



Ingénierie SNCF



Aléa cavités sur la LGV Nord – compréhension des phénomènes et diagnostic



Jean-Marc TERPEREAU

Cadre du Plan d'actions SNCF/RFF suite aux fontis recensés en 2000/2001

Expertise du Conseil Général des Ponts et Chaussées sur l'aléa fontis LGV Nord

- ✓ **Evolution du comportement des limons sous différents états hydriques et sous sollicitations ferroviaires**
- ✓ **Indiquer les mécanismes de rupture et leur vitesse d'évolution**

Projet de recherches ambitieux en termes d'objectifs à atteindre d'où:

- ✓ **Etape bibliographique préliminaire conséquente**
- ✓ **Compétences disponibles (couplage milieu non saturé et vibratoire)**
- ✓ **Des phases successives avec livrables intermédiaires, probants pour le MOA, et exploitables par le MOE , pour justifier de la poursuite de l'action et de l'évolution du périmètre des recherches (démarrage en 2002).**

- ✓ Würm 10 à 70 000 ans
- ✓ limons éoliens – loess –granulométrie fonction de la distance à la source (Islande 4000km)
- ✓ Épaisseur de couverture liée au mode de dépôt (plus importante sous le vent en versant aval) généralement inférieure à 6 mètres au sud du parcours, et atteignant une dizaine de mètres coté Nord.
- ✓ Des épaisseurs beaucoup plus conséquentes en Chine et en ex URSS - enjeux économique ayant motivé un très important travail dès le début du XXème siècle (Abelev et Abelev)

Produits de sortie

- ✓ Attention particulière à apporter à la compréhension de la stabilité du squelette granulaire. Mécanismes d'effondrabilité à quantifier
- ✓ Protocoles d'essais
- ✓ Macrozonage des dépôts loessique le long du tracé de la LGV Nord - Pierre ANTOINE / CNRS– lien avec le SIG.

Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

Phases du projet

Phases	Prestataires	Résultats
Caractérisation géotechnique au laboratoire	CERMES	Cf. présentation
Reconnaitances sur un site test à Beugnâtre	FUGRO	Cf. présentation
Caractérisation de la sensibilité des loëss aux vibrations ferroviaires sous différents états hydriques	CERMES	Cf. présentation
Faisabilité de méthode de surveillance par suivi de l'évolution du signal train	LCPC	Faisabilité avérée d'un suivi. Coût opérationnel prohibitif.
Faisabilité de méthode de surveillance d'un site par méthode géophysique (électrique)	CGG	Faisabilité avérée d'un suivi. Coût de mise en œuvre non concurrentiel par rapport à un traitement préventif
Instrumentation en sondes TDR, géophone, accéléromètres du site test, modélisation.	Géodynamiques et Structures, Sols-Mesures, Divers	Exposition des fossés latéraux à des niveaux élevés de sollicitations dynamiques – Recommandations d'imperméabilisation à titre préventif
Outil d'Aide à la Décision de Traitement (qualification de l'aléa)	CERMES	Recherches et Développement achevés (en phase d'intégration en terme d'outil)
Méthode alternative de traitement	CERMES	En cours –Etape pré-industrielle

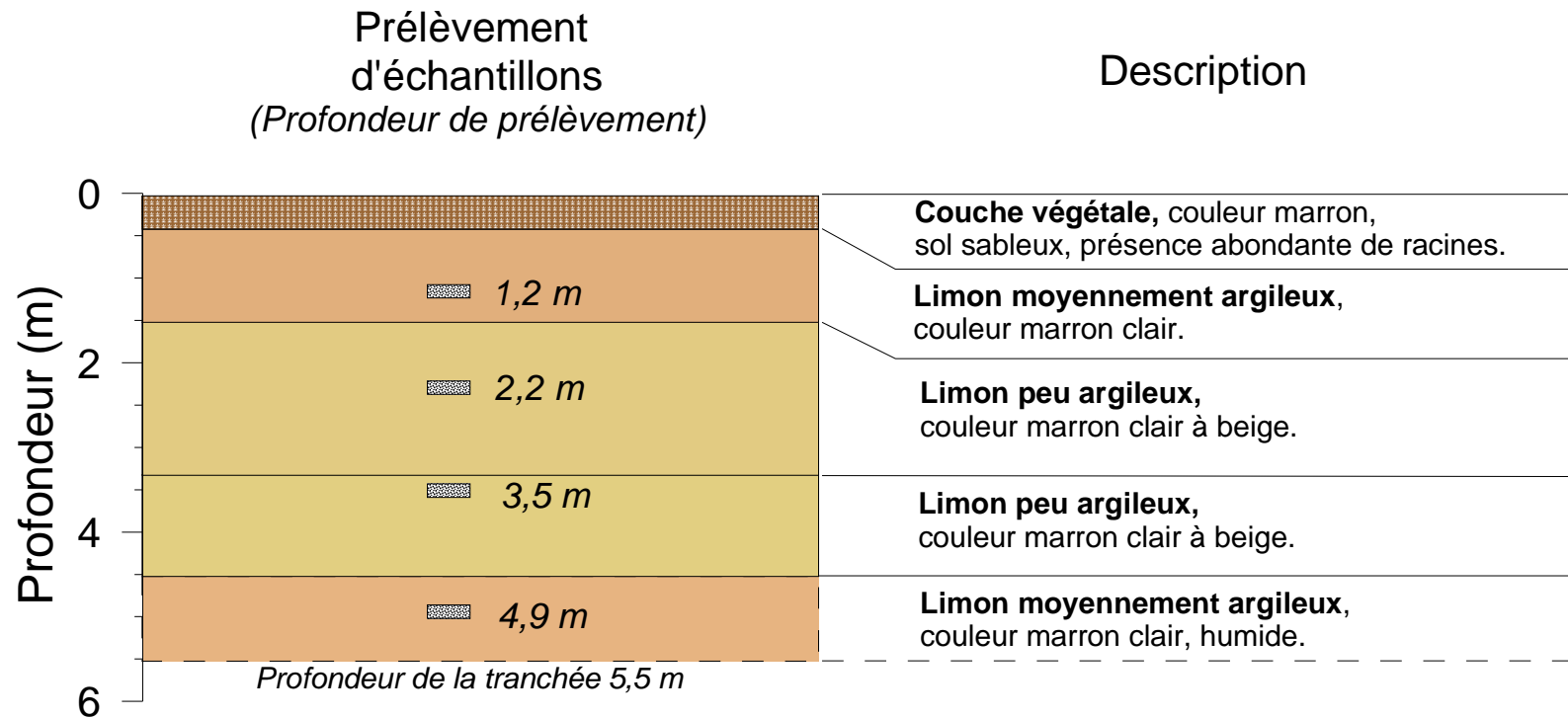
Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire Le site expérimental de Beugnâtre

Photographie prise lors du vol infrarouge de la ligne en septembre 2001



Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

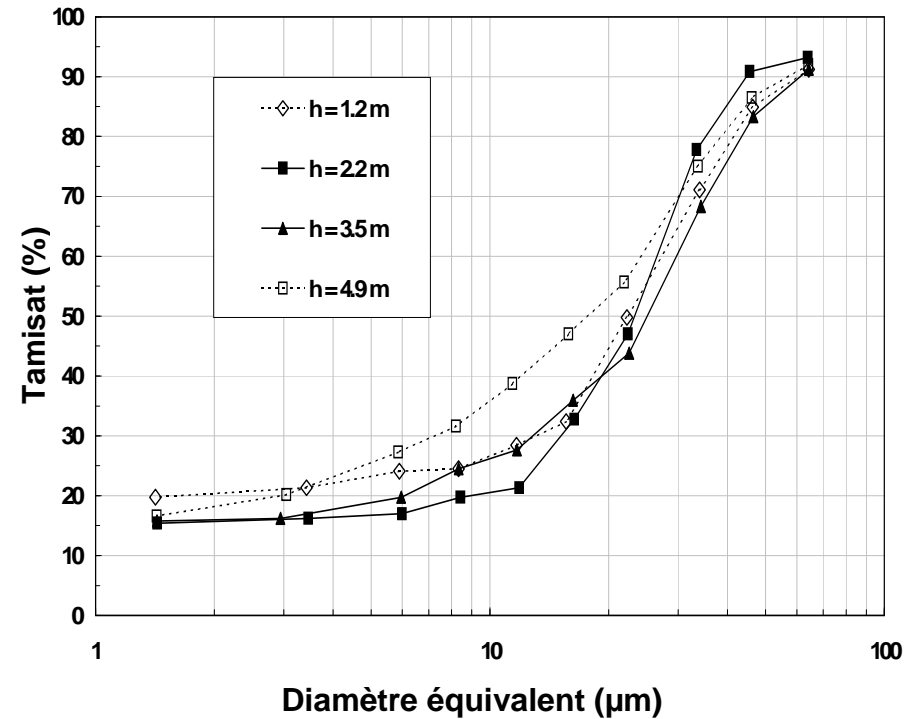
Coupe de la tranchée de prélèvement



Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

Caractéristiques géotechniques des loess

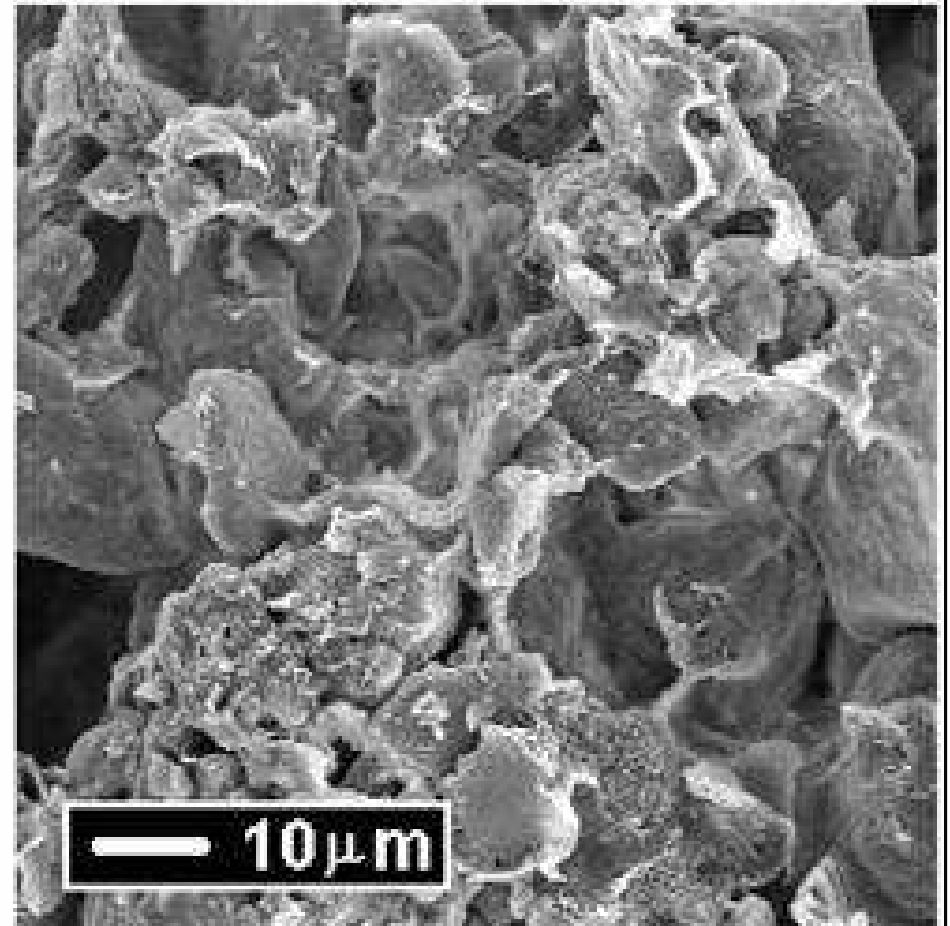
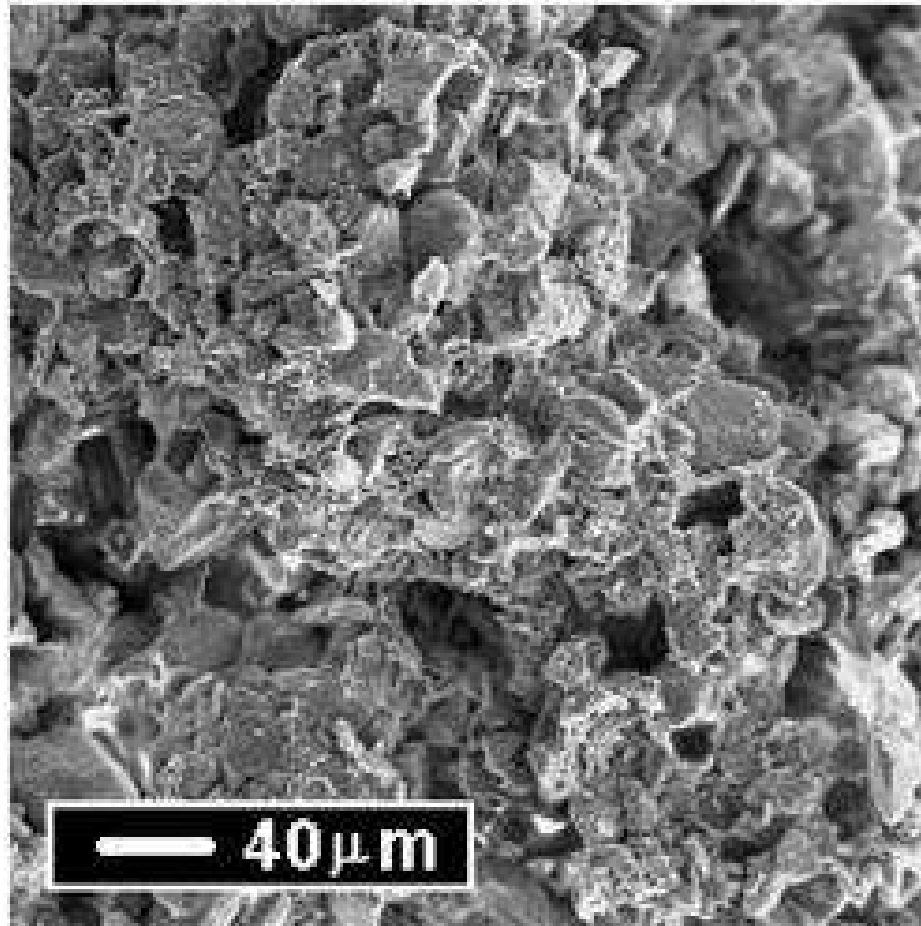
Sol	S1 (1,20m)	S2 (2,20m)	S3 (3,50m)	S4 (4,90m)
ρ_d (Mg/m ³)	1,52	1,39	1,54	1,55
C_{ca} (%)	10	12	11	16
% < 2 (μ m)	20	16	16	18
w_p	21	22	20	21
I_p	9	6	6	9
Succion s_0 (kPa)	20	34	28	14



Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

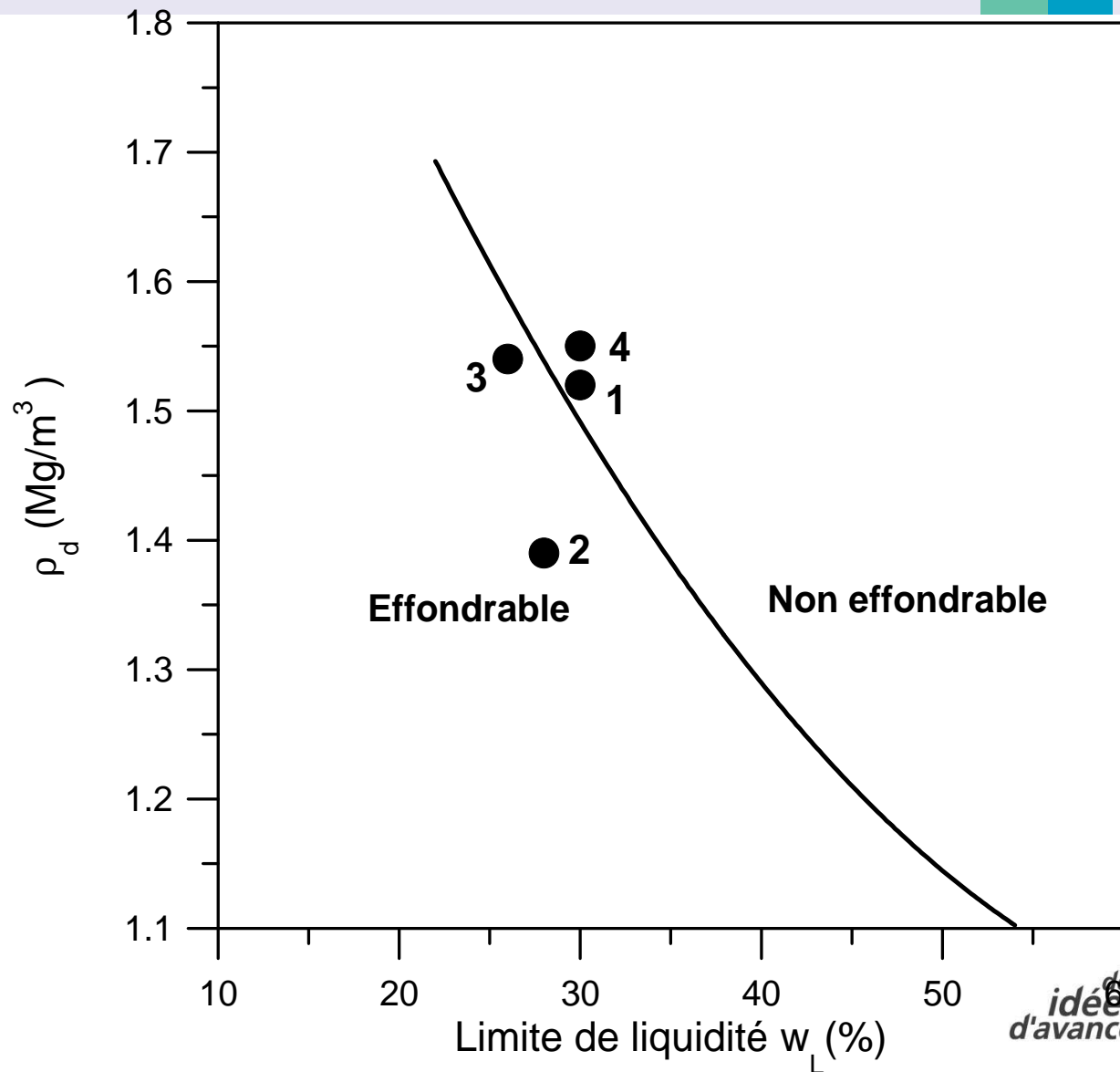
Observation au MEB

Sol 2 – 2.20 (m)



Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

Effondrabilité selon Gibbs et Bara



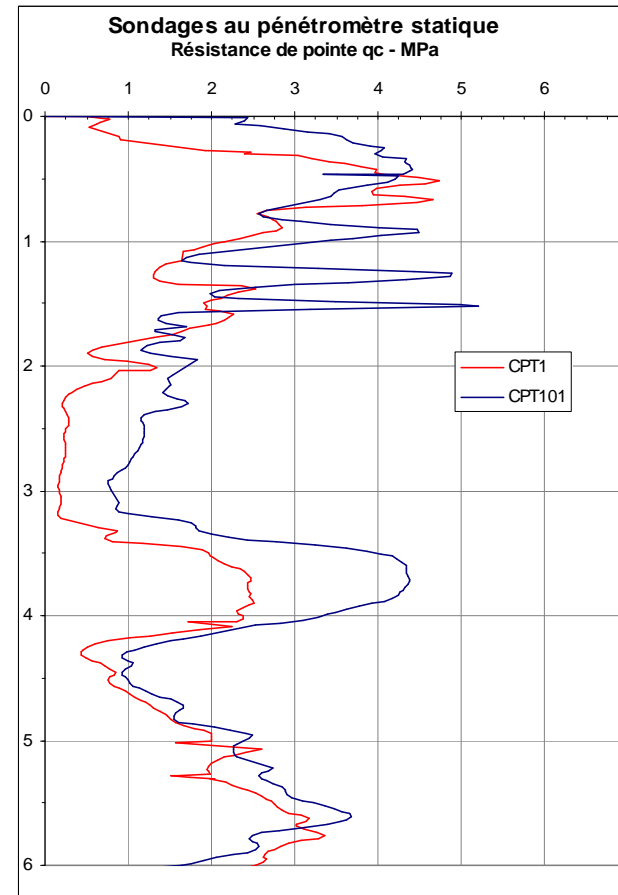
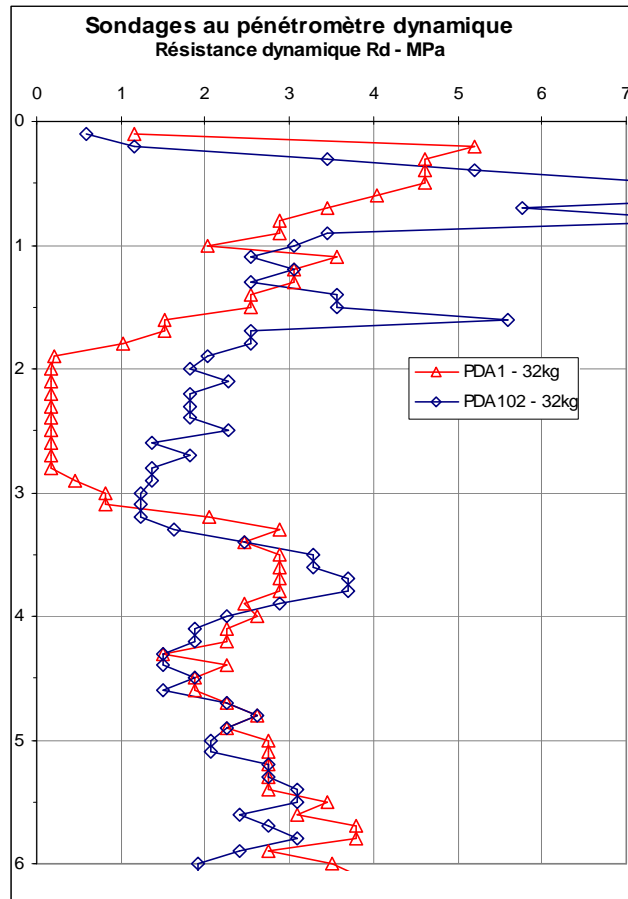
Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

Liste des méthodes de reconnaissance déployées sur le site expérimental de Beugnâtre campagne FUGRO 2003

Plot d'essais spécifiques : Réalisation de zones saturées
Sondage carotté
Sondages pressiométriques
Sondages au pénétromètre dynamiques
Sondages au pénétromètre statique (avec pointes piézocône, sismique, pressiométrique et vidéo)
Sondages SPT
Sondages destructifs
Essais scissométriques
Essais au Dilatomètre plat Marchetti (DMT)
Mesures par diagraphies nucléaires

Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

Exemple de l'influence de l'état hydrique (saturation de la tranche 0 à 5m) Campagne FUGRO 2003



sur la réponse de sondages au pénétromètre dynamique et au pénétromètre statique (Campagne FUGRO 2003)

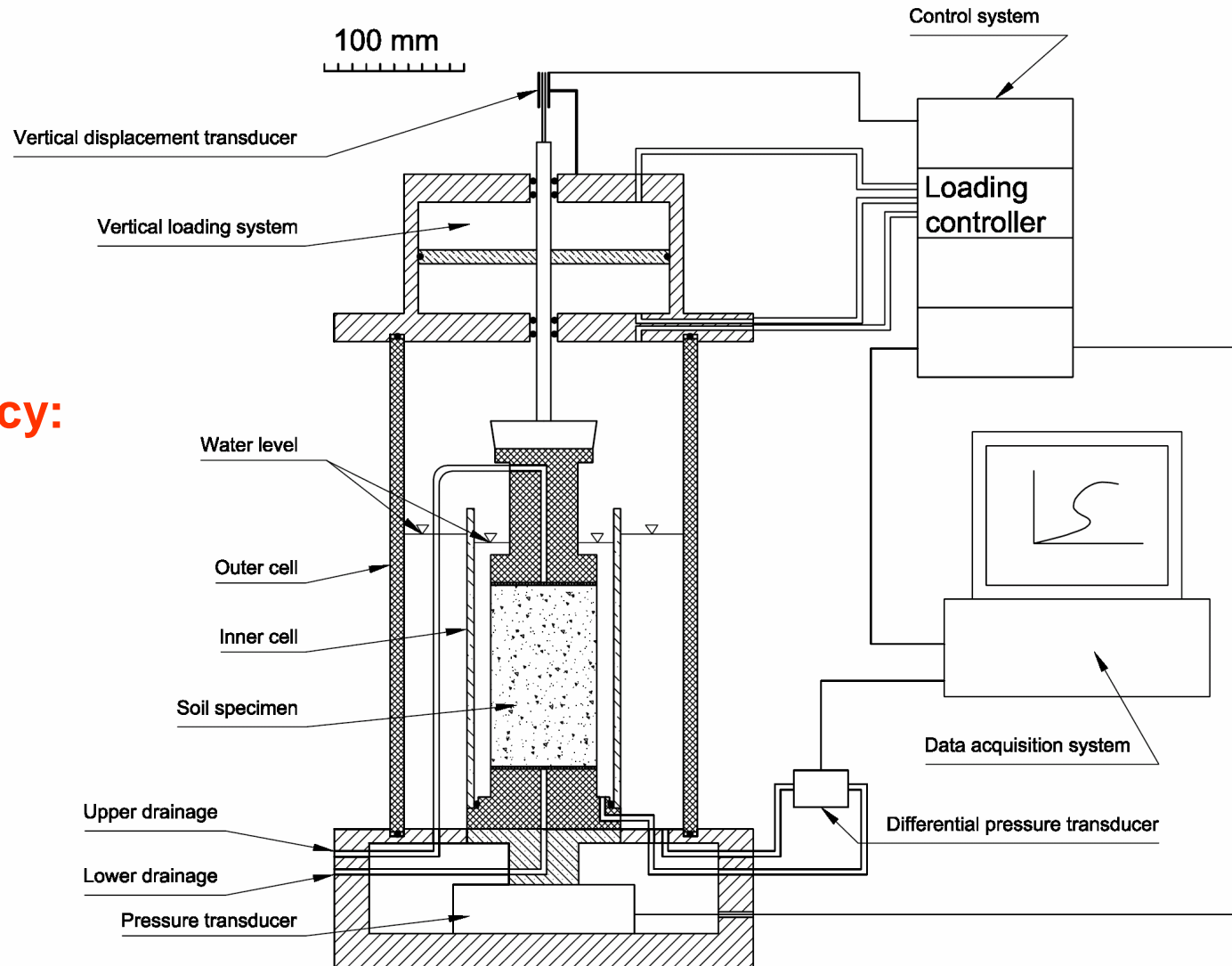
En bleu : sondage sous état hydrique naturel,

En rouge : sondage sous état proche de la saturation.

Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

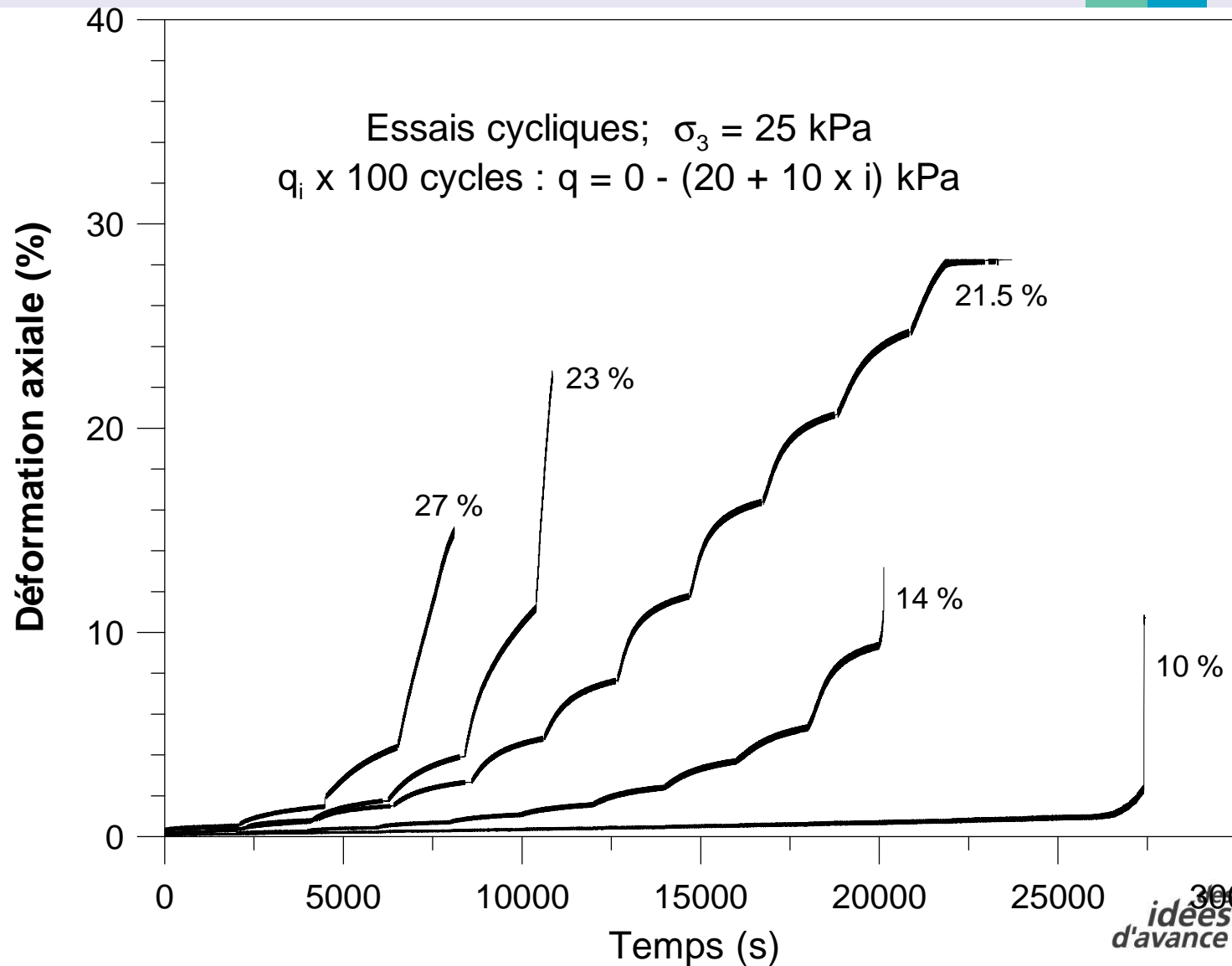
Essai au triaxial cyclique avec cellule de contrôle de volume (non saturé)

Frequency:
0.05 Hz



Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

Déformations axiales sous différents états hydriques)



Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire
Essais en laboratoire – Influence vibrations et état hydriques



$w = 9 \%$



$w = 14 \%$



$w = 18.4 \%$



$w = 21 \%$



$w = 23 \%$



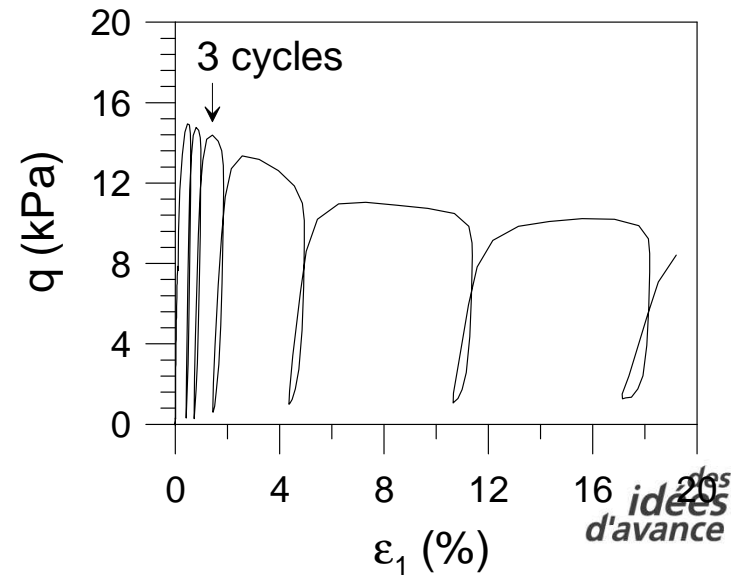
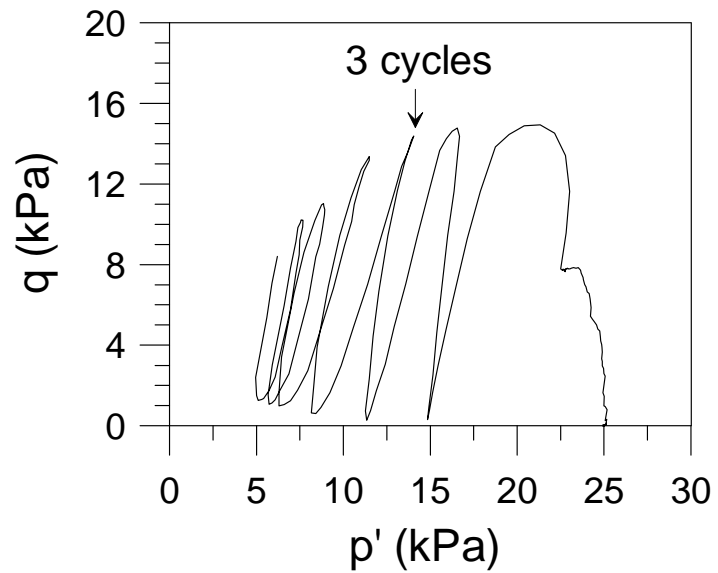
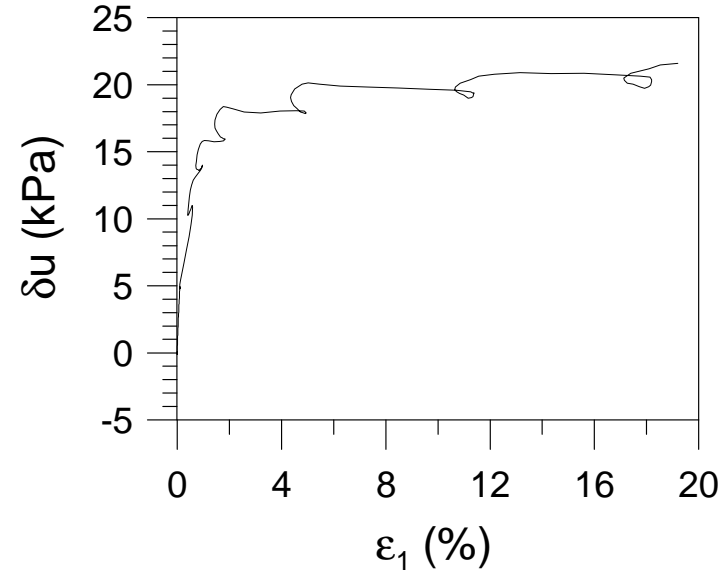
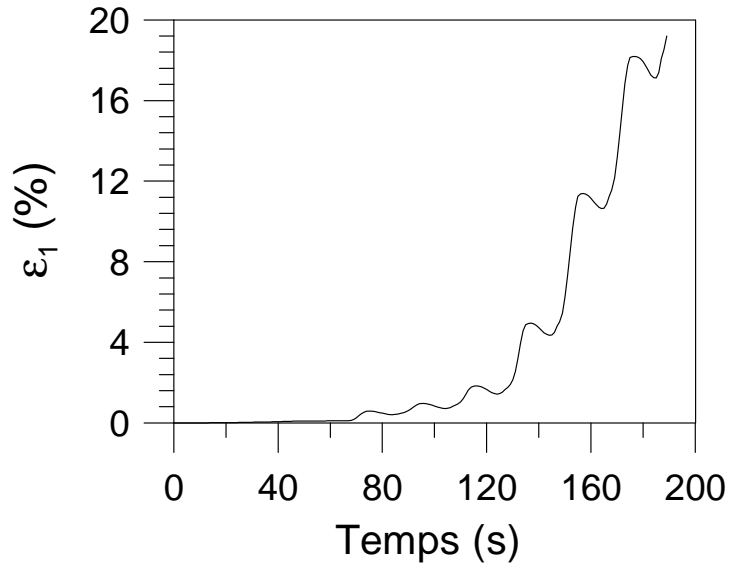
$w = 27 \%$



Saturé

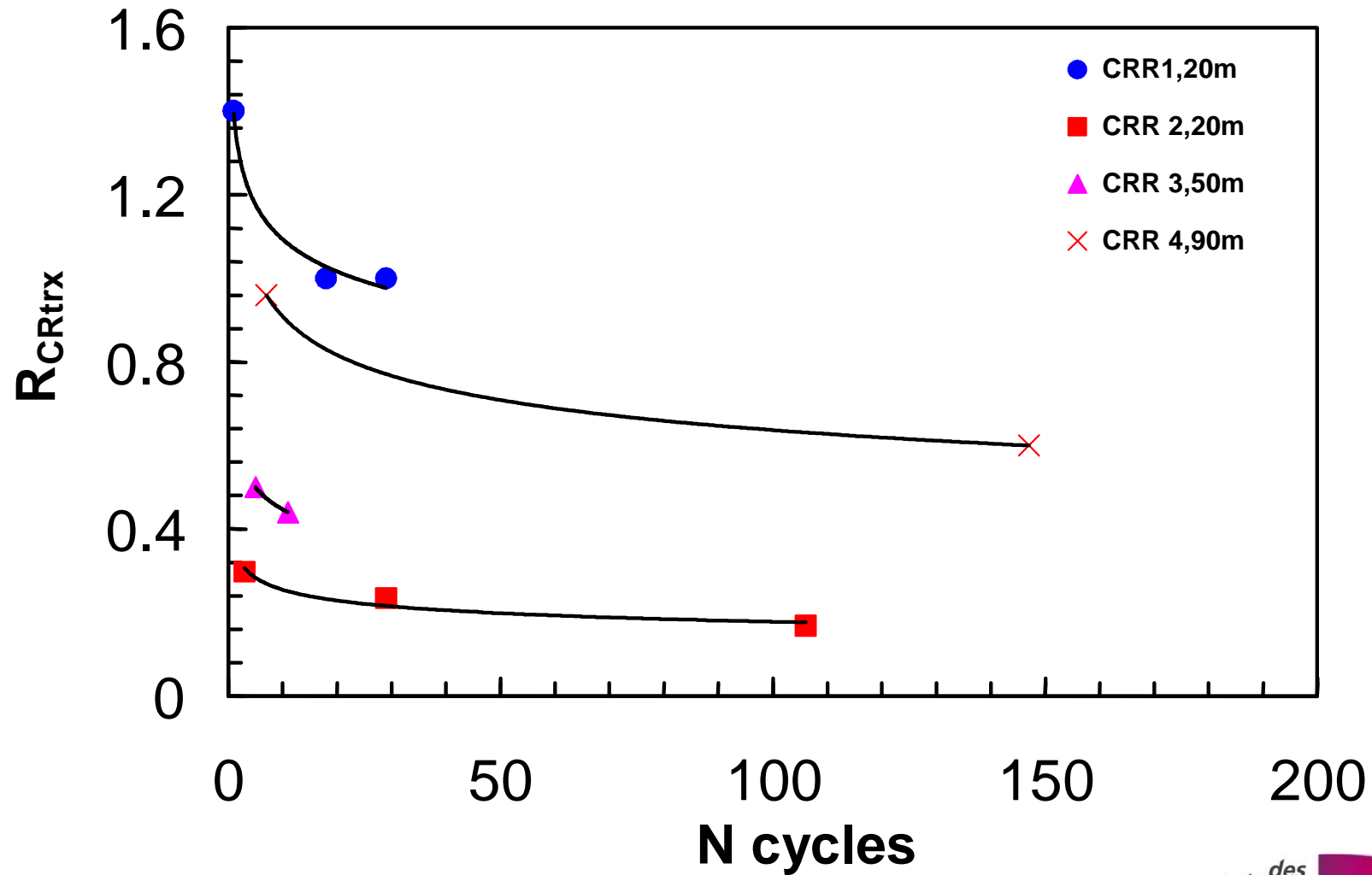
Essais triaxiaux cycliques sous différents états hydriques
Évolution du périmètre des recherches pour appréhender un phénomène nouveau
dans ces loess; la liquéfaction

Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire Essais de liquéfaction – $Q_{cycl.} = 14.9$ kPa



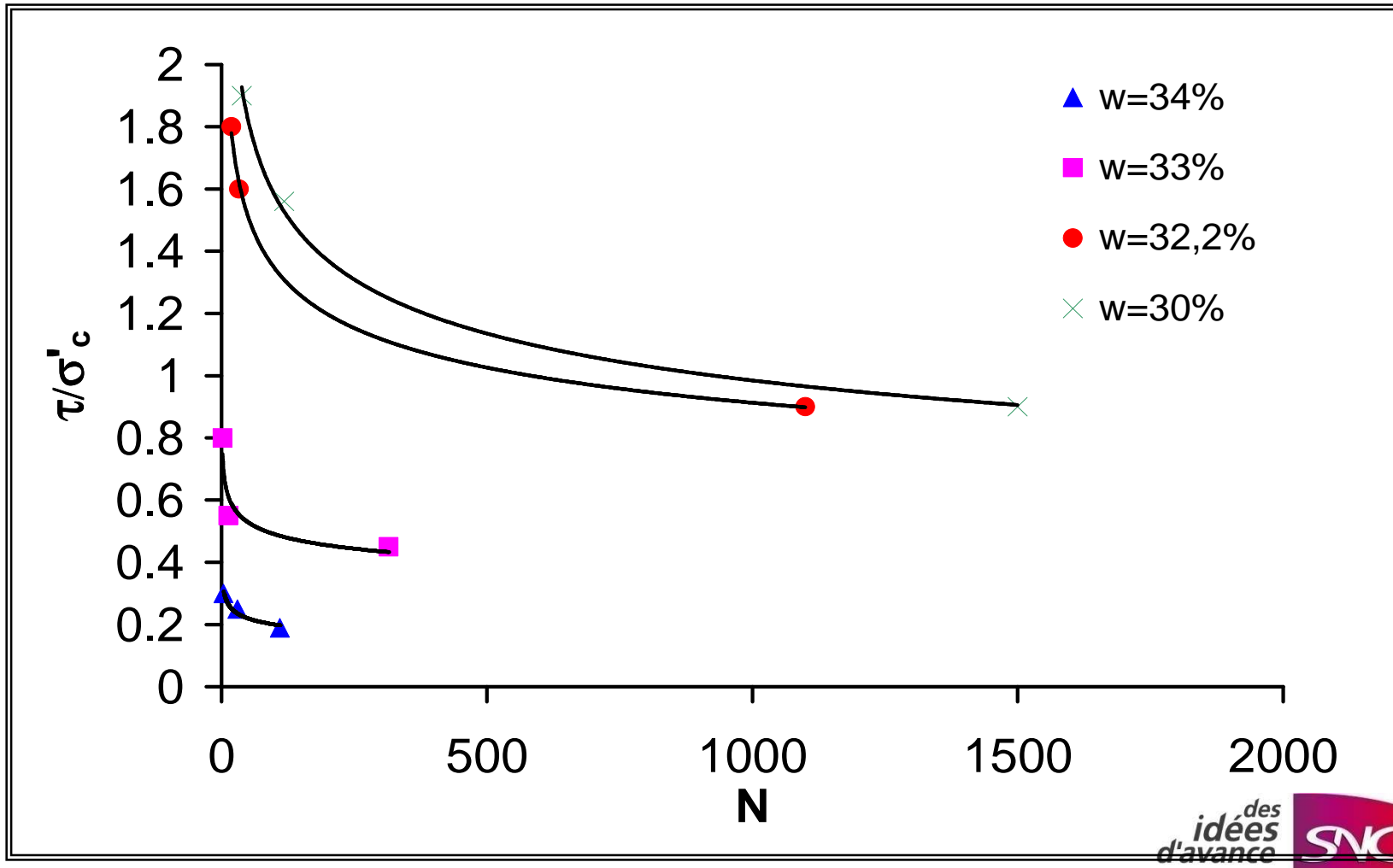
Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

Courbes de liquéfaction



Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

Courbes de liquéfaction / instabilité



Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

Essais en laboratoire – Influence vibrations et état hydriques

- Essais triaxiaux cycliques (à partir d'un état saturé) → Détermination des courbes de résistance à la liquéfaction
- Essais triaxiaux cycliques (à partir d'un état proche de la saturation) → Détermination des courbes de résistance à la liquéfaction
- Essais d'endommagement sur la presse MTS (Effet de la fréquence et de l'eau) → Étude de l'effet de la fréquence de charge et de l'eau sur l'endommagement
- Essais de porosimétrie à mercure → Les effets sur la microstructure
- Essais sur Bender element → Formulation d'une méthode basée sur la variation de la vitesse de cisaillement

Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

Essais en laboratoire – Les trois mécanismes identifiés

Effondrement sous saturation dû à la diminution de la succion (mécanisme avéré aux effets relativement faibles suivant les classements internationaux)

Fatigue /Endommagement lié au grand nombre de cycles (mécanisme observable au laboratoire, sans impact dans les domaines usuels d'état hydrique).

Instabilité caractérisée par l'apparition de grandes déformations (y compris le phénomène de **liquéfaction** si le critère de liquéfaction est vérifié - mécanisme principal)

La maîtrise des écoulements et des infiltrations, dans un contexte de plateforme ferroviaire globalement non étanche à la différence d'une plateforme routière, doit être recherchée.



Journée CFMS du 28/01/09 – Géotechnique Ferroviaire

Conclusions

- ❑ Compréhension et quantification des différents mécanismes liés aux variations d'état hydrique/et vibratoire des loëss affectant la stabilité du squelette granulaire,
- ❑ Choix de méthodes d'investigations pertinentes adaptées au contexte ferroviaire,
- ❑ Diagnostic éclairé lors d'examen des résultats d'investigations compte tenu de cette sensibilité, définition de seuils pour le géotechnicien,
- ❑ Préconisations d'imperméabilisation de fossés terre de plate-forme et surveillance de l'état du réseau de drainage (référentiel de surveillance spécifique de la ligne).

Tous les moyens pour la maîtrise optimale de l'aléa ont été mis en œuvre.

Remerciements

- ❏ RFF pour son support financier,
- ❏ Les différents contributeurs à ses projets, et tout particulièrement le CERMES avec lequel un véritable partenariat scientifique a été mis en œuvre et sans lequel nous n'aurions pas pu aller aussi loin dans la pertinence des réponses apportées,