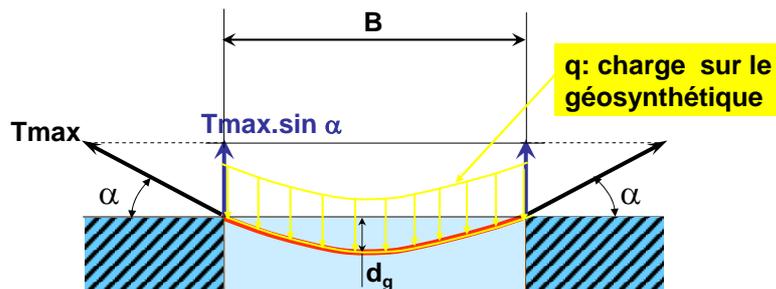


Déformation du géosynthétique comme une membrane (uniquement en tension)

Un équilibre est atteint :

- Flèche d_g de la membrane geosynthetic
- Déflexion d_s et diamètre B_s du sol en surface

La charge q sur le géosynthétique dépend du comportement du sol au-dessus du géosynthétique.



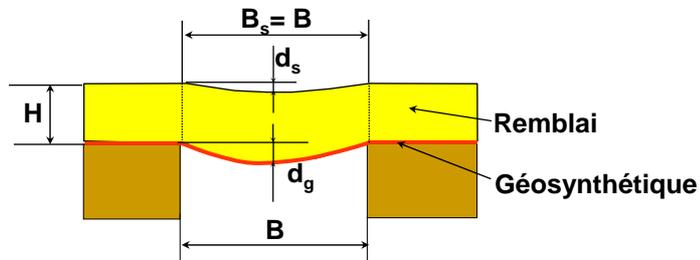
➔ Valeur de q ?

- $q = \sigma_v$: supposée verticale et uniforme (hypothèse en première approche)
➔ déformation de la membrane : parabolique

- q : autres répartitions

2. Approche "RAFAEL"

Évaluation du déplacement de la nappe géosynthétique

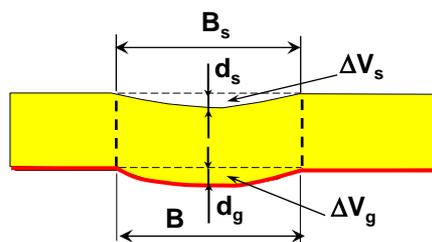


Les observations (expérimentations en vraie grandeur) :

- H/B élevé, arche stable, pas de tassement en surface ($d_s=0$)
- H/B faible, arche non stable, effondrement du sol

Possibilité de fixer une valeur limite de H/B, mais (précaution) effondrement : forme cylindrique, quel que soit le rapport H/B.

Liens entre les déplacements de surface et du géosynthétique



Effondrement en cylindre droit : \rightarrow $B = B_s$

Si dilatance: $d_g > d_s$

Coefficient d'expansion : $C_e = V_{\text{sol exp.}} / V_{\text{sol init.}}$ (de 1 to 1.10)

$$\rightarrow \Delta V_{\text{geo.}} - \Delta V_{\text{surf.}} = (C_e - 1) V_{\text{sol}}$$

Remarque

L'étude numérique paramétrique en 3D (P.Villard, LIRIGM, université de Grenoble) a montré :

Avec un nombre équivalent de fibres, une nappe géosynthétique mono-directionnelle est équivalente à une nappe bi-directionnelle.

Résultat remarquable :

Le géosynthétique peut être un renforcement mono-directionnel

Ce résultat a été vérifié expérimentalement.

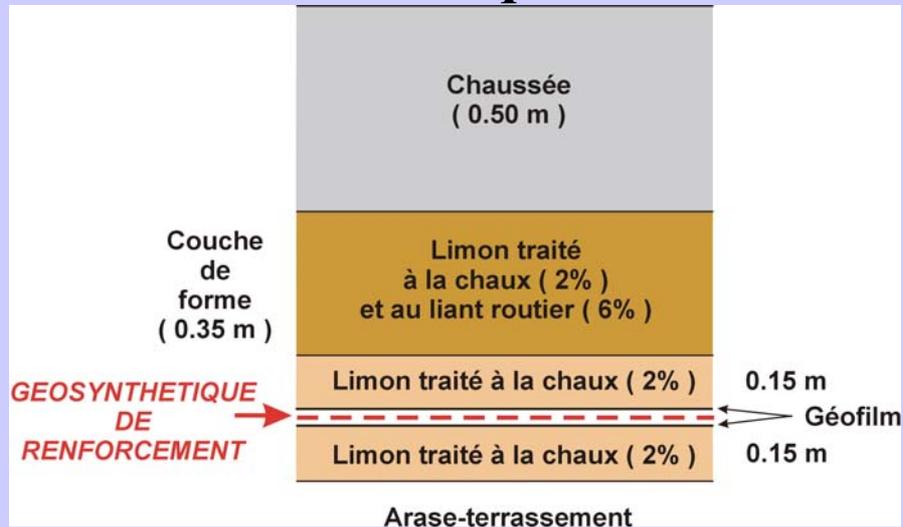
Evolution de la réglementation après la conception du renforcement

Pour les RN à fort trafic, augmentation du module de la couche- support mesuré à la plaque:

-> Module de type PF 3: 120 MPa

Valeur incompatible avec une couche de forme granulaire

Solution technique retenue



Incertitude sur la compatibilité polymères/ pH 11
Réponse: géofilms

Coût des travaux

deux marchés :

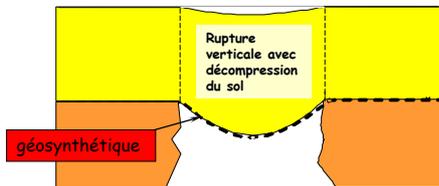
chantier de comblements généraux (2001): 3.2 M€

chantier de terrassements généraux (2003-2004)

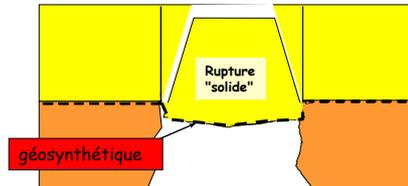
comblements complémentaires du PS 3, injection de clavage : 0.36 M€

3. Dimensionnement de Meaux

Rafael (remblai = sol pulvérulent)



Meaux (remblai = sol traité)



Quelle est la répartition de la charge q sur la membrane ?

Géosynthétique proposé :

Bidim Rock HM 95B (Bi-module)

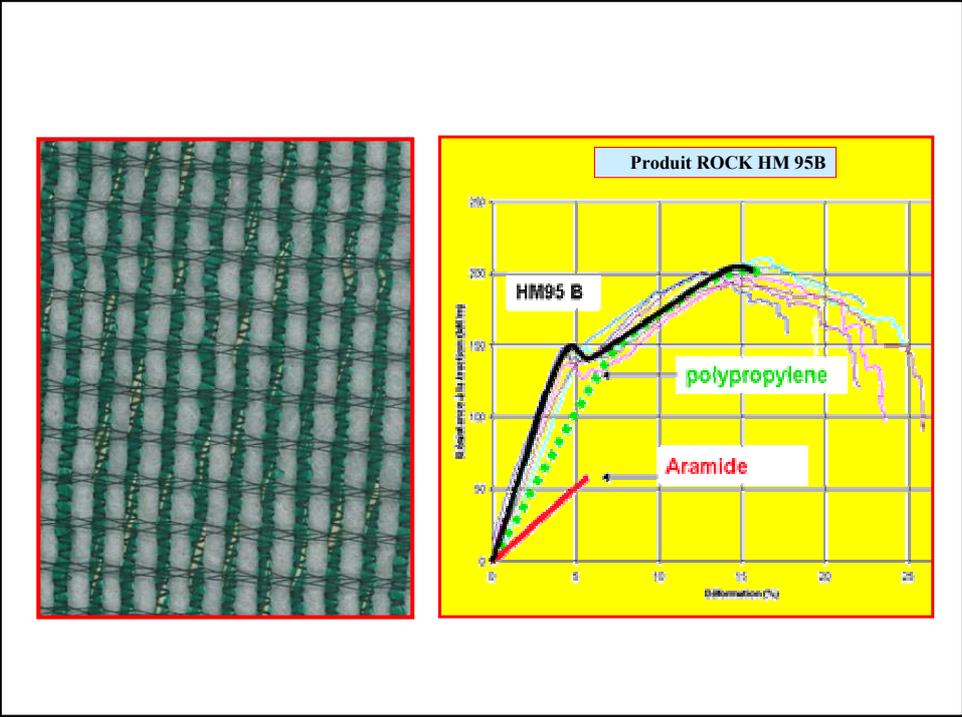
Raideur: $J = 2900 \text{ kN/m}$

Résistance en traction : $T_f = 150 \text{ kN/m}$ à $\varepsilon_f = 6\%$ *

$T_f = 200 \text{ kN/m}$ à $\varepsilon_f = 15\%$ **

* petites déformations $J=2900 \text{ kN/m}$ (fils d'aramide et de polypropylène)

** déformations grandes $J=1330 \text{ kN/m}$ (uniquement fils de polypropylène)



3.1 Méthode "RAFAEL"

$d_g = 16,5 \text{ cm}$

$\epsilon_{\max} = 1,8 \%$

$T_{\max} = 54 \text{ kN/m}$ (Tension de service avec contrainte dans gtx : $q_1 = 17 \text{ kN/m}^2$)

d_s déflexion en surface :

Coefficient d'expansion C_e	d_s cm
1.00 (0%)	16.5
1.01 (1%)	14.5
1.02 (2%)	12.5
1.03 (3%)	10.5

Critère de service : OK

$T_{\max} = 87 \text{ kN/m}$ (Tension de service avec contrainte dans gtx : $q_2 = 33 \text{ kN/m}^2$)
avec $J = 1330 \text{ kN/m}$ (grandes déformations avec les fils de polypropylène seuls)

- q_1 : poids mort
- q_2 : poids mort + surcharge

Coefficients de sécurité :

Coefficients partiels :

$$F_{\text{comp}} = 1.1 ; F_{\text{env}} = 1.05 ; F_{\text{geo}} = 1.2 ; F_{\text{flu}} = 1.54$$

$$\text{Coefficient global : } F = 1.1 \times 1.05 \times 1.2 \times 1.54 = \underline{2.13}$$

1. petites déformations (aramide et polypropylène, sans surcharge)

Résistance en traction / Tension de service :

$$150/54 = 2.78 > 2.13 \quad \underline{\text{OK}}$$

2. grandes déformations (polypropylène seul, avec surcharge)

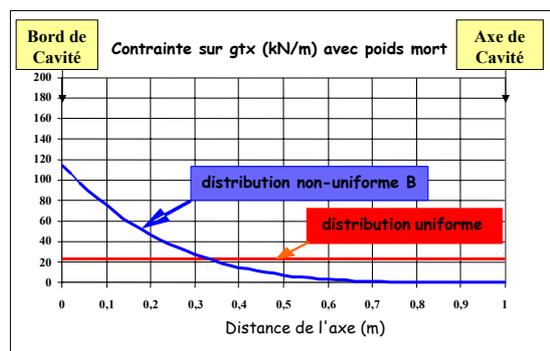
Résistance en traction / Tension de service :

$$200/87 = 2.3 > 2.13 \quad \underline{\text{OK}}$$

3.2 Autre approche (LIRIGM, Université de Grenoble)

Méthode aux Éléments Finis, dans la nappe de géosynthétique, avec :

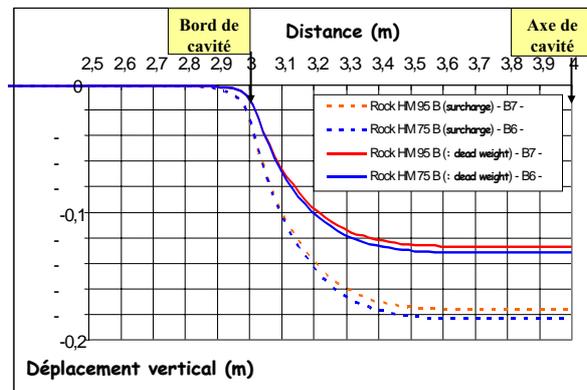
- contrainte non-uniforme sur le géosynthétique
- déformation dans la zone d'ancrage (avec frottement).



Cette proposition de distribution non-uniforme est due à l'effondrement en cylindre "solide" (sol traité à la chaux et au ciment) : Déformation comme un poinçonnement.

Résultat

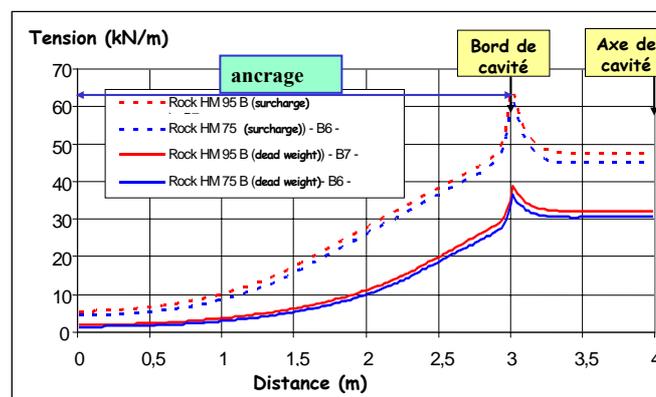
Déflexion Verticale : 13 cm (18 cm avec surcharge)



$d_g = d_s = 13 \text{ cm}$ → OK (critère de service)

Résultat

Tension de service : $T = 39 \text{ kN/m}$ (ou 65 kN/m avec surcharge)



Tension de service < tension de service à partir de "RAFAEL"
→ OK

Conclusions

Le géosynthétique :

- absorbe le poids du remblai et de la surcharge
- réduit le tassement en surface

Limitation des conséquences d'un effondrement de cavité

Les hypothèses sur la déformation du sol de la plate-forme et la distribution de la charge sur la membrane ont une grande influence sur le dimensionnement.





CONCLUSION

- * **Données cartographiques peu fiables**
- * **Carrières découvertes lors des travaux**

- * **Validation du modèle géotechnique**
- * **bon diagnostic de l'état des terrains de couverture (optimisation du traitement)**
- * **Emploi de géosynthétiques de renforcement (sécurité de l'Usager)**

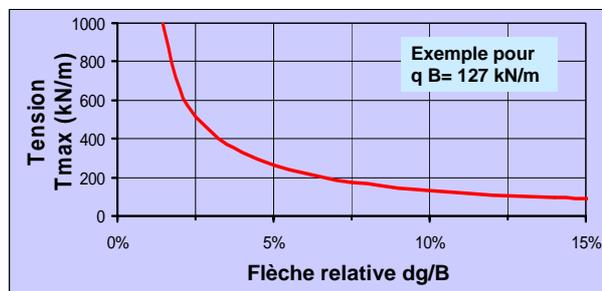




Comportement du géosynthétique
(Première approche - Méthode analytique)

➤ Équilibre mécanique, tension:

$$T = \frac{qB}{2} \sqrt{1 + \frac{1}{6\varepsilon}} = \frac{qB}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{B}{4dg}\right)^2}$$



Petite déflexion \longleftrightarrow grande tension

Évaluation des charges sur le géosynthétique

Frottement le long d'un cylindre :
(pb. de la trappe de Terzaghi, 1943)

$$q = \left[\frac{B \gamma - 2c}{2K \tan \phi} \right] \left[1 - e^{-2K \tan \phi \frac{H}{B}} \right] + p e^{-2K \tan \phi \frac{H}{B}}$$

Valeur limite (pas de frottement latéral) $q = \gamma \cdot H + p$ (poids mort+surcharge)

Proposition : $c=0$; $K \tan \phi = 0.25$ ($K=K_0=0.5, \phi=26^\circ$)

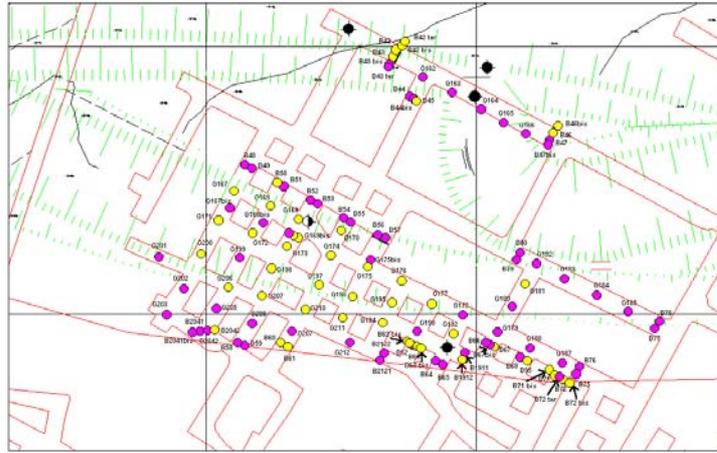
Le sous-sol peut contenir des cavités



"Marnière" (exploitation de craie en Normandie)



Zone minière (UK)



Echelle 1/1000

Zone géométrique – fort taux de défrètement

