

CFMS SCIENTIFIC AND TECHNICAL DAY NOVEMBER 17TH 2023





20 ans de projets de congélation de sols – comparaison prédiction et réalisation

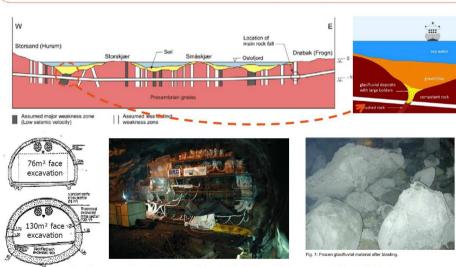
O. Martin et J. Al-Hout Bouygues Travaux PublicsYTP



Introduction : les références initiales

2 références exceptionnelles : le projet routier d'Oslo (1998) et le métro de Shanghai (2003)

1998 - Le tunnel routier Oslofjord (Norvège)



Construction au rocher d'un tunnel 3 voies de 24km (7,2km sous le fjord d'Oslo), Chenal non reconnu, 15m de long, moraine + sable, pression = 13b, injection impossible, Traitement par congélation, 115 forages, 3m d'épaisseur à -28°, puis revêtement 1m à 1,20m.

2003 – Métro de Shanghai – Accident dramatique







Rupture de congélation (0,80m) = effondrement inter-tube + 260m de tunnel = destruction 3 bâtiments R+8, dique, réseau d'égout et station de pompage, routes et réseaux















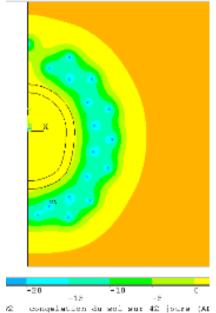


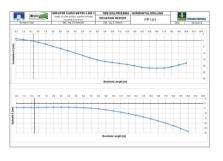


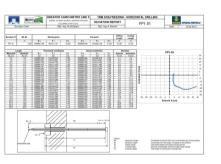
Introduction : les études et le suivi de construction

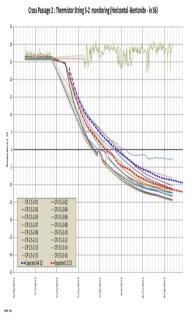
Développer une démarche scientifique pour démontrer la sécurité des ouvriers et des structures

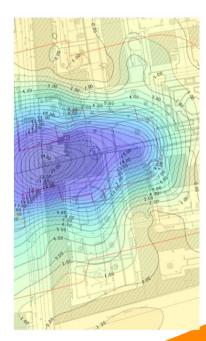










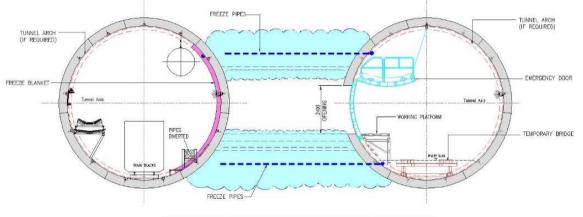






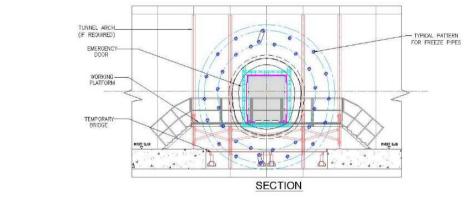
LDB 201 - Hong Kong (2005) – 3 intertubes ferroviaires L=6m Φ=4m







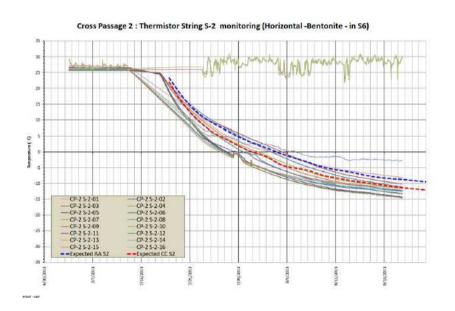


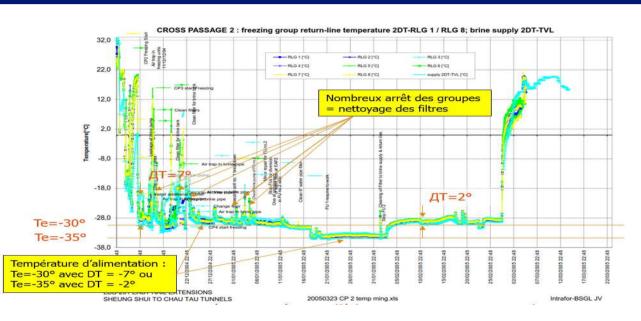






LDB 201 – précision calculs et mesures + aléas de construction





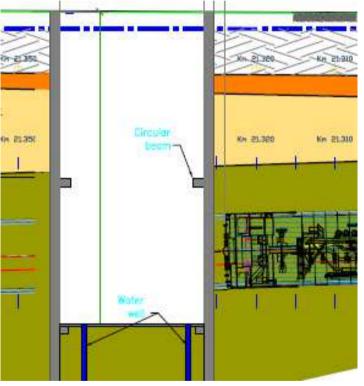
- Calculs thermiques fiables et mesures précises au 1/10°
- Prise en compte des tolérances d'exécution : précision des forages, injections, températures
- Aléas des groupes de froid et perte de congélation





Métro du Caire L3P1 (2010) — réparation du tunnel — $L = 25m - \Phi=10m$



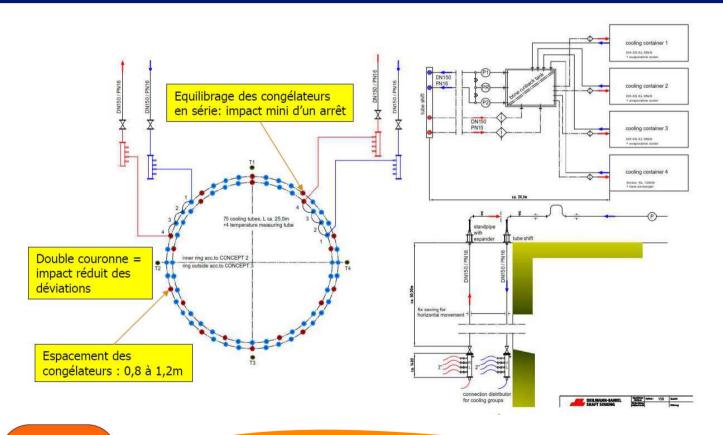








Métro du Caire L3P1 – une logistique de froid redondante





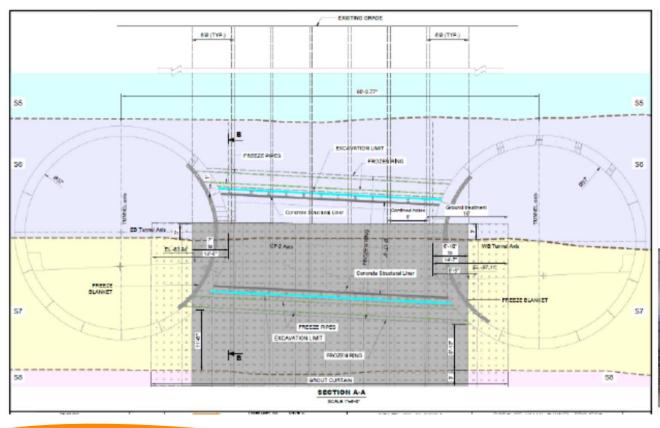




Miami port tunnel (2012) – intertubes routiers dans les sables coraliens $L = 12m \Phi = 6m$









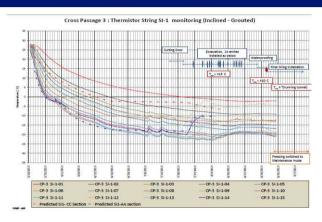


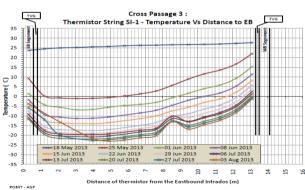


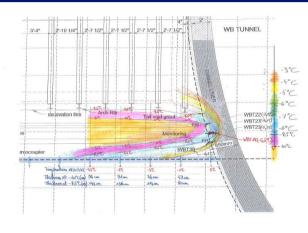


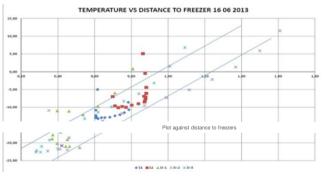
Miami port tunnel – détail de collage sur le tunnel aval et tableau de bord du suivi

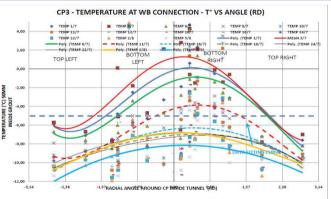


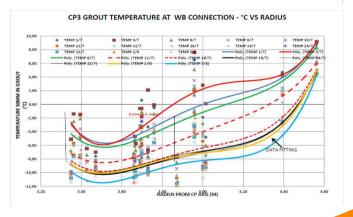








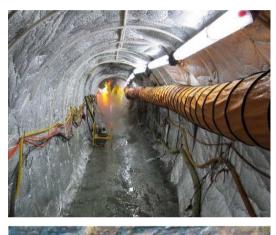


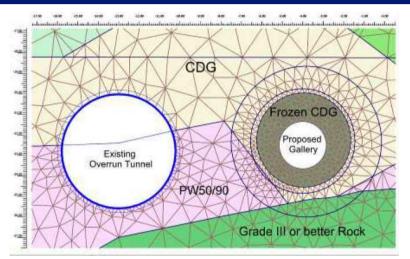




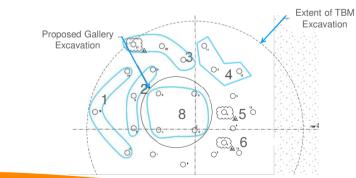


MTR 703 Hong Kong (2013) Galerie d'extraction de profilés métalliques – L=32m Φ=2m







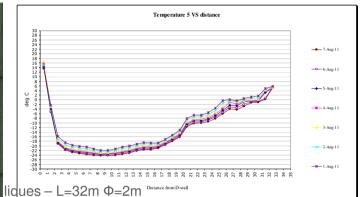


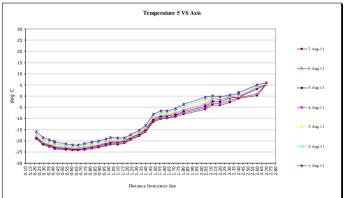




MTR 703 Hong Kong – importance de la distance entre congélateur et sonde thermique



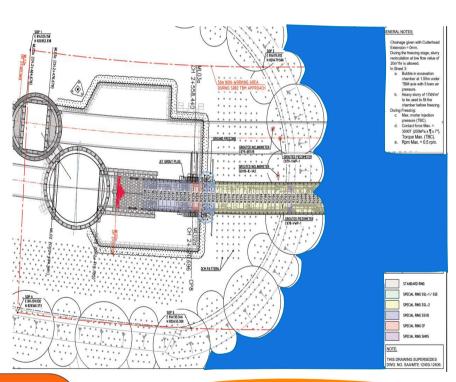


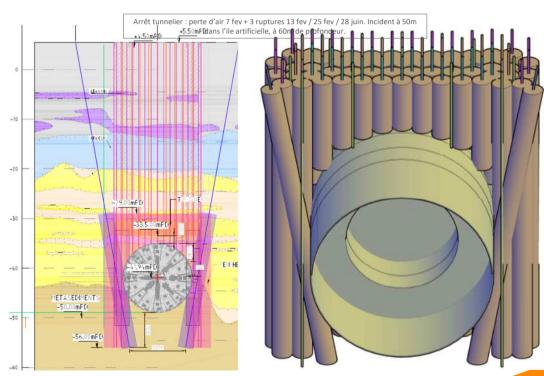




Tunnel TMCLK Hong Kong (2017) réparation du tunnelier à l'azote liquide – L = 64m Φ=14m

Arrêt tunnelier car pertes d'air + 3 ruptures à 60m de profondeur

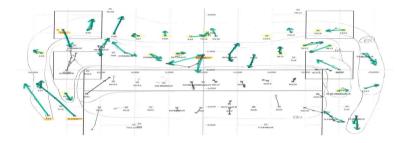








Tunnel TMCLK – beaucoup d'aléas liés aux ruptures de sols: teneur en eau, déviation, température



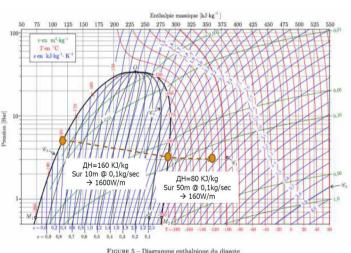




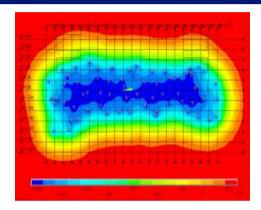


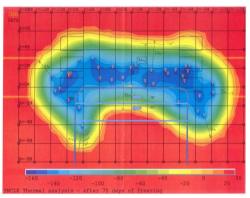
FIGURE 5 - Diagramme enthalpique du diazote

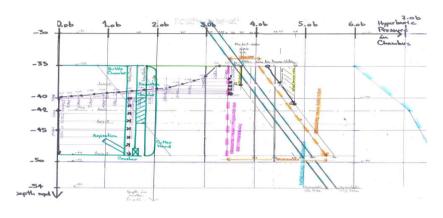


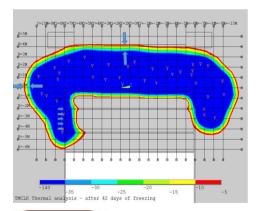


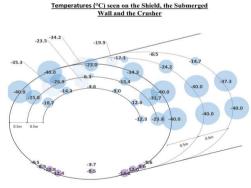
Tunnel TMCLK : 3 séries de calculs indépendants, la gestion des pressions et la mesure des températures

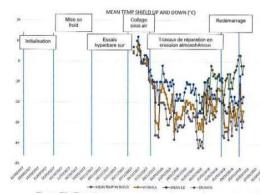


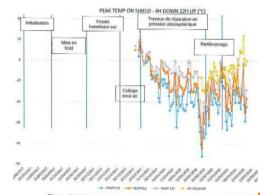








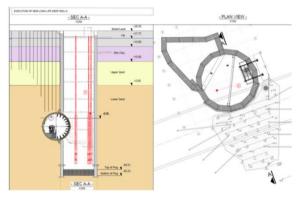




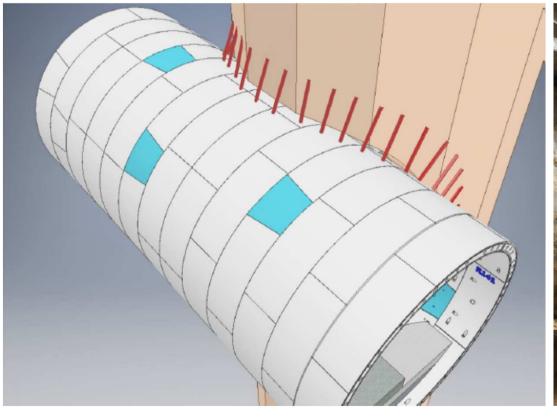




Métro du Caire L3P3 – Ap51 (2020) – collage tunnel vs puits - L = 2,5m $\Phi=12m$





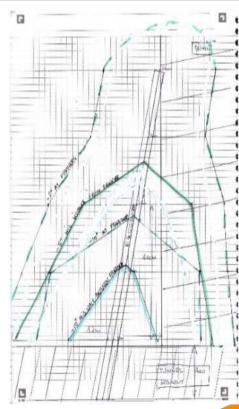






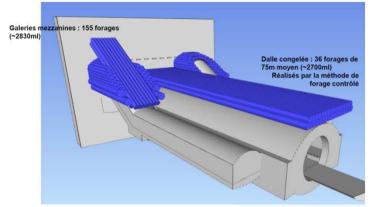
Métro du Caire L3P3 – Ap51 : Efficacité des congélateurs en extrémité

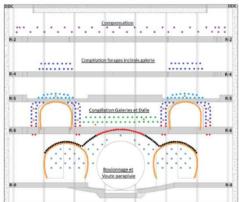






SGP T2A VDM (2023) – protection de la caverne Vert de Maisons L = $75m \Phi = 30m$







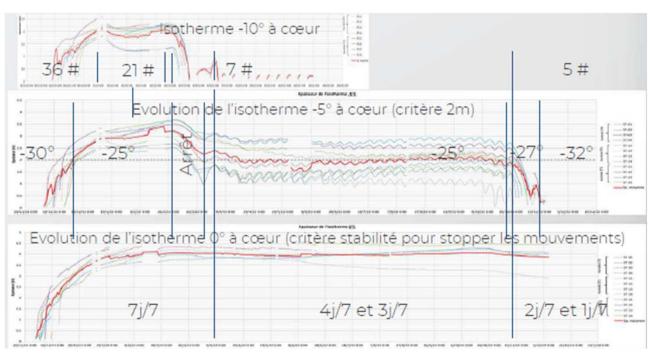








SGP T2A VDM – protection de la caverne de 30m de large L = 75m



Congélateurs en dalle : 36/21/17/11/7/5

Température saumure : -30° / -25° / -27° / -30° / -32°

Alternance ouverts/fermés: 7/0 - 4/3 - 3/4 - 2/5 - 1/7

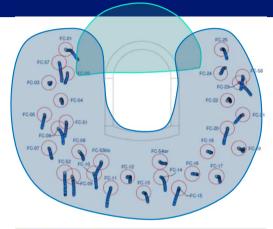




SGP T2A 1404 (2023) – Rameau d'évacuation du tunnel ferroviaire $L = 30m \Phi = 4m$







Déviations altimétriques des forages

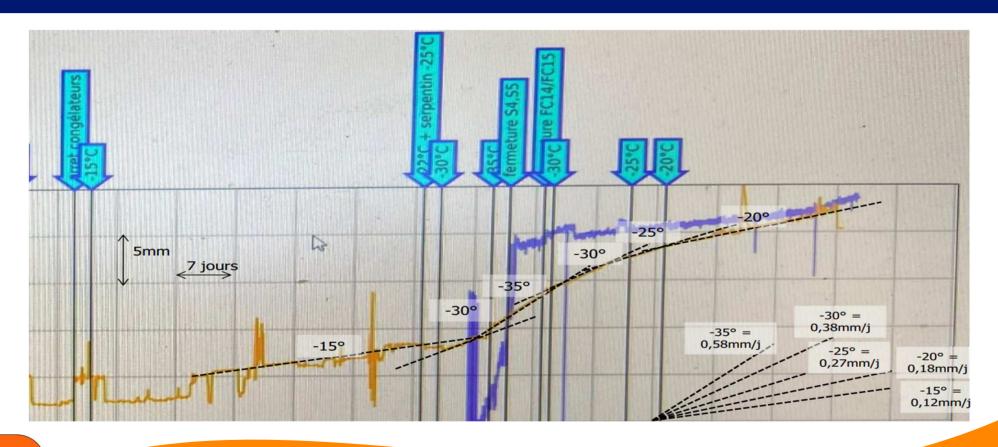






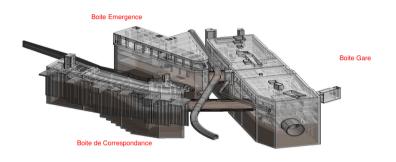
BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

SGP T2A 1404 – pilotage par les vitesses de gonflement





SGP T3A Issy (2023) – 2 couloirs d'accès piétons à la gare L=12 & 30m, Φ =10m

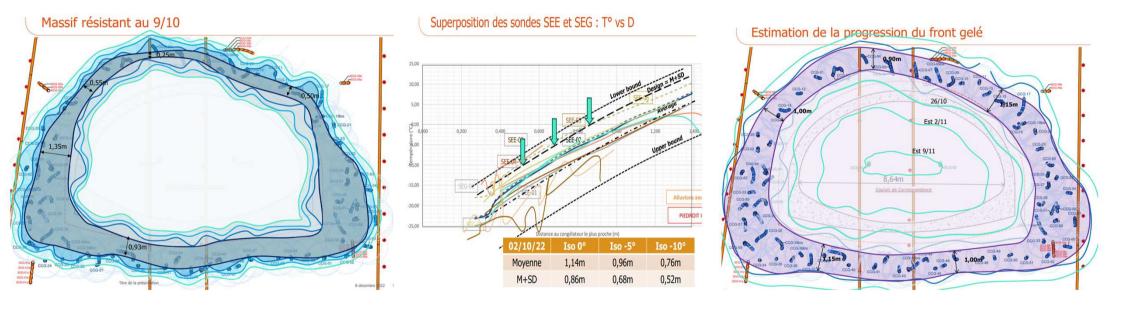








SGP T3A Issy (2022) – pilotage par les vitesses de gonflement





Conclusions

Congélation des sols utilisée en construction, réparation et protection.

- démarche rigoureuse : Matériaux / Essais / Études / Suivi froid / Suivi sol / Suivi bâtit

- choix saumure vs azote liquide: Durée de la sécurité vs aléas et incidents (15j, 2j, 1j)

- instrumentation et calculs: Démonstration de l'atteinte des critères de sécurité

- Monitoring : Ajustement du pilotage et alertes



Thank You

Questions?





