

# Tunnels routiers, ferroviaires et de métro à HONG-KONG



Retours d'expérience

Bruno DEMAY

BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

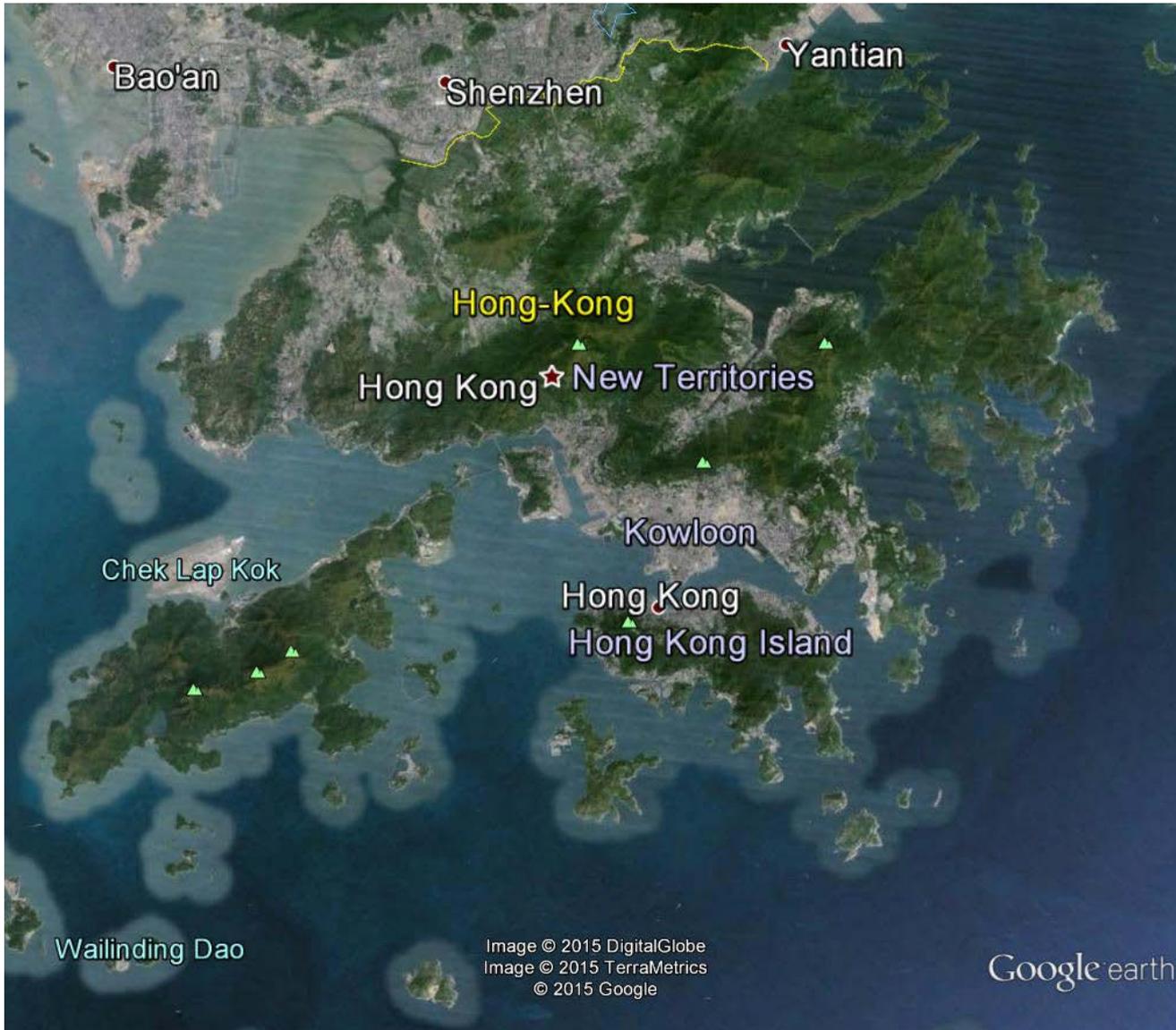


Shaping a **Better Life**

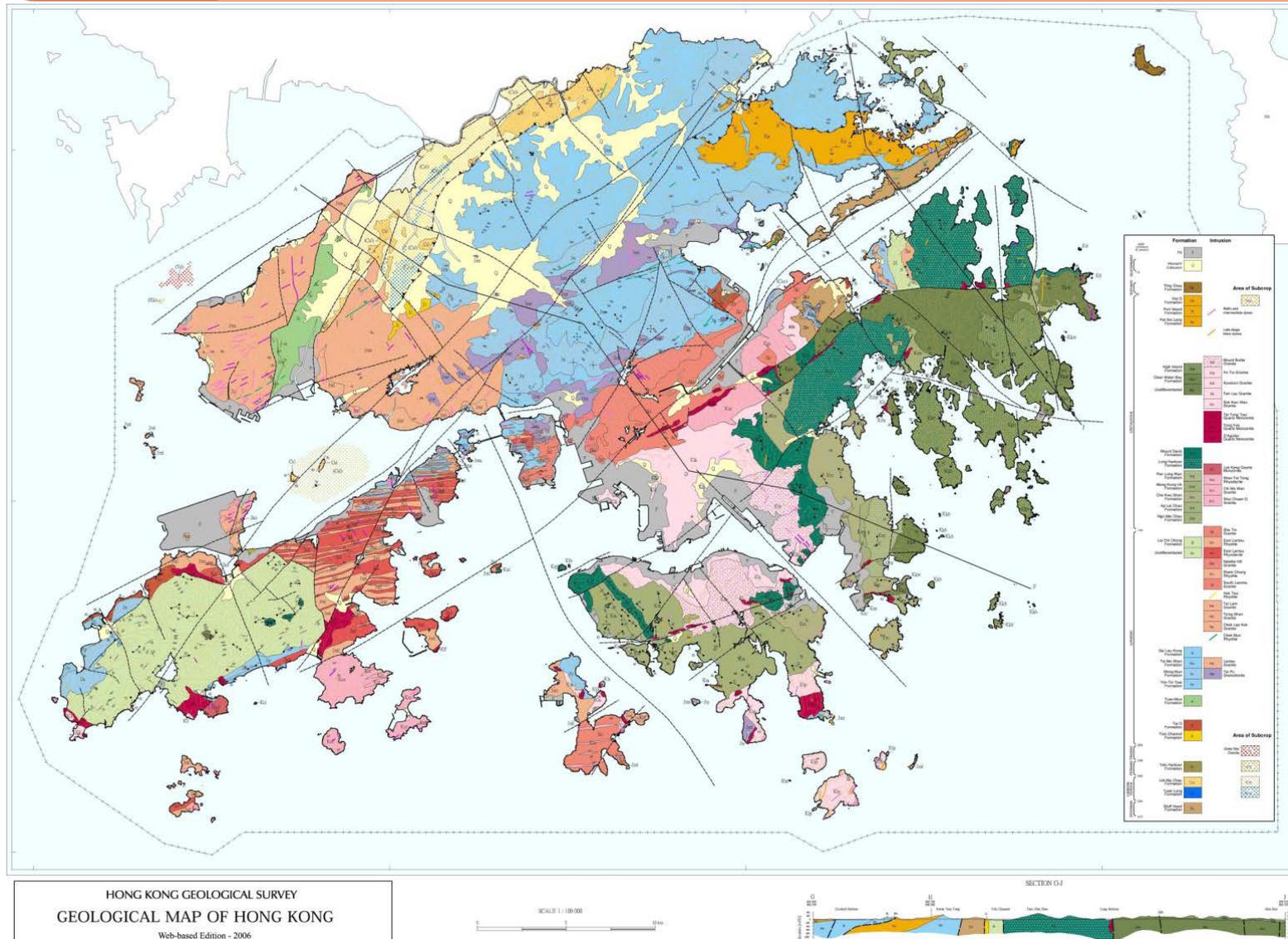
# Plan de l'exposé

1. Caractéristiques de la géologie de HONG-KONG
2. Les projets BOUYGUES en cours
3. Tunnel ferroviaire XRL 820
4. Tunnel de métro SCL 1128
5. Tunnel routier TUEN MUN – CHEP LAP KOK

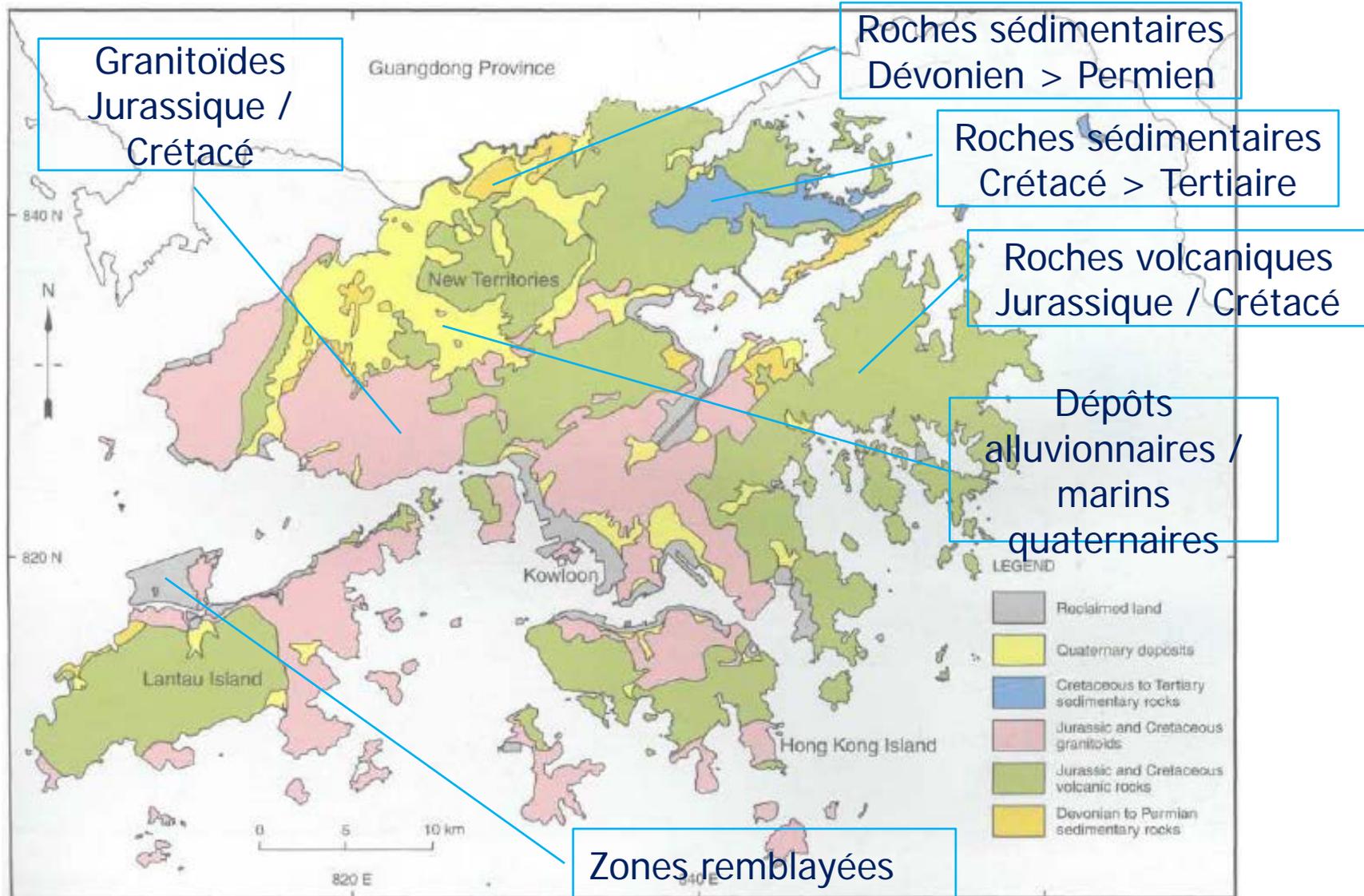
# HONG-KONG



# La carte géologique de HONG KONG



# Géologie synthétique



# Impact de la géologie sur les projets de tunnels

Les infrastructures souterraines desservent les zones habitées en bord de mer :

- Terrains constitués de remblais sur des zones alluvionnaires, ou de dépôts marins quaternaires surmontant un substratum granitique
- Terrains très souvent en cours de consolidation
- Substratum granitique à altération variable, présence de boulders

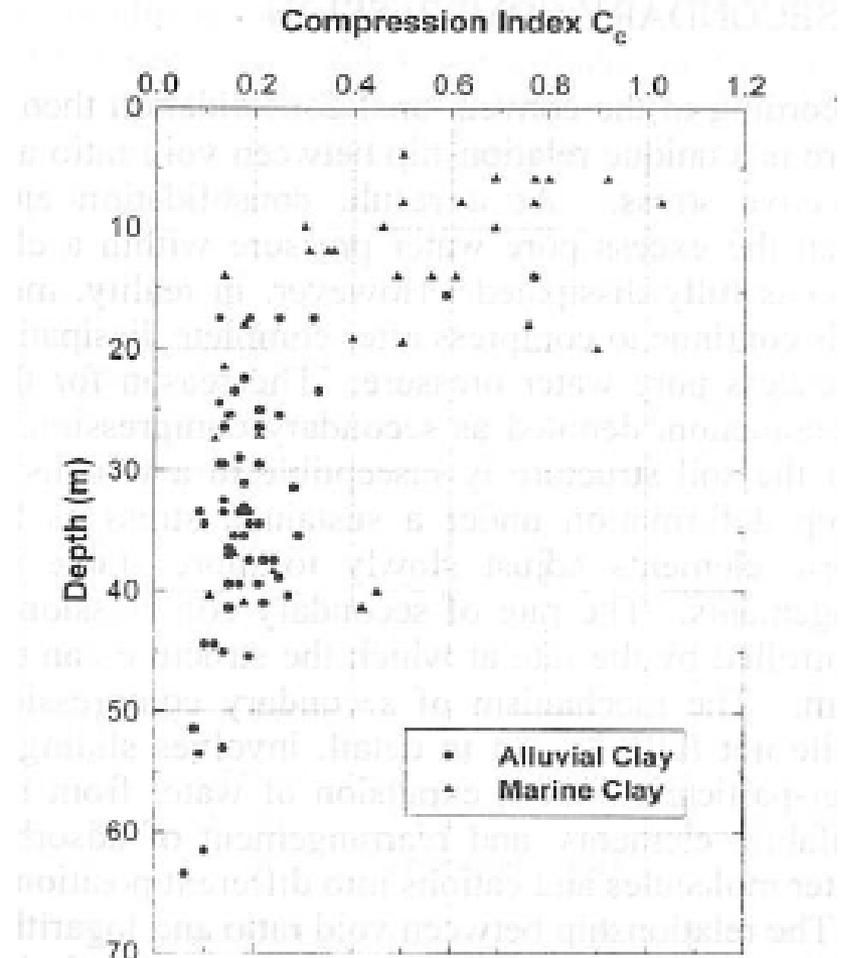
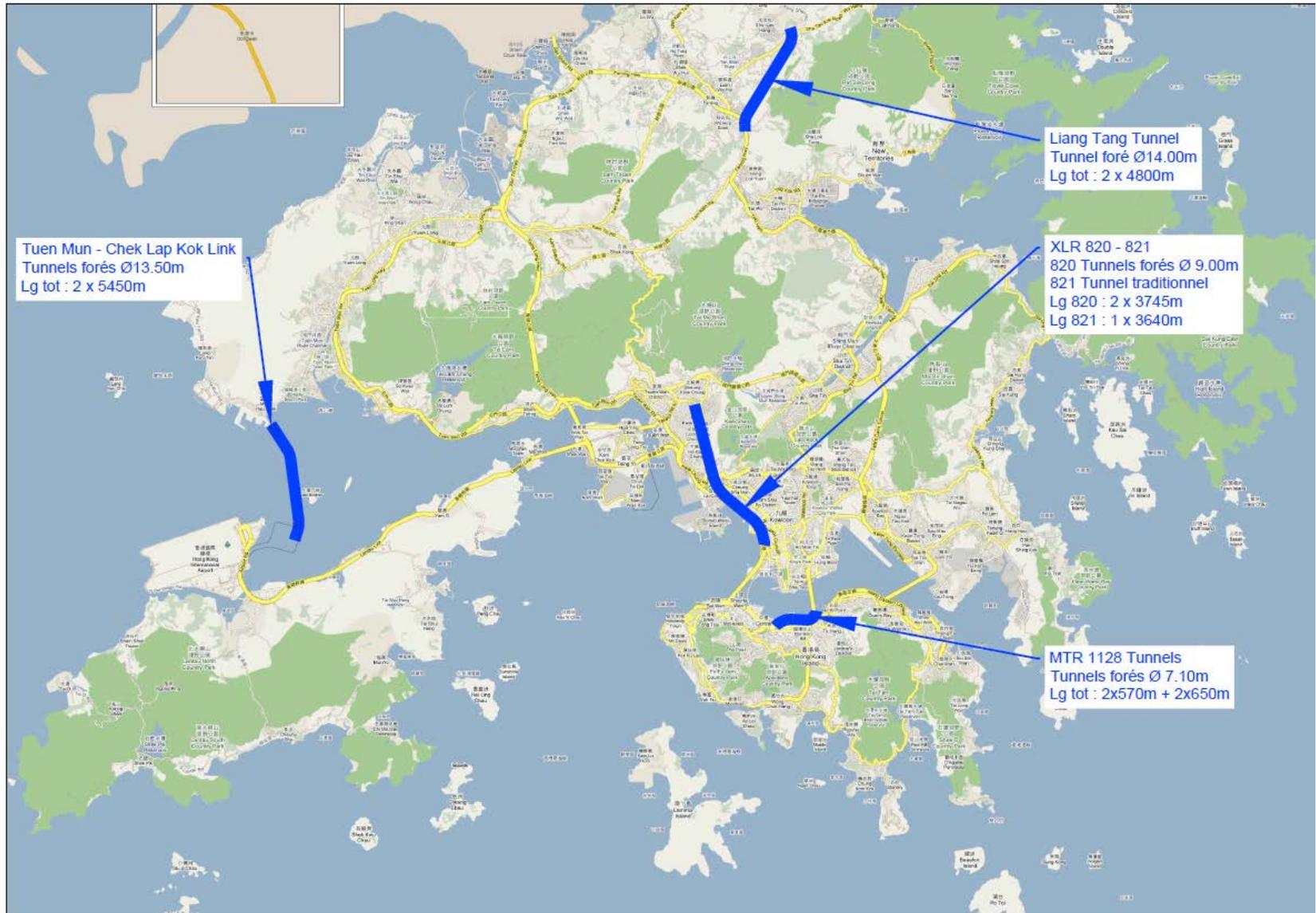
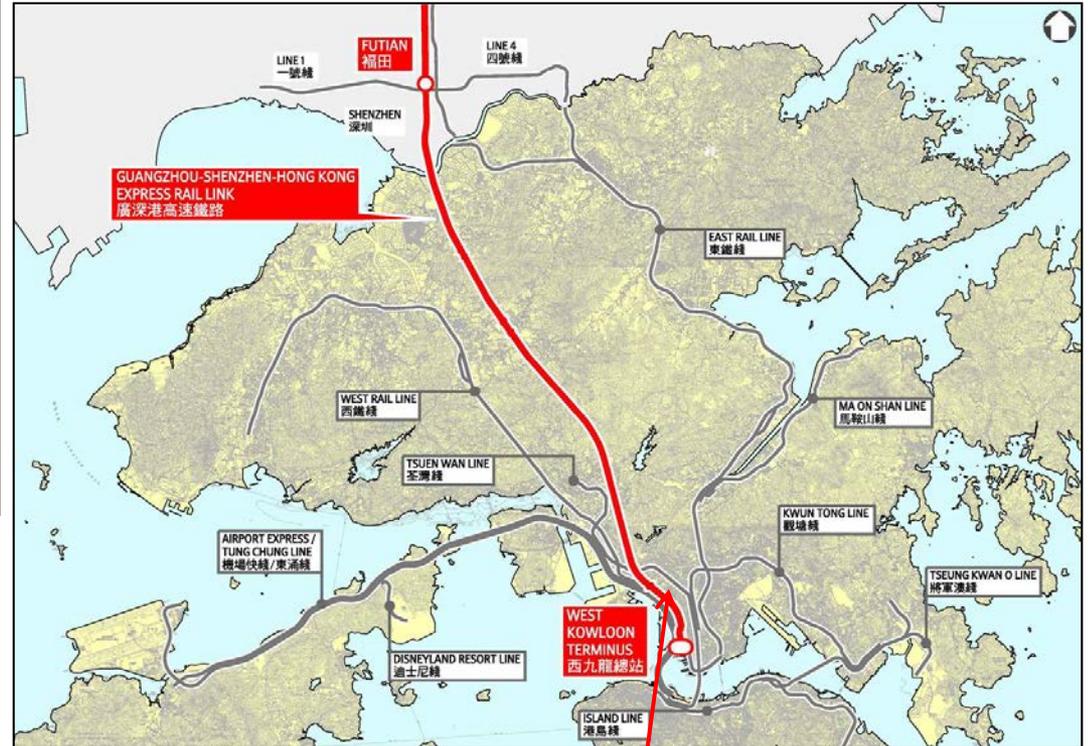


Figure 6. Compression index versus depth

# Les projets de tunnel BOUYGUES en cours

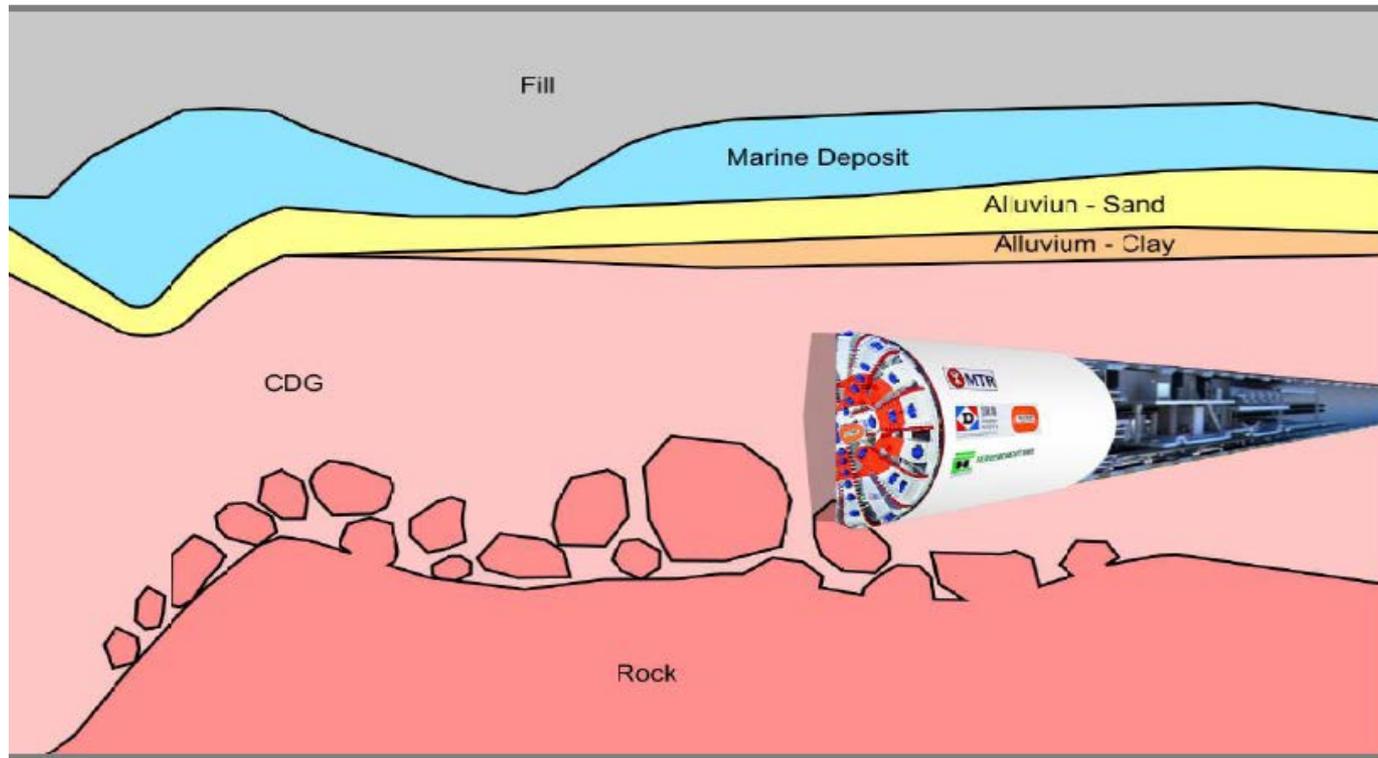


# Projet XRL 820 - situation



**Express Rail Link Contract 820  
Mei Lai Road to Hoi Ting Road Tunnels**

## XRL 820 Conditions géologiques



Conditions de sol rencontrées :

- Pleine face rocher : 38 %
- Pleine face terrain meuble : 50 %
- Section mixte : 12 %

## XRL 820 Le Tunnelier



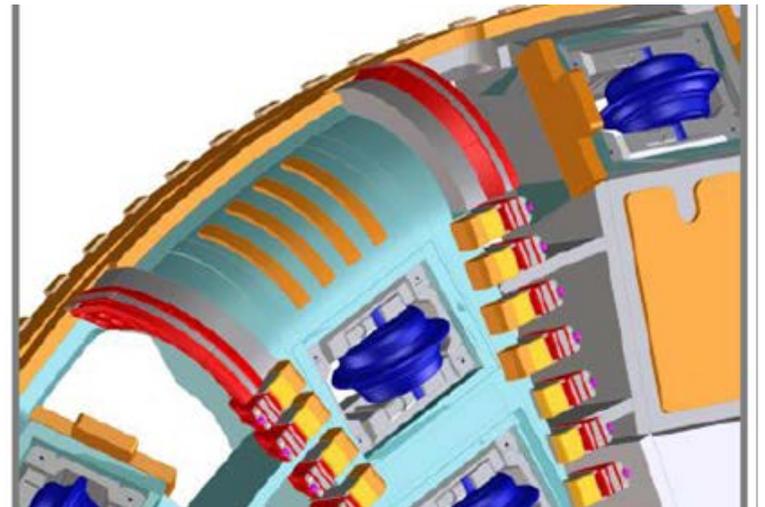
Tunnelier à pression de boue, avancement moyen 8.5 m/jour

- Diamètre 9330 mm
- vitesse de rotation maximale 4.9 tr /mn
- Vitesse d'avancement instantanée maximale 60 mm/mn
- Poussée maximale 62000 KN
- Pression maximale 5 bars

## XRL 820 Influence de la géologie sur la conception du tunnelier

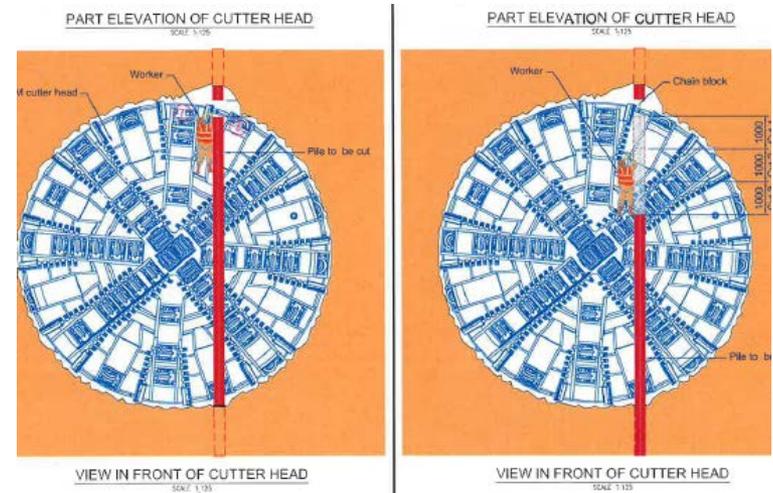
La **tête de coupe** comprend :

- 4 molettes doubles de 19"
- 47 molettes simples de 19"
- 188 outils dents
- 16 godets racleurs
- 1 concasseur
- Des ouvertures spécifiques dans la tête de coupe
  - > Une conception adaptée à la fois aux terrains meubles et au rocher
- Tunnelier **pression de boue** pour creuser dans le rocher **et** dans les terrains meubles

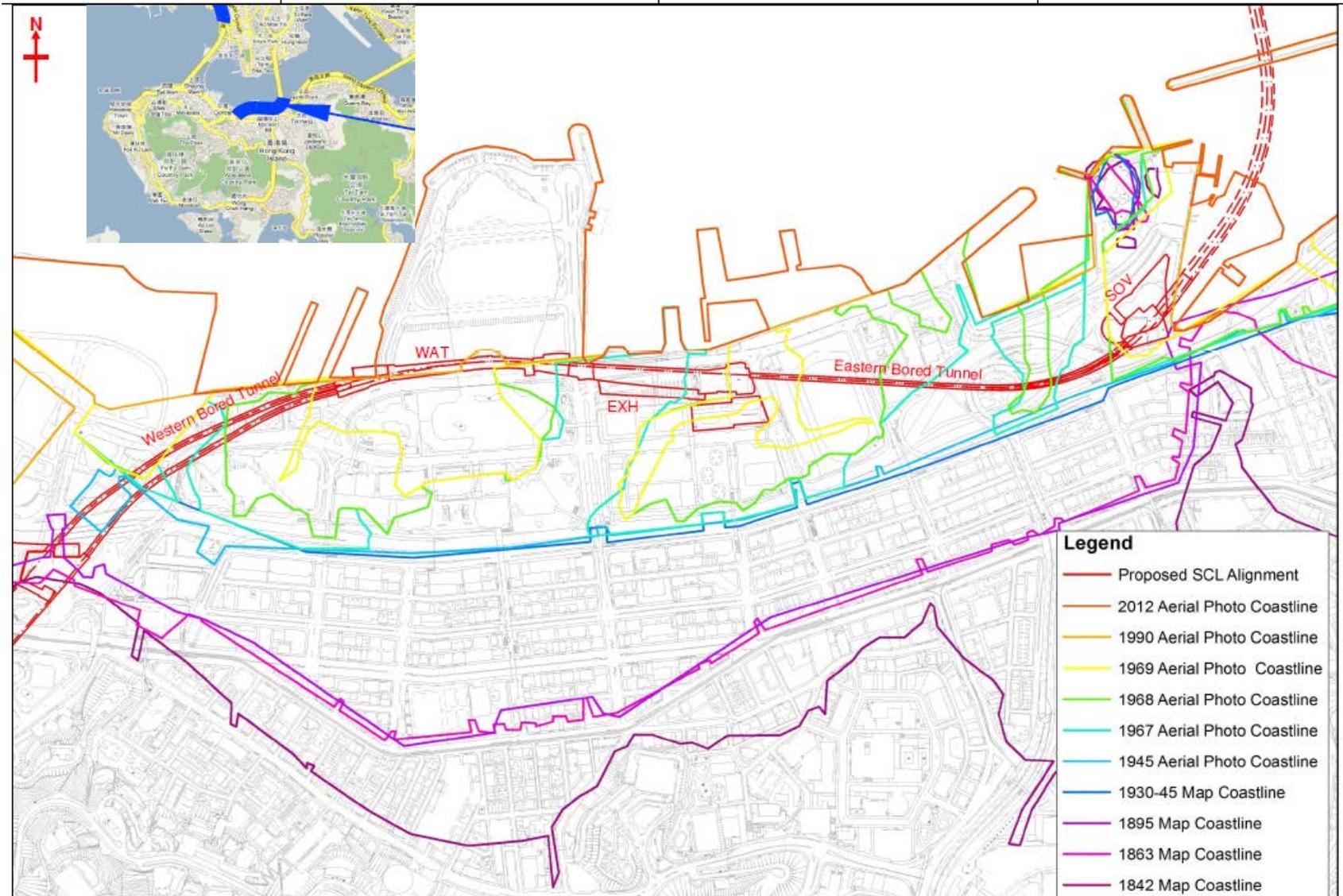


## XRL 820 Pression de boue : un bon choix à posteriori...

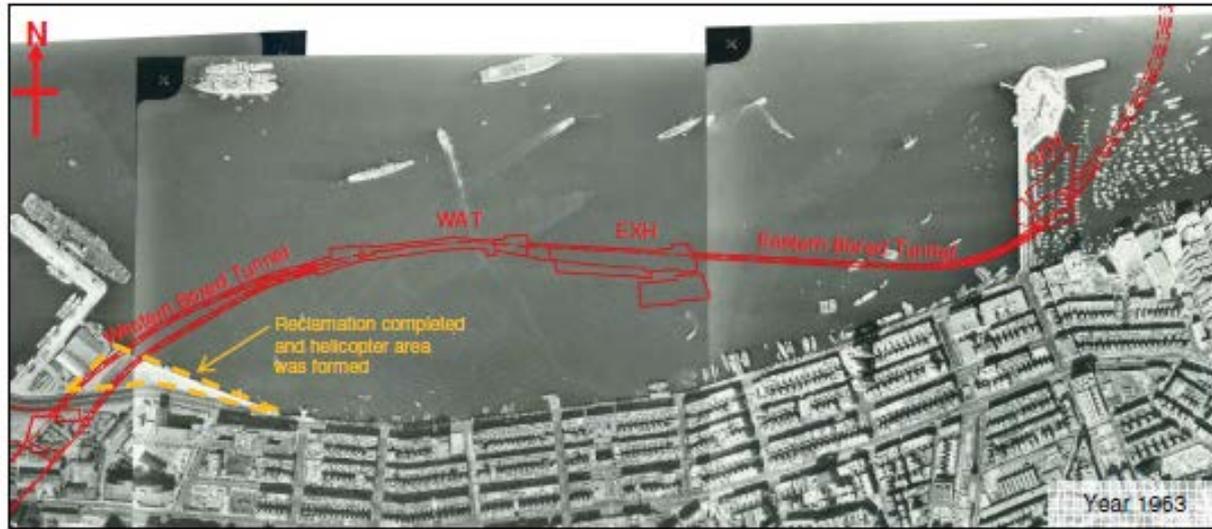
- 23 H pieux H interceptant la section du tunnel à Hoi Wan Road
- Des arrêts supérieurs à 6 mois pour enlever les obstructions
- De nombreuses interventions hyperbares rendues possibles par le choix initial de la solution pression de boue
- Bonne maîtrise des tassements obtenue par la boue circulant le long de la tête de coupe



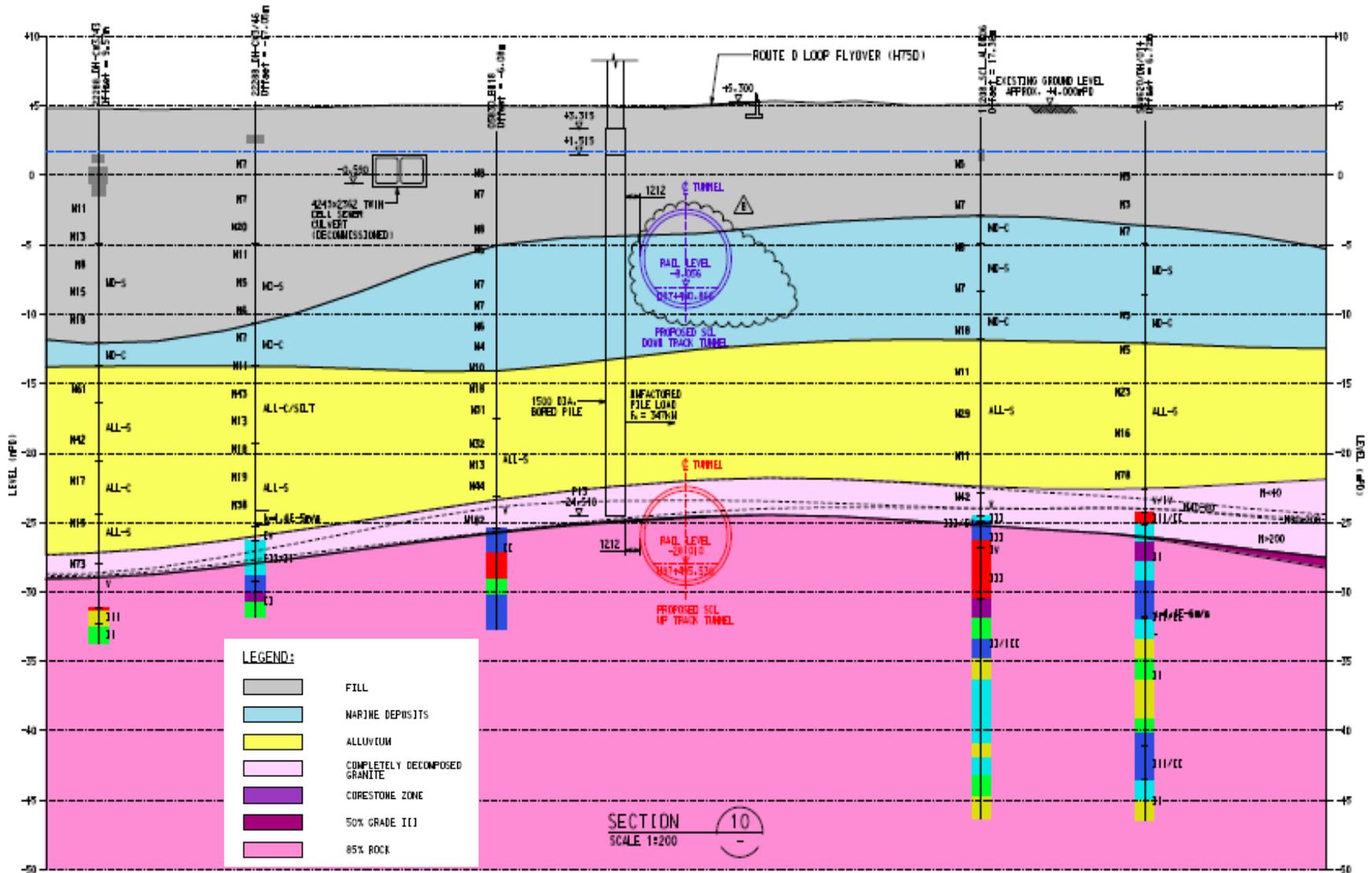
# SCL 1128 Shatin to Central Line - Métro



# SCL 1128 Pour l'essentiel, des terrains gagnés sur la mer



# SCL 1128 – Une coupe géologique parmi d'autres...



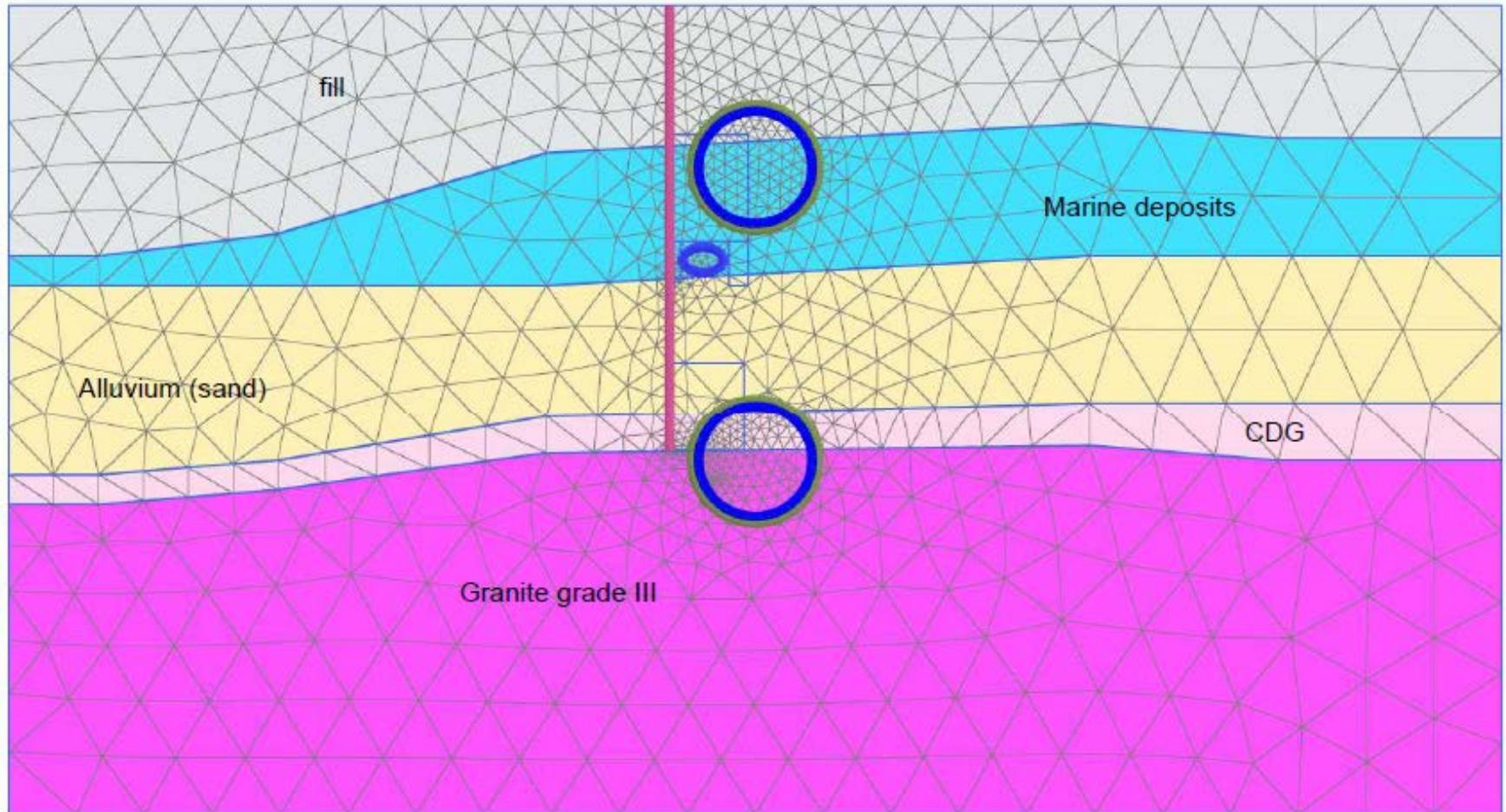
# SCL 1128 – Paramètres géotechniques

Table 5.19: Proposed Geotechnical Soil Parameters for Western Bored Tunnel

Soil Type	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (Deg.)	$\nu'$	$E^*$ (MPa)	Design SPT "N" Where D=depth below existing ground surface(m)
FILL	19	0	36°	0.3	1.5N	$N = 0.67D+8$
Marine Deposits (CLAY/ SILT) - Drained	18	5	30°	0.3	1.0N	$N = 6$ for $D < 15$ $N = 1.13D - 10.88$ for $D \geq 15$
Marine Deposits (CLAY/ SILT) - Undrained	19	0	$c_u = 0.22\sigma_v'$ or minimum 5kPa	0.5	$300C_u$	-
Marine Deposits (SAND)	19	0	33°	0.3	1.5N	$N = 10$
Alluvium (CLAY/ SILT) - Drained	19	6	30°	0.3	1.5N	$N = 10$ for $D < 15$ $N = 1.18D - 7.65$ for $D \geq 15$
Alluvium (CLAY/ SILT) - Undrained	19	0	$c_u = 0.22\sigma_v'$ or minimum 5kPa	0.5	$300C_u$	-
Alluvium (SAND)	19	0	33°	0.3	1.5N	$N = 16$ for $D < 15$ $N = 0.82D + 3.65$ for $D \geq 15$ $N = 1.68D - 0.4$ for $5 \leq D < 30$
CDG	19	5	36°	0.25	2.0N	$N = 13D - 340$ for $D \geq 30$

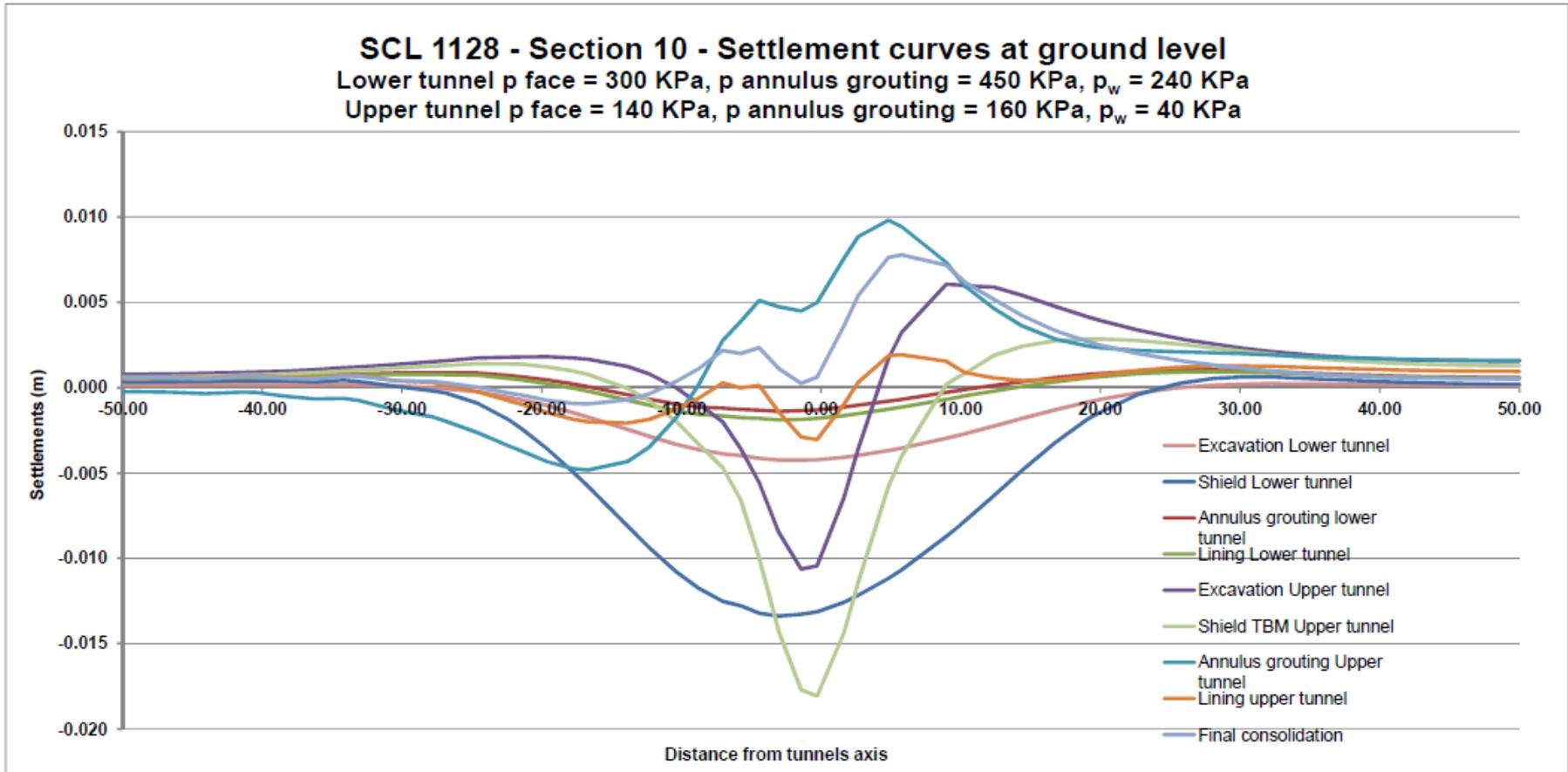
- Données basées sur des essais SPT et des corrélations empiriques...
- Travaux de SKEMPTON lors de la construction de l'aéroport de CHEP LAP KOK
- Peu d'essais triaxiaux CU+u
- Essais chargement / déchargement ?
- Comportement drainé / non drainé des matériaux

# SCL 1128 Conception : calculs MEF avec phasage détaillé



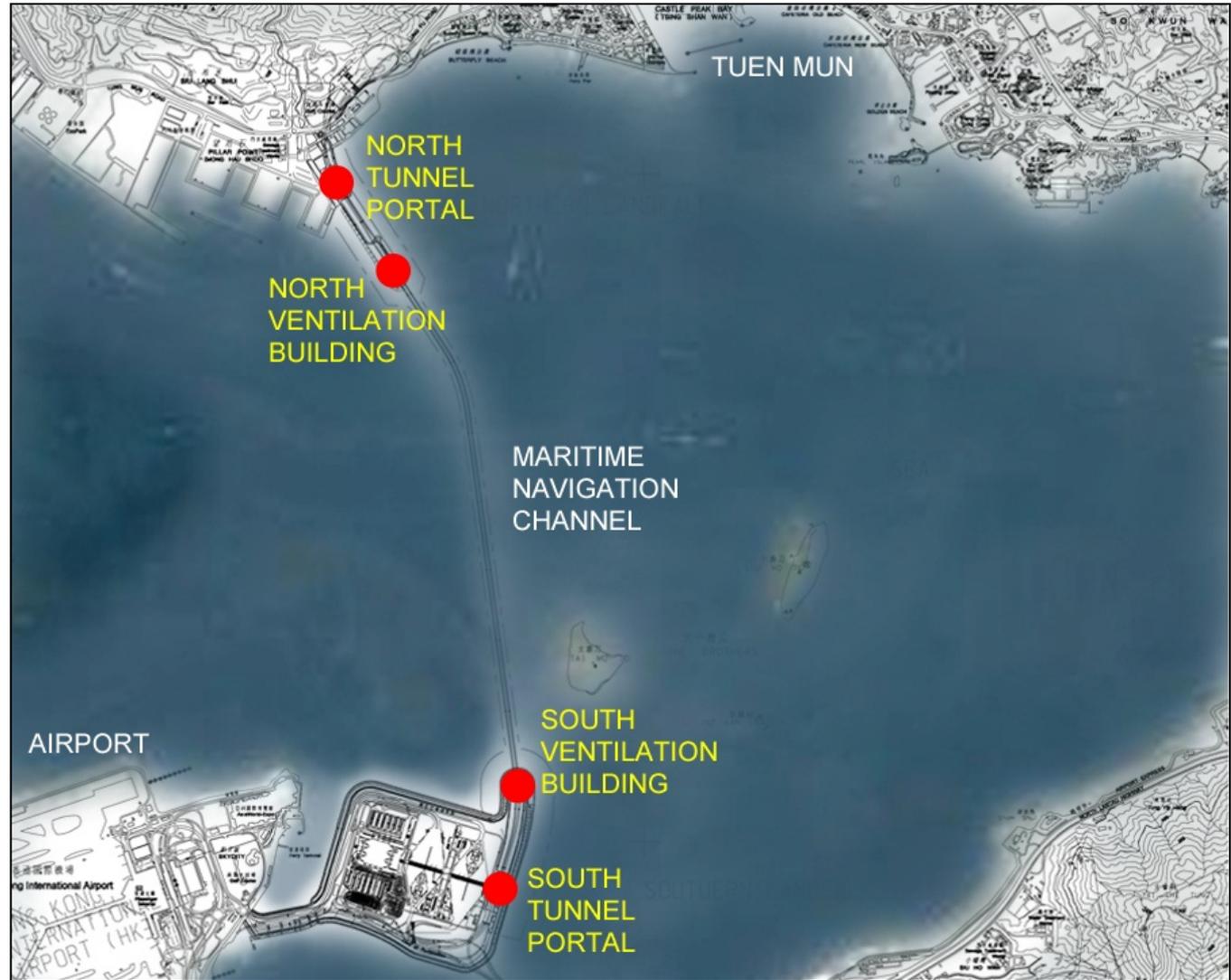
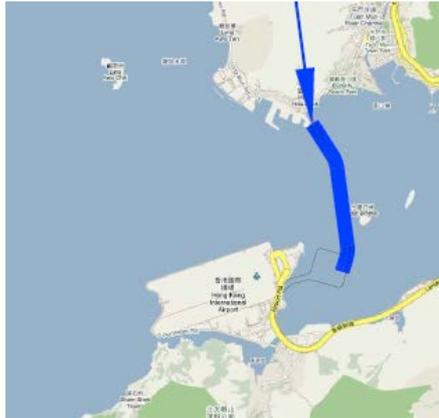
- ~~Taux de déconfinement~~
- Intérêt des lois de comportement « élaborées » type élastique non linéaire avec écrouissage

# SCL 1128 Calculs de tassements



- Forte sensibilité des tassements aux pressions de confinement et d'injection du mortier de bourrage
- Importance de la consolidation des terrains à long terme

# Projet tunnel routier TUEN MUN-CHEP LAP KOK



Tunnel routier bi-tube 2x2 voies

# TUEN MUN CHEP LAP KOK – Vue générale

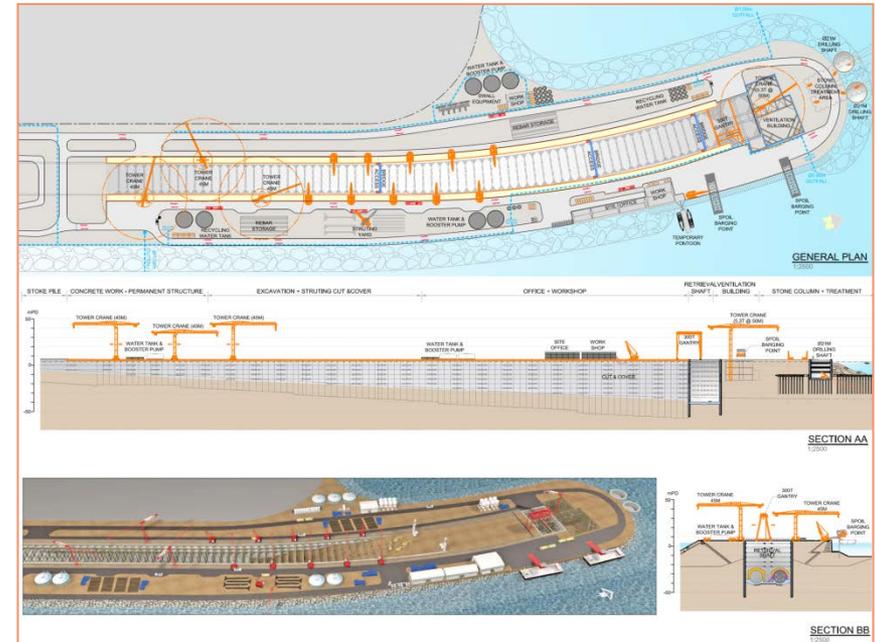


# TMCLK – Extrémités Nord et Sud gagnées sur la mer



Portail Nord – Zone remblayée  
Tranchée couverte  
Unité de ventilation

Portail Sud – Zone remblayée  
Tranchée couverte /ouverte  
Unité de ventilation

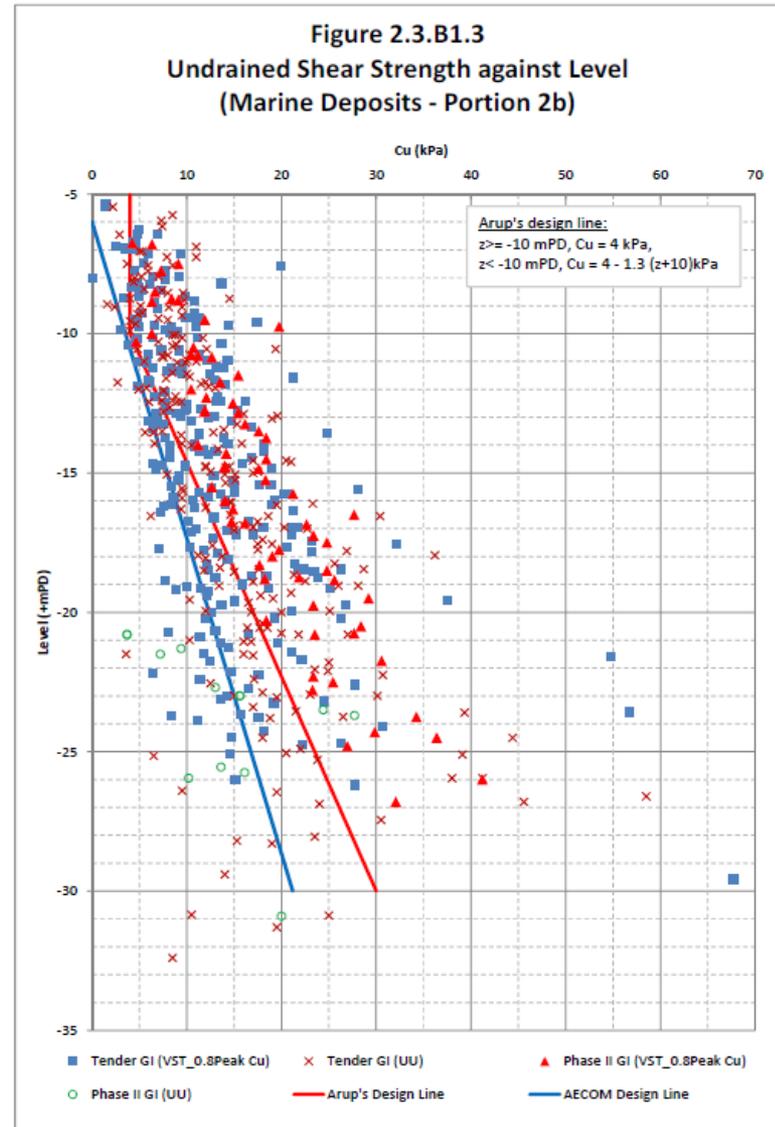
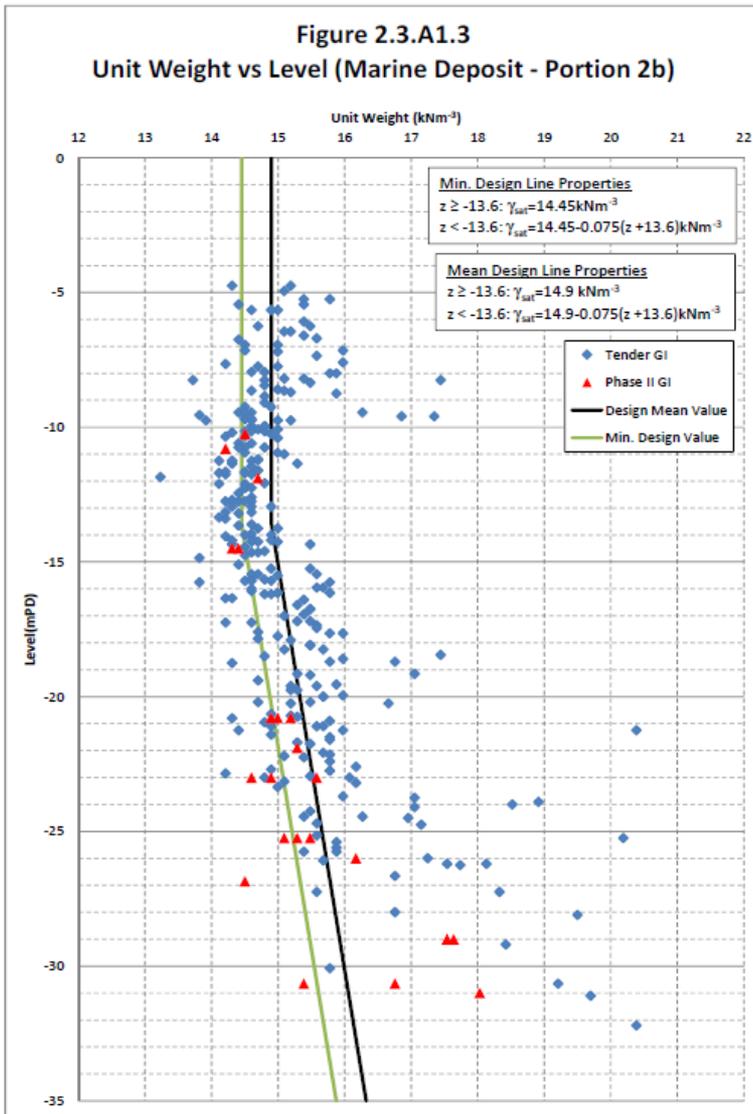




# TMCLK Le projet de tunnel sous-marin



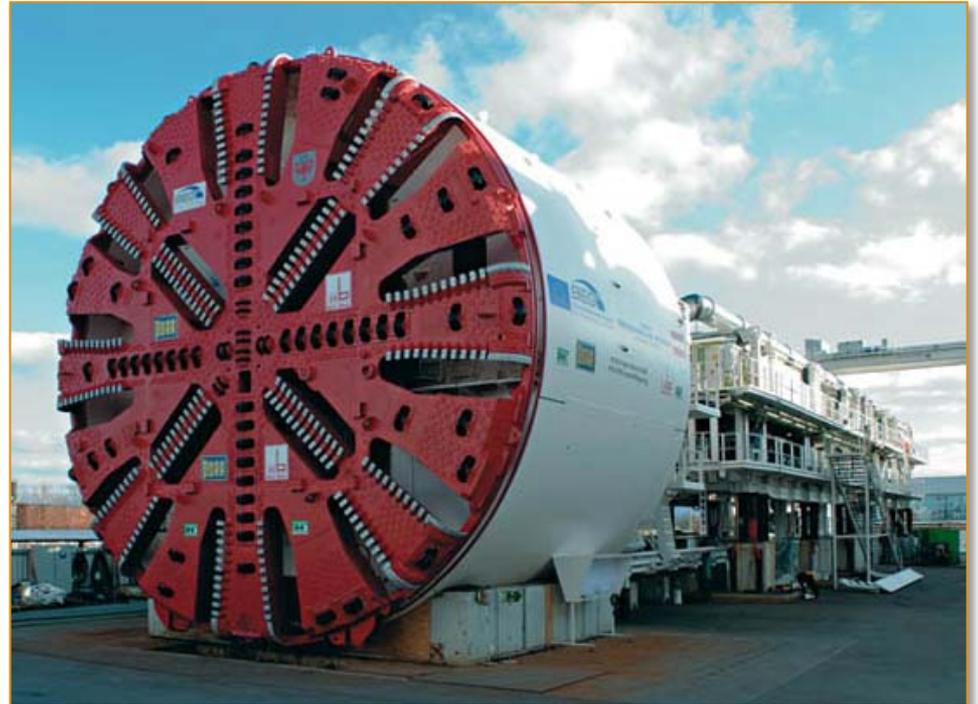
# TMCLK Des terrains difficiles...



# TMCLK Méthodes de construction

## Tunnel sous-marin :

- Puits de lancement et d'arrivée dans les zones remblayées
- 2 drives de 4.1 km chacun
- Diamètre intérieur 12,40 m
- Profondeur 40 à 50 m sous la surface de l'eau
- Tunnelier à pression de boue
- Interventions hyperbares à des pressions supérieures à 4 bars



# TMCLK Interventions hyperbares en saturation



Caissons – navette / base-vie



# Problème spécifique de conception : la flottabilité du tunnel

## 7.5.4 Flotation and Heave

7.5.4.1 Where tunnels are relatively shallow, they shall be checked for the possibility of flotation due to differential water pressure by the following method (Figure 7.1):

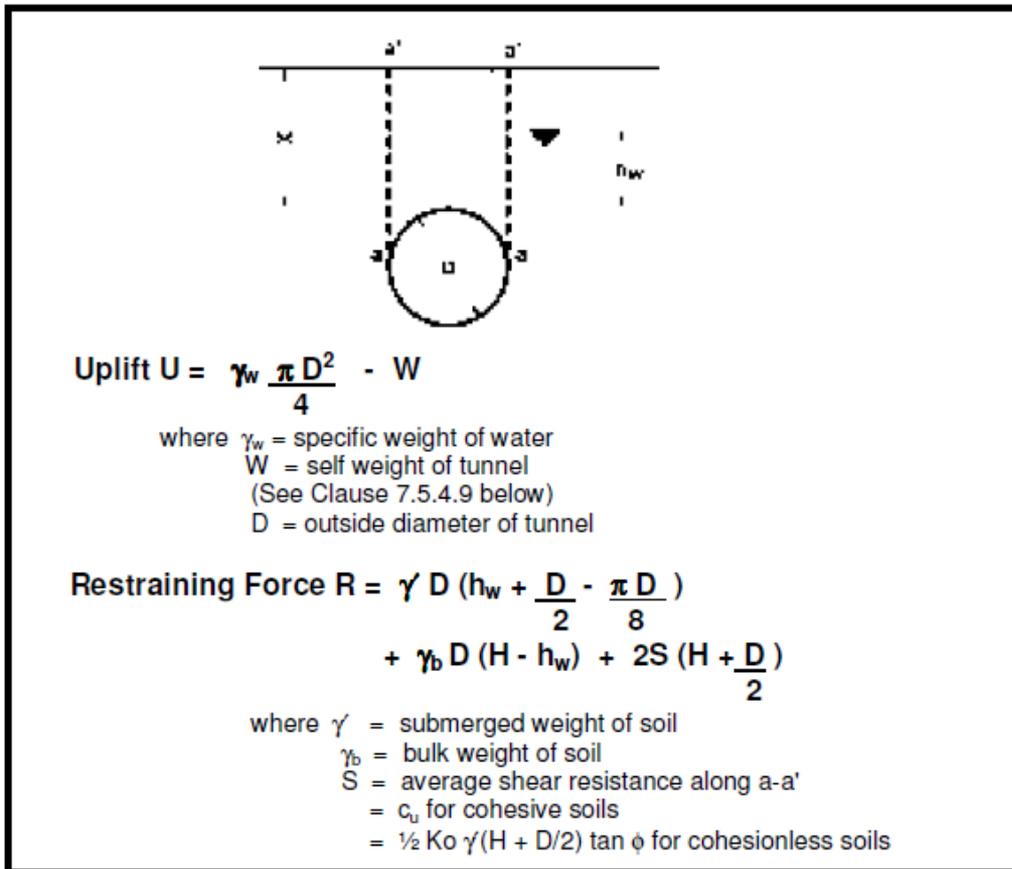


Figure 7.1 Method for checking flotation due to differential water pressure

Référence: Code Singapour

Land Transport Authority

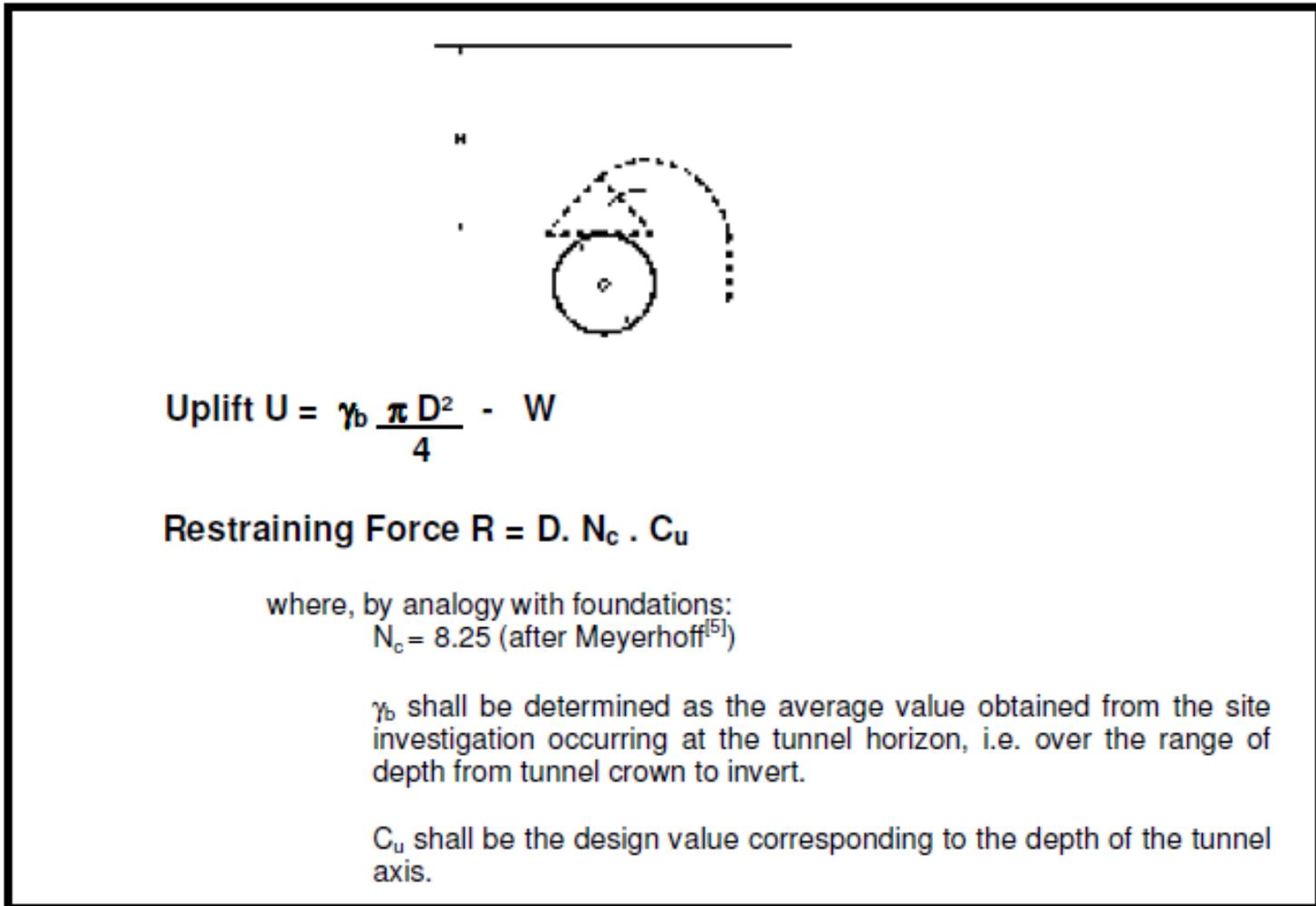
ENGINEERING GROUP

CIVIL DESIGN CRITERIA

FOR ROAD AND RAIL TRANSIT SYSTEMS

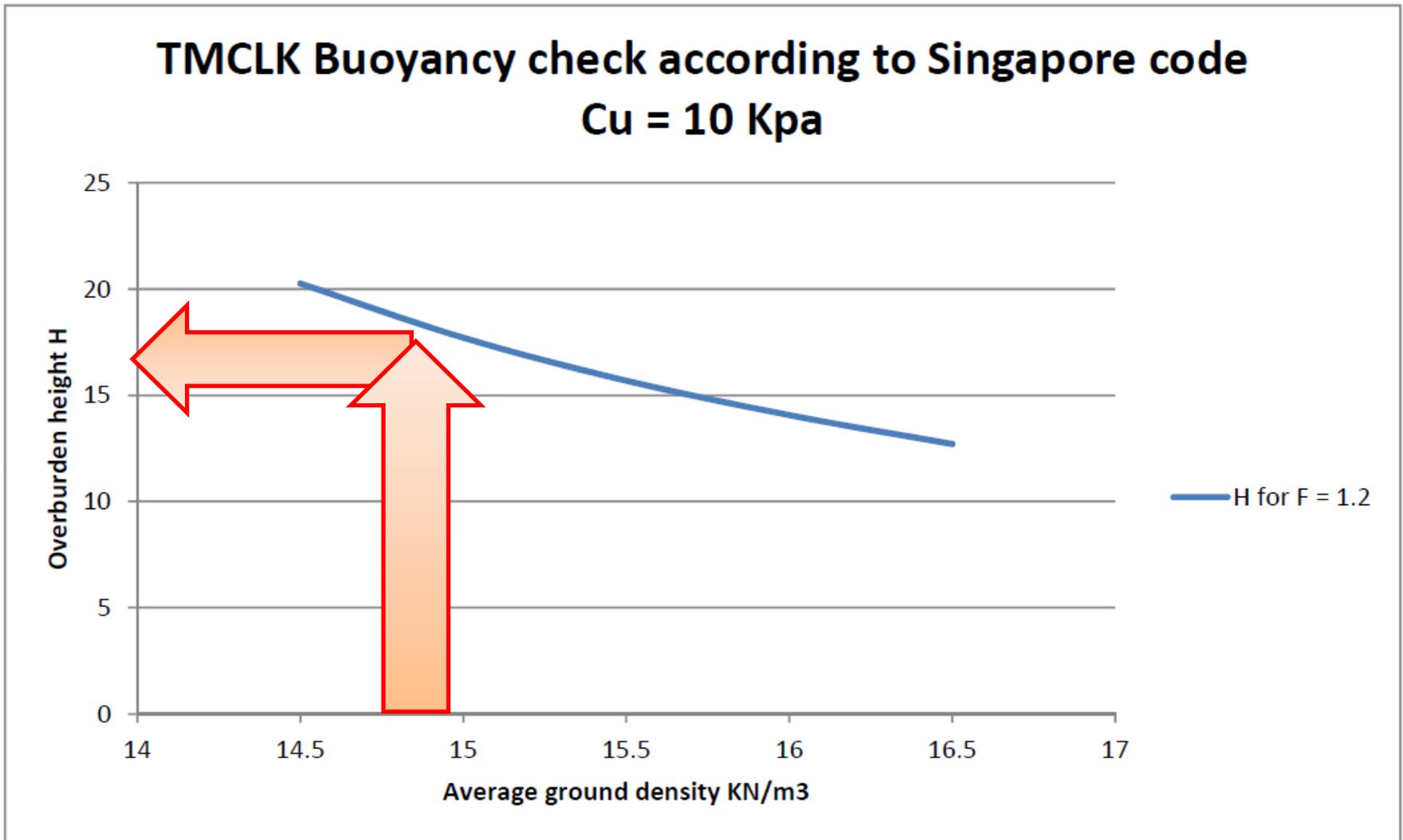
E/GD/09/106/A1

# Vérification supplémentaire dans les argiles molles



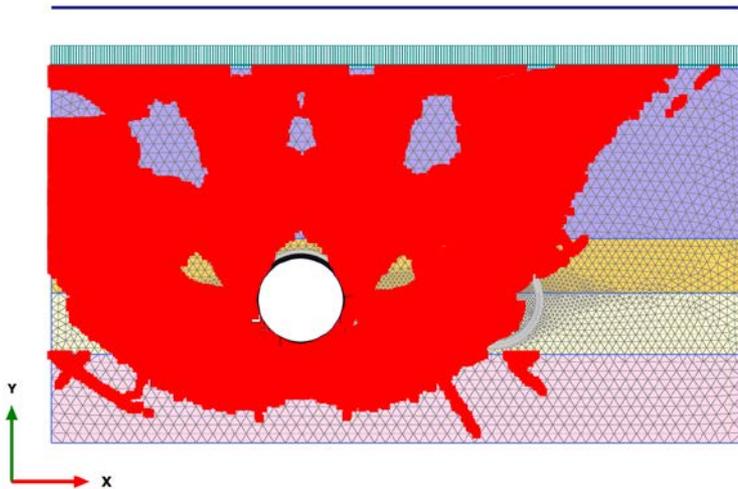
**Figure 7.4** Additional check for possible heave

# Limites du calcul analytique et de l'approche à la rupture



# Analyse numérique / approche phi-c réduction

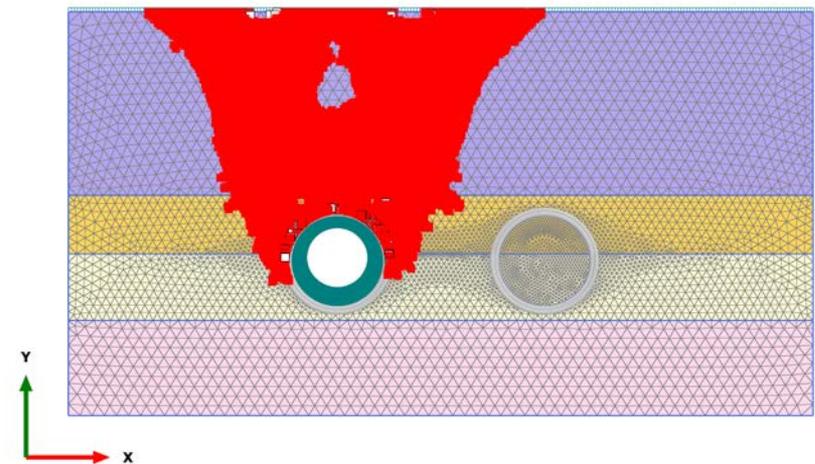
- Les analyses de sensibilité à la densité des matériaux montrent que le coefficient de sécurité à la rupture par flottaison / soulèvement est toujours très supérieur au coefficient de sécurité à la rupture par instabilité du front de taille
- Les plages de pression de confinement entre instabilité et soulèvement sont étroites



Plastic points

■ Failure point    □ Tension cut-off point

FS = 3 à 6



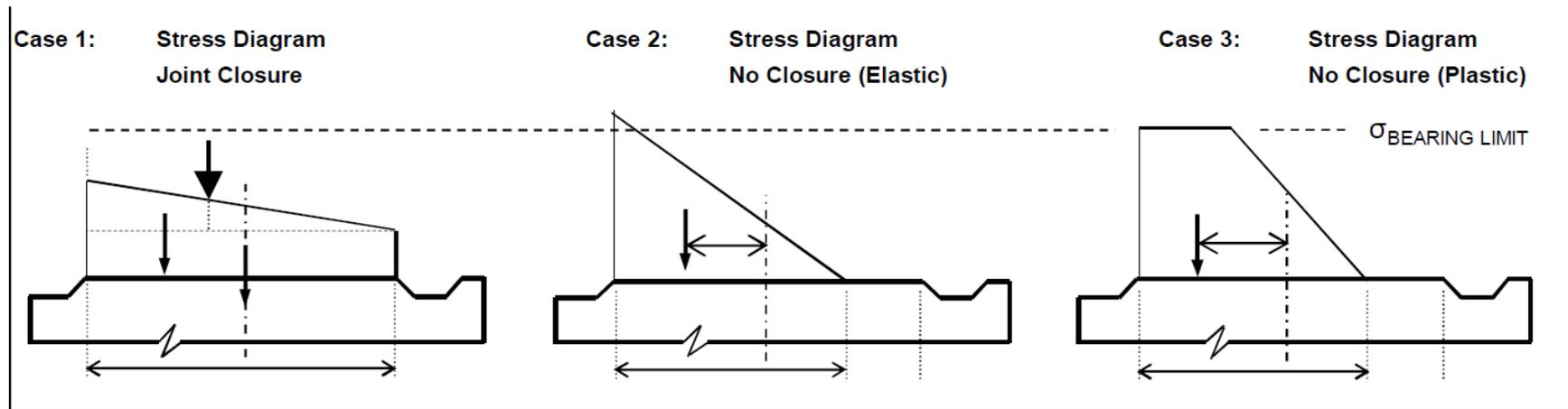
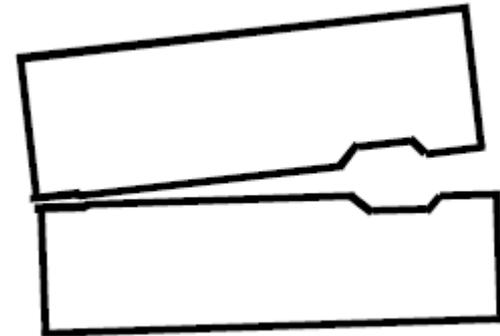
Plastic points

■ Failure point    □ Tension cut-off point

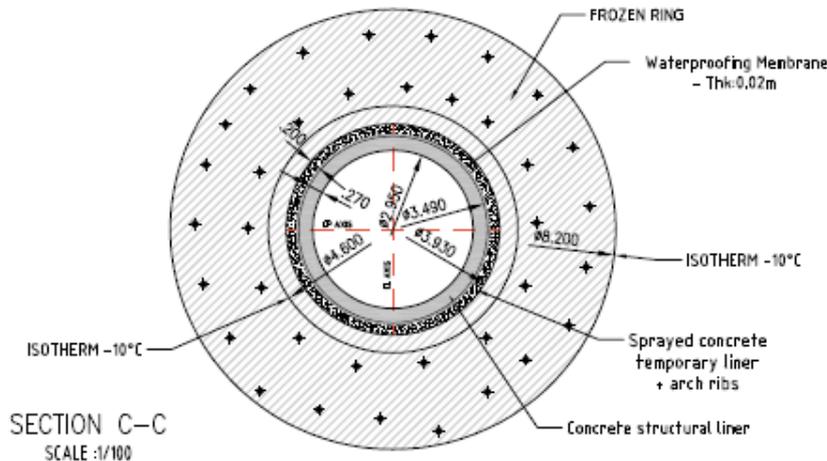
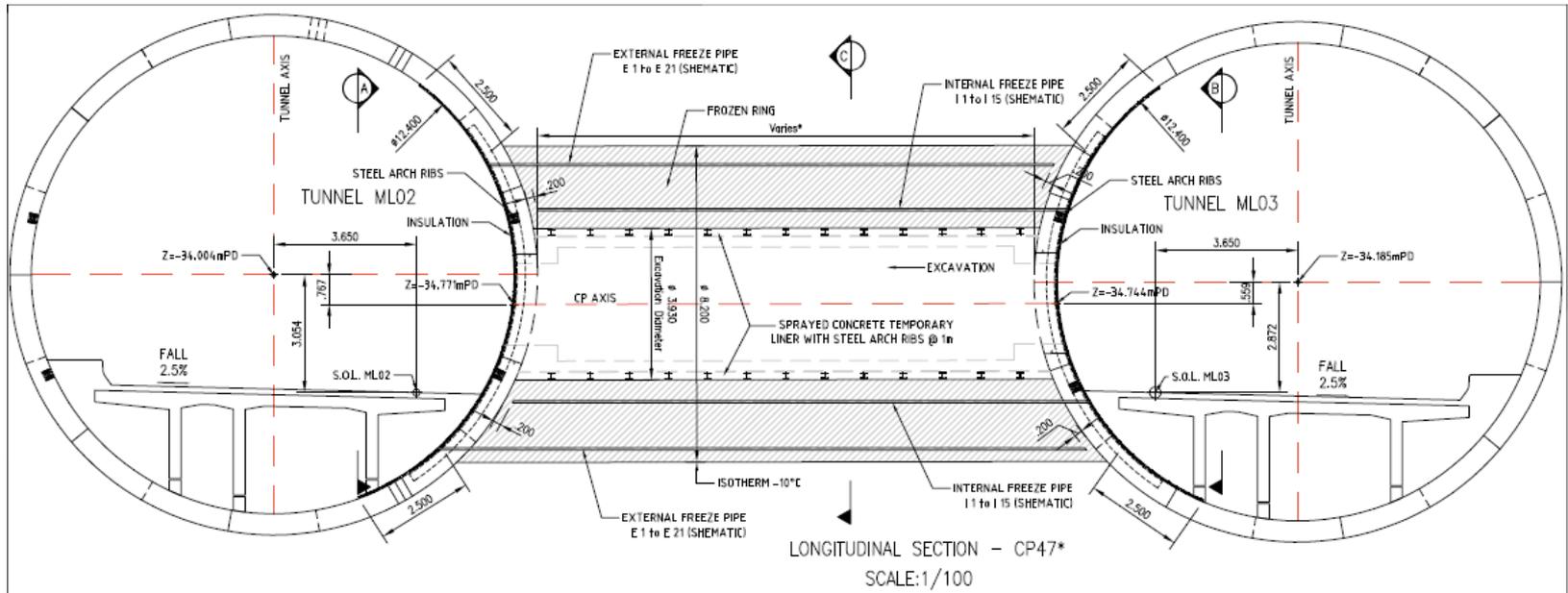
FS = 1 à 1.5

# Principaux résultats de l'analyse numérique

- Extrême sensibilité des déplacements du terrain aux pressions de confinement et d'injection du mortier de bourrage
- Impact des déplacements du terrain : ovalisation progressive de l'anneau de voussoirs au cours du temps
- Analyse fine du comportement des joints de voussoirs : (« birdsmouthing »)



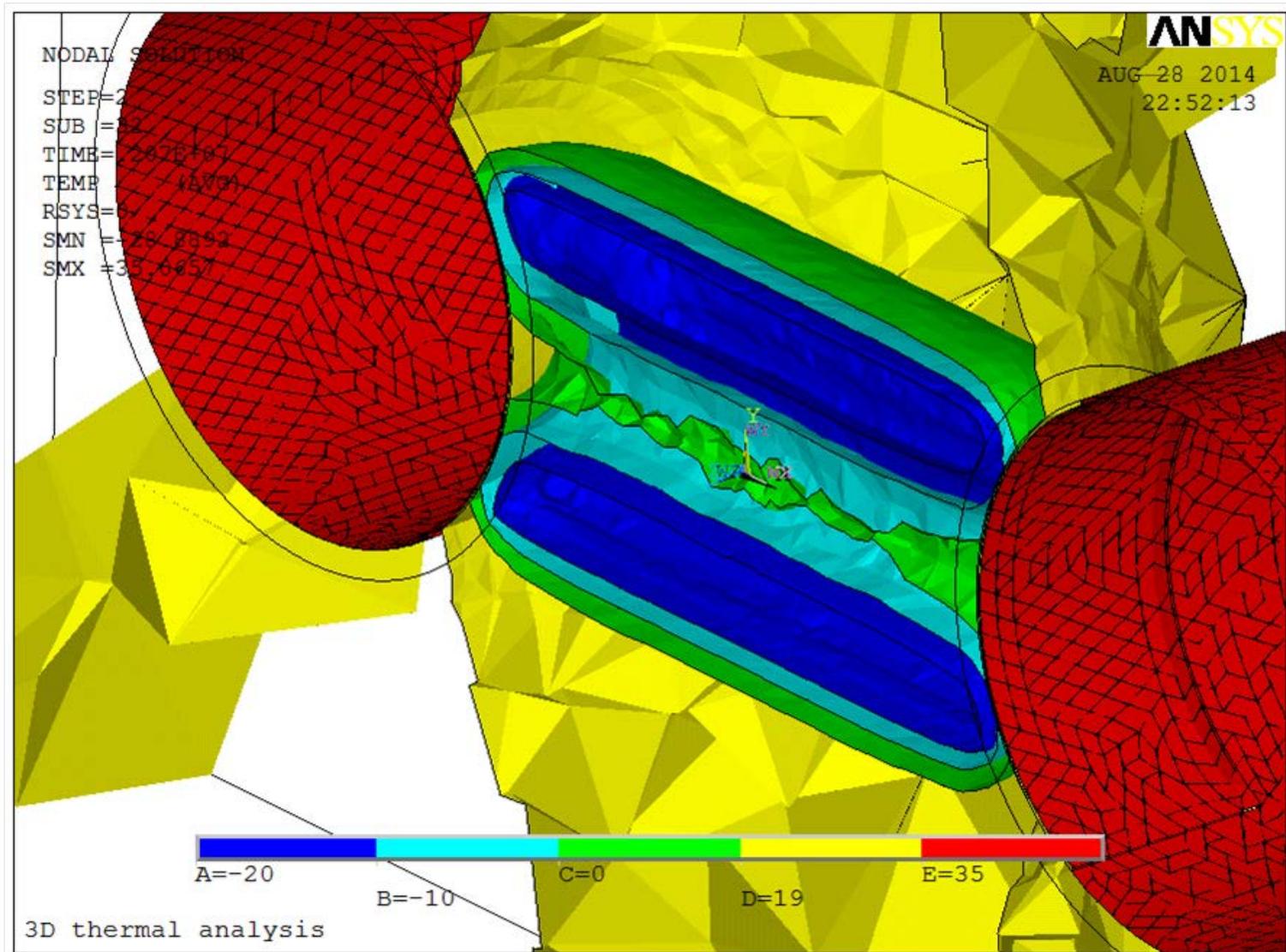
# TMCLK Les intertubes : creusement sous congélation



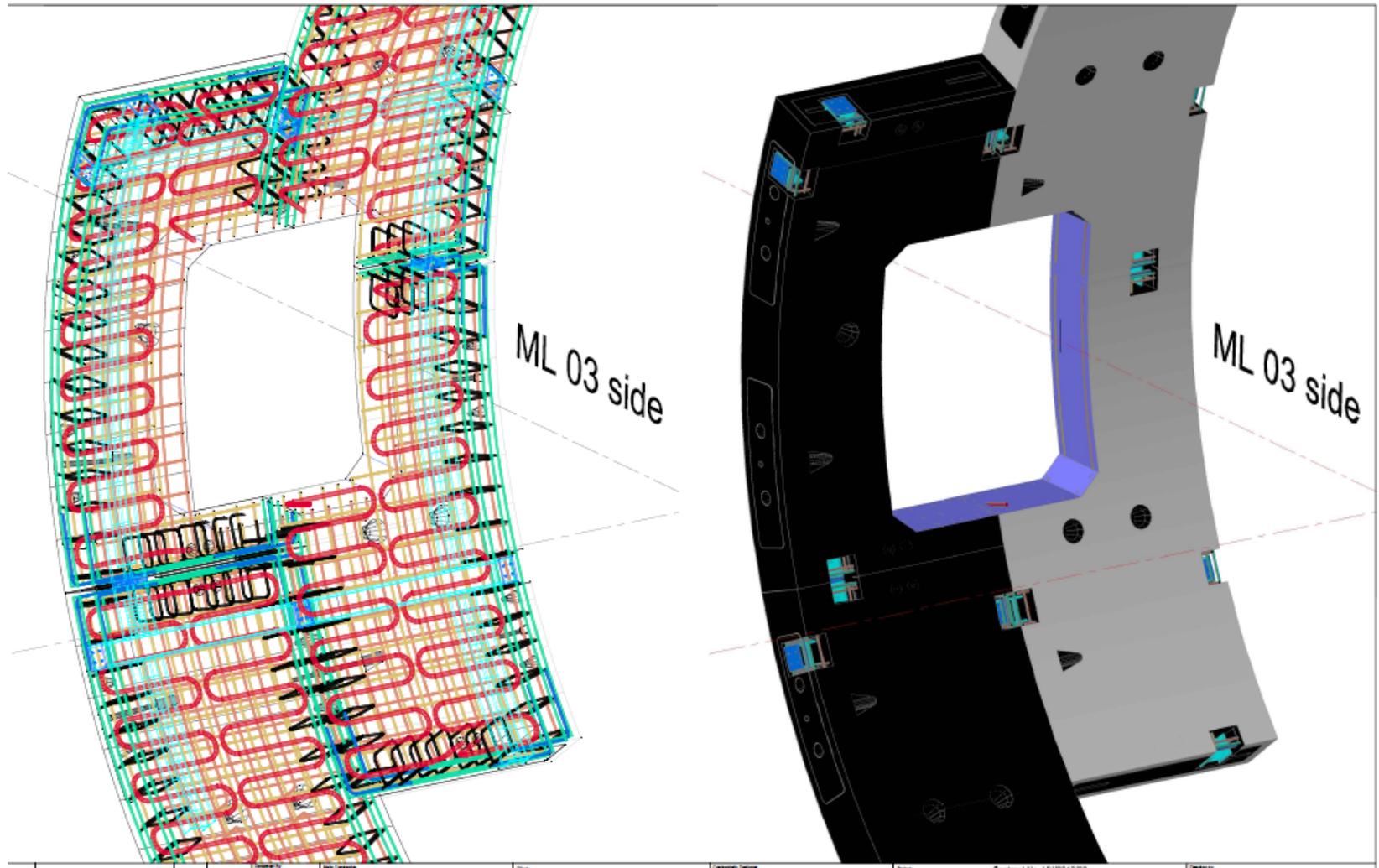
Note:  
Option 3: Drilling of external row from MLO2.  
Drilling of internal row from MLO3.  
All Options: Excavation from MLO3  
MLO3 equipped with safety door and chamber with "butcher curtain" to insulate the CP from MLO3 tunnel during excavation.  
GEO 2: UCS (-10°C) ≥ 1.5MPa  
UCS (-15°C) ≥ 2.5MPa  
Required frozen ring thickness:  
thk (-10°C) ≥ 1.8m  
thk (-15°C) ≥ 1.3m

Note:  
\* Longitudinal section done at CP47  
\* The length of CP9 to CP47 varies from 10m to 13m.

# Etude détaillée de la répartition des températures



# Solution imaginée : congélation depuis les voussoirs



# Rampe Nord en décembre 2014



Merci de votre attention

