



# Retours d'expériences pendant la construction de cavités pour le stockage d'hydrocarbures: Le cas des « mégas blocs »

N. GATELIER, P. VASKOU, T. YOU

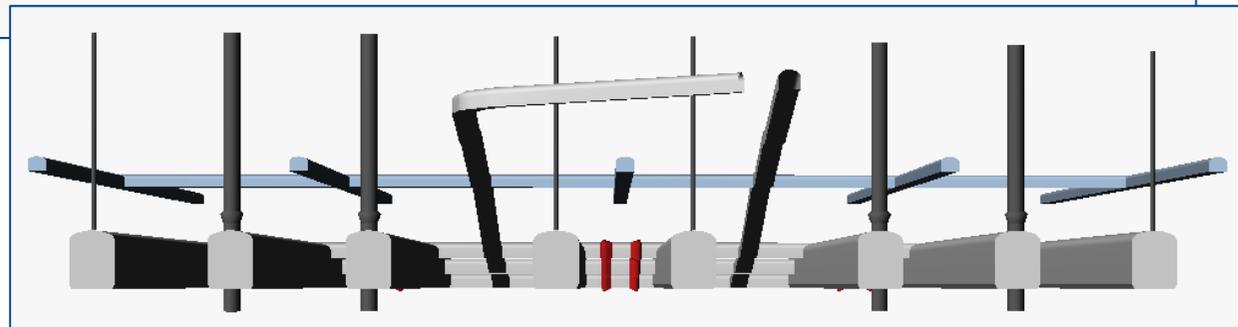
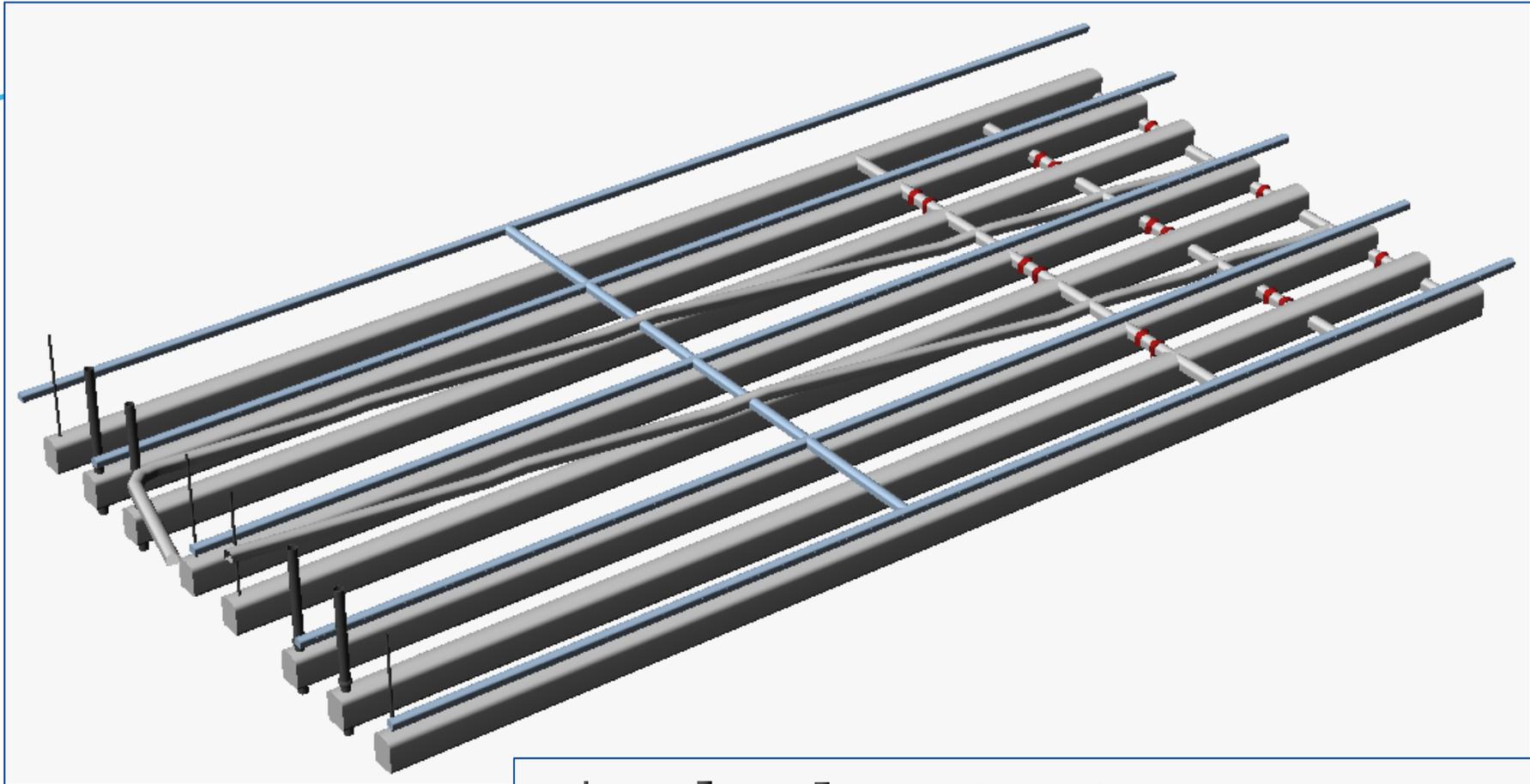
# SOMMAIRE

- 
- A thick, light blue curved line that starts on the left side of the slide, rises to a peak in the middle, and then descends towards the right side.
1. Contexte
  2. Méthodologie
  3. Exemple d'application
  4. Conclusions

## CONTEXTE – DIMENSIONS DES OUVRAGES

- ❑ Demande Client pour de fortes capacités de stockage ( $V_{\text{utile}} = 1 - 3 \text{ Mm}^3$ )
  - stratégique (principalement pétroles bruts en Chine et en Inde, GPL au Japon)
  - pétrochimique (GPL en Chine)
  - commerciale (Singapour, divers produits)
  
- ❑ Section des cavités et linéaires excavés de plus en plus grands
  - $S \sim 400 - 600 \text{ m}^2$  ( $H = 25 - 30 \text{ m}$  ;  $W = 18 - 20 \text{ m}$ )
  - $L = 3 - 6 \text{ km}$
  - Excavation des sections en 3 à 4 passes: 1 galerie tête et 2 à 3 stross

# CONTEXTE – DIMENSIONS DES OUVRAGES

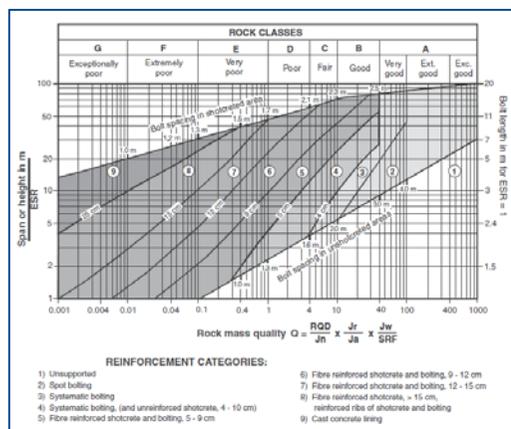




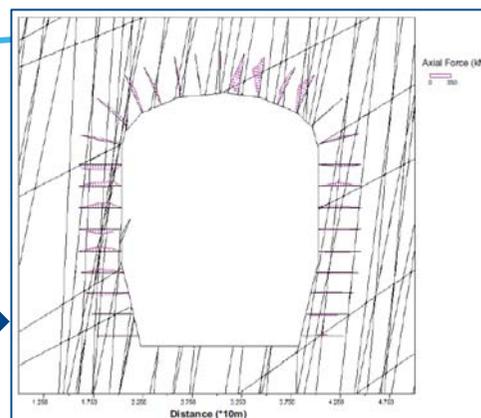
## CONTEXTE – STABILITE

- ❑ Modes de rupture principalement induits par les structures préexistantes
  - profondeurs relativement faibles (entre 60 m et 180 m)
  - contraintes géostatiques variables ( $S_H / S_V \sim 2$  à 4)
  - matrice à forte résistance ( $R_c \sim 90 - 180$  MPa)
  - qualité du massif globalement de Médiocre à Très Bonne (au sens de l'indice Q du NGI)
  - milieux fissurés (discontinus)
  - anisotropie modérée du comportement
  - désaturation du massif prohibée → pression interstitielle dans les discontinuités
  
- ❑ Stabilité assurée uniquement par béton projeté / boulons (pas de voile béton coffré ni de cables)
  - contexte a priori propice à l'application de méthodes empiriques de type NGI ou équivalente pour le dimensionnement du support/renforcement en phase de conception préliminaire

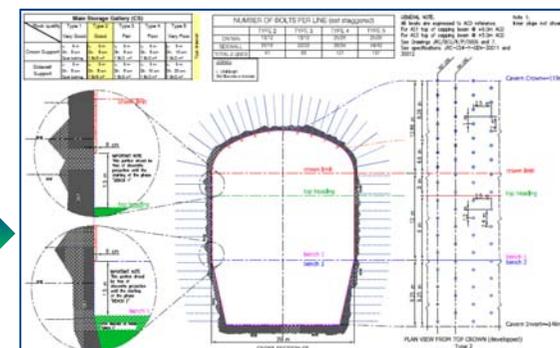
# METHODOLOGIE – DIMENSIONNEMENT SUPPORT



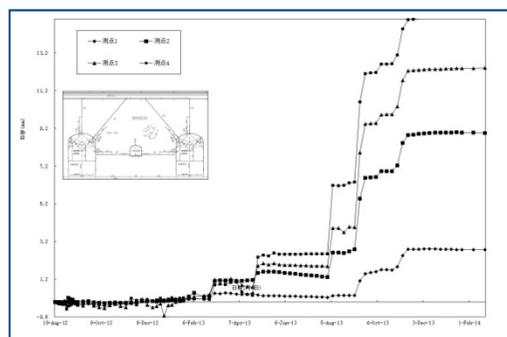
Méthode empirique / REX  
Jugement de l'ingénieur



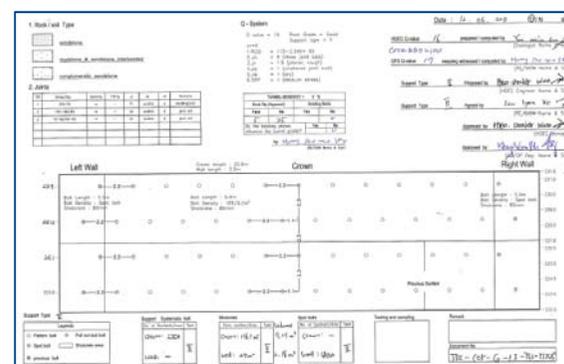
Validation par le calcul



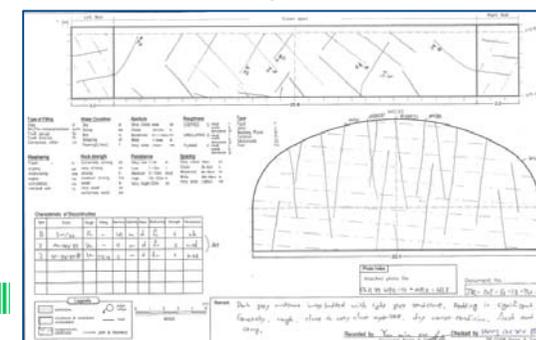
Définition du support en fonction de classes de roches



Suivi, instrumentation



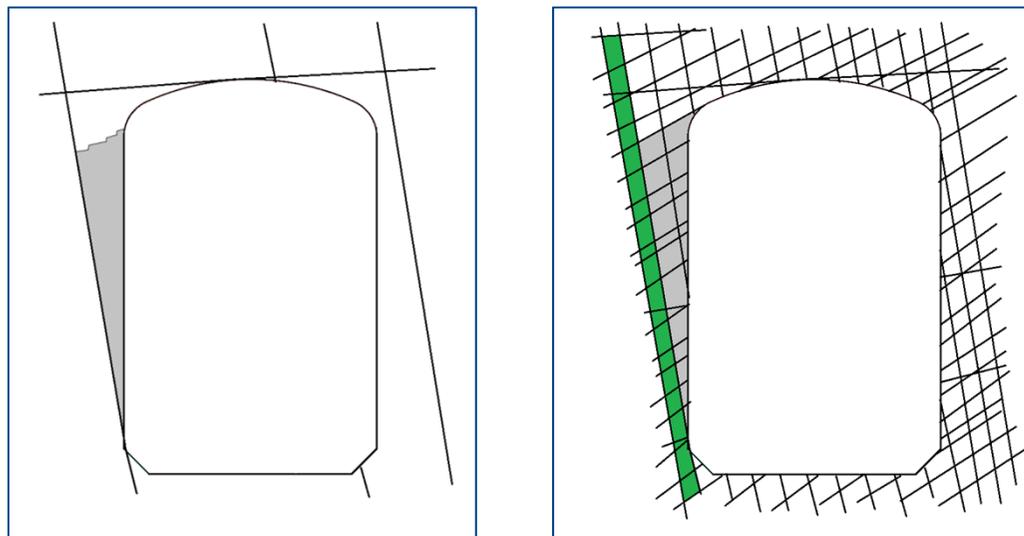
Mise en place du support



## METHODOLOGIE – DIMENSIONNEMENT SUPPORT

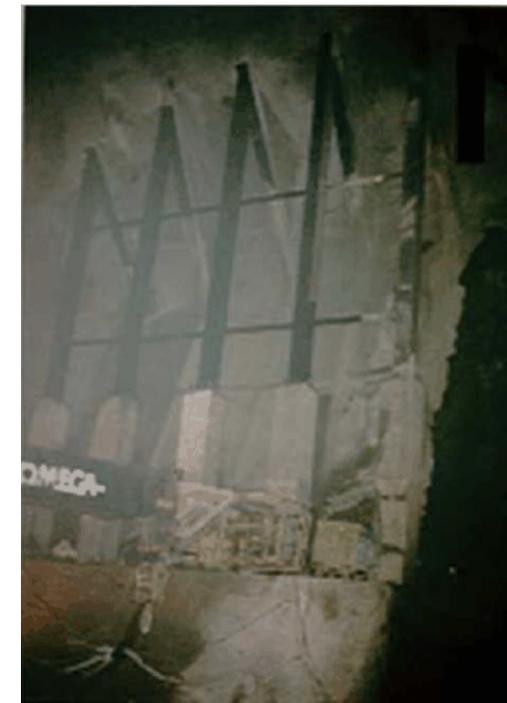
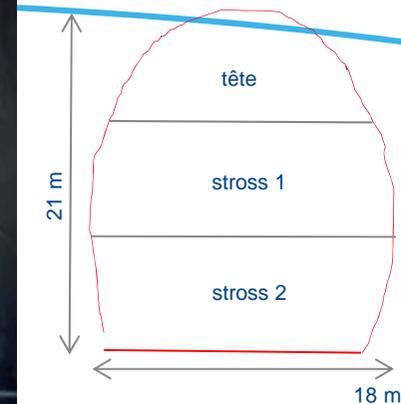
- ❑ Bons résultats sauf cas exceptionnels → méga-blocs (typiquement blocs rencontrés en parement et couvrant la galerie de tête et un à plusieurs stross)
- ❑ Barton, et al. 1974

*Cases sometimes arise where unfavourably dipping shear zones delineate exceptionally large unstable wedges requiring special support...In view of such problems, no attempt should be made to relate the relevant rock mass quality  $Q$  to special-purpose support...*



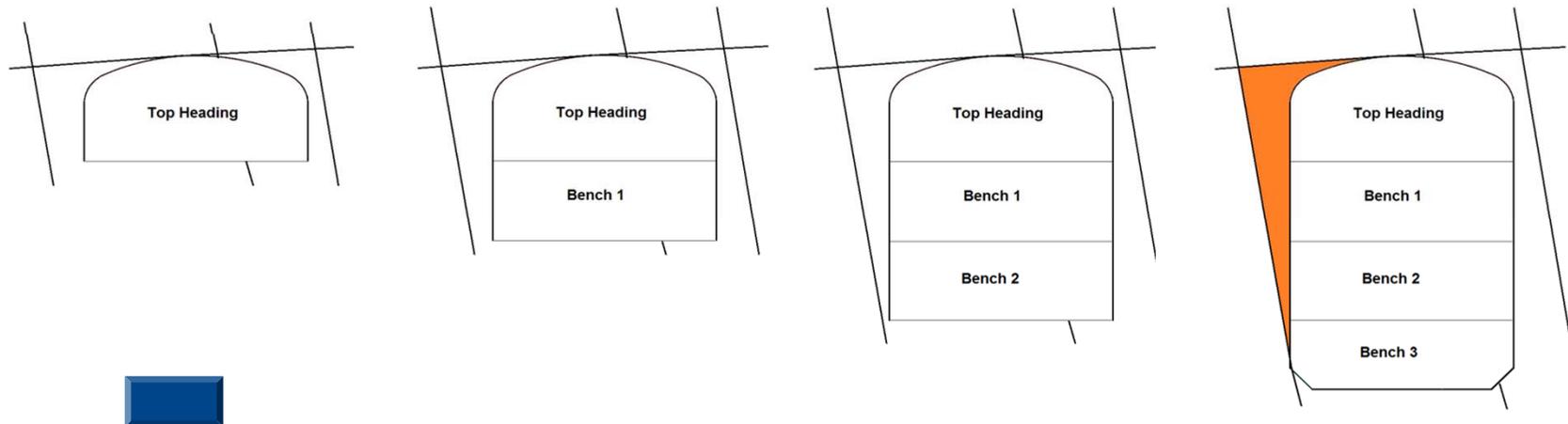
## CAS REEL – ULSAN (COREE DU SUD)

- ❑ Stockage de GPL (550,000 m<sup>3</sup>)
- ❑ Section des cavités  $S = 342 \text{ m}^2$
- ❑ Profondeur 119 m (C3) et 63 m (C4)
- ❑ Début des travaux: 1984
- ❑ Mise en exploitation: 1988
  
- ❑ Nature de la roche: andésite et grès métasédimentaire
- ❑ Qualité de la roche: Bonne à Très Bonne; quelques passages de failles
  
- ❑ Chute de blocs en paroi de la cavité C4 pendant l'excavation du second stross
- ❑ 4 mois supplémentaires sur le chemin critique du planning pour les travaux de réparation/confortement
  
- ❑ Besoin de données structurales précises
- ❑ Indices données par les hors-profilis



## ❑ l'aléa « mega-blocs »

- ❑ l'anticiper → suffisamment à temps
- ❑ l'identifier → interprétation des données structurales, méthode statistique inadaptée
- ❑ l'évaluer → risque d'instabilité, efficacité du support défini en phase de conception
- ❑ le traiter → mise en place d'un support adéquat et d'un suivi (instrumentation)

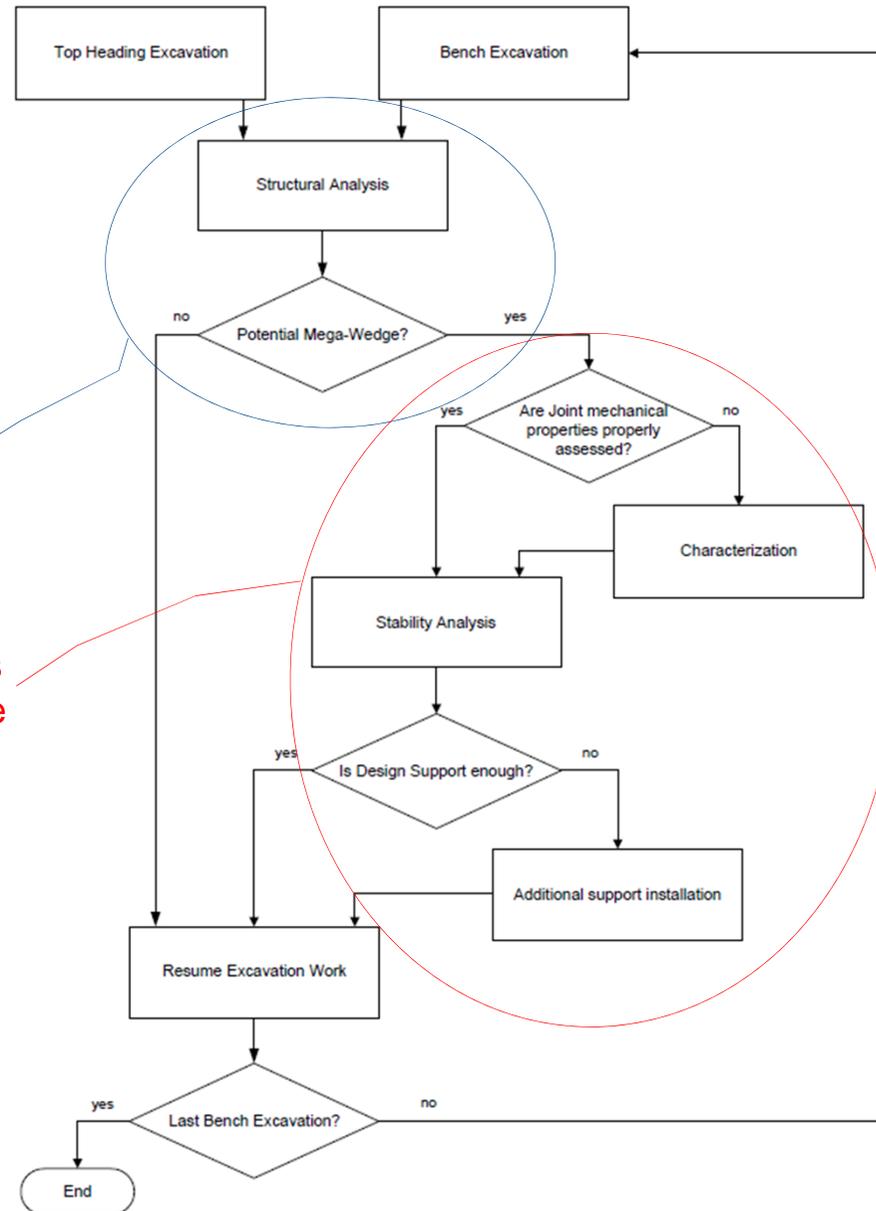


# METHODOLOGIE – DIMENSIONNEMENT SUPPORT

Organigramme d'évaluation et de traitement de l'aléa « méga-blocs »:

Géométrie  
Géologie

Méca. roches  
Géotechnique





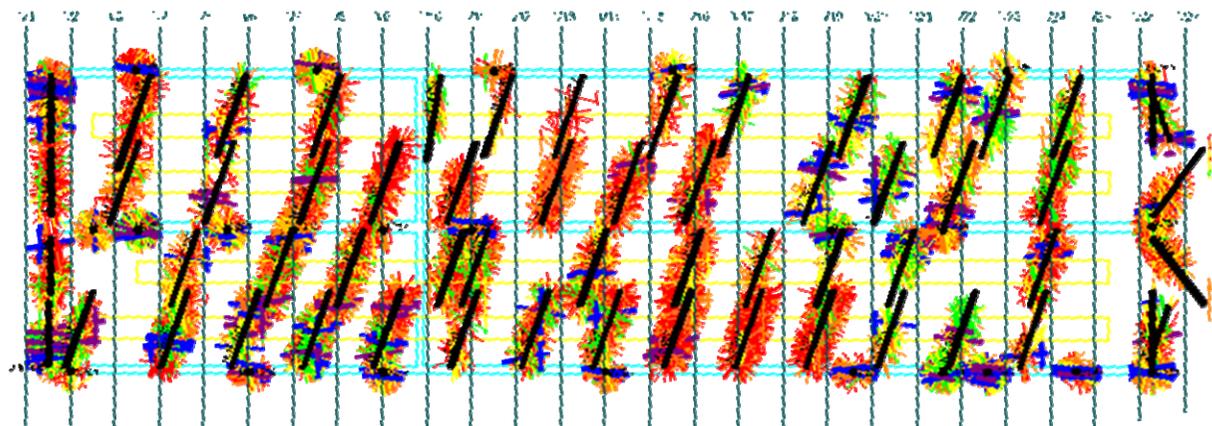
# APPLICATION – MANGALORE (INDE)

## ☐ Données utiles pour identification des méga-blocs

- Compilation des levés géologiques et structurales

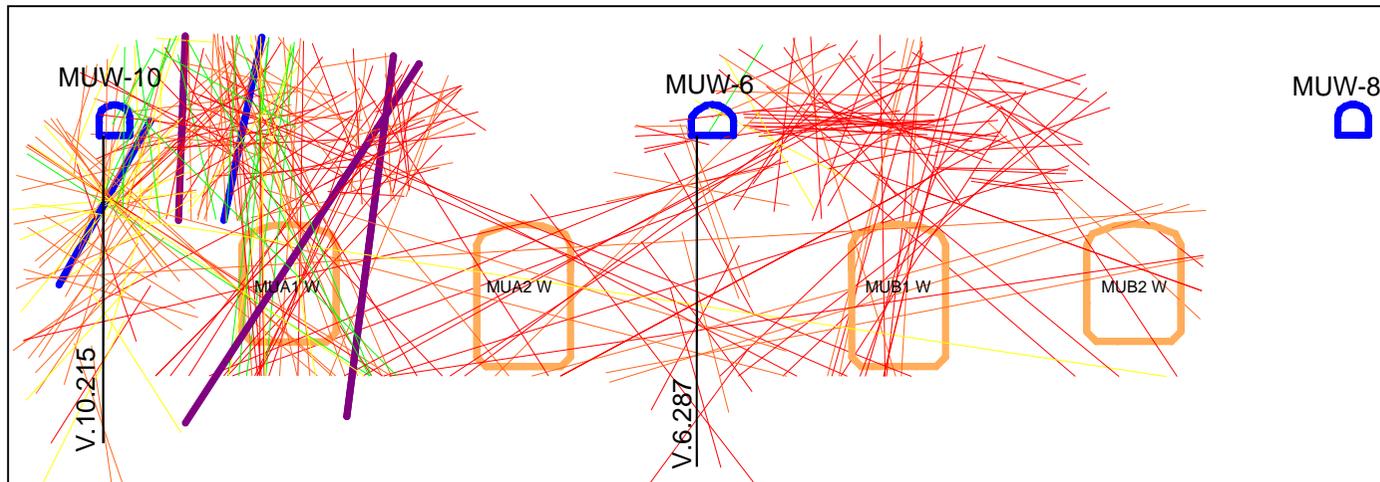


- Données issues des BHTV dans les forages du système de rideau d'eau



## APPLICATION – MANGALORE (INDE)

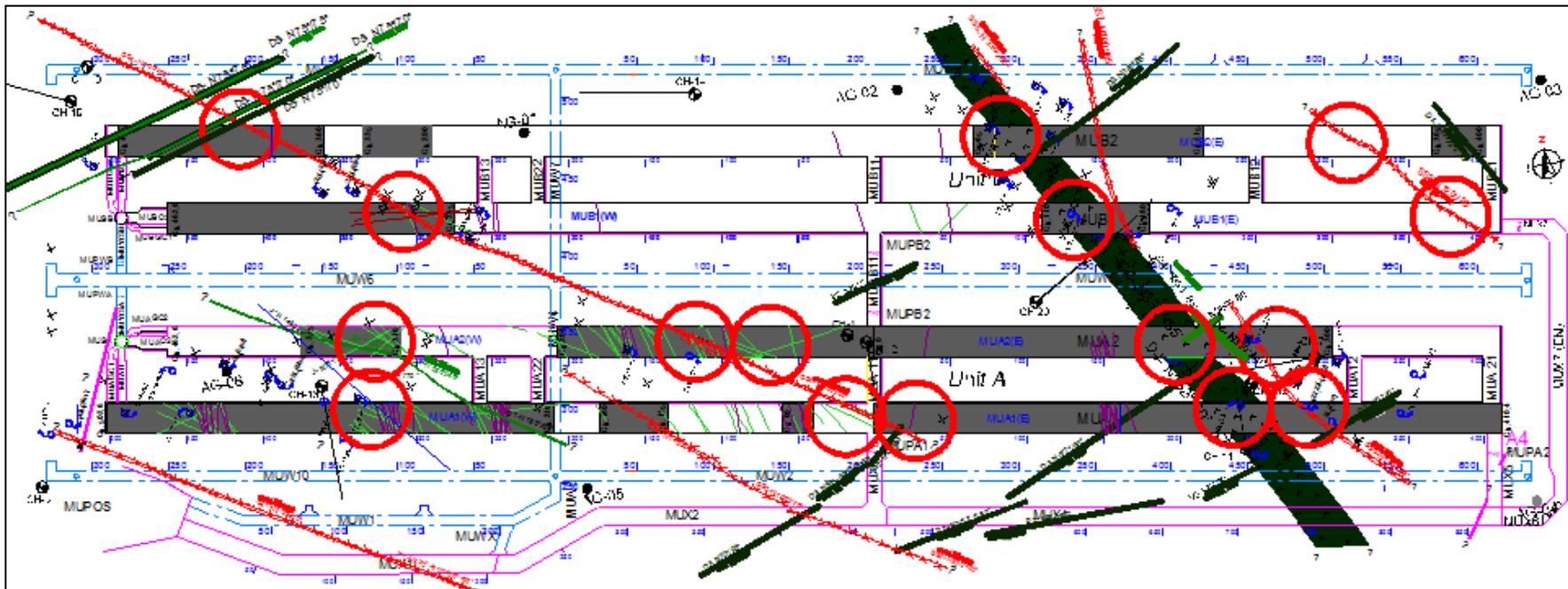
- ❑ Toutes les données acquises ne sont pas nécessairement utiles pour l'objectif fixé



- ❑ Une synthèse des données est nécessaire pour une sélection des structures principales susceptibles de générer des méga-blocs:
  - caractéristiques (persistance, remplissage, indice de cisaillement, etc)
  - orientation par rapport aux cavités (azimut et pendage)

# APPLICATION – MANGALORE (INDE)

- Identification des zones critiques effectuée après la fin de l'excavation des galeries de têtes puis du stross 1 puis du stross 2



## APPLICATION – MANGALORE (INDE)

- ❑ Calcul de stabilité des méga-blocs identifiés
- ❑ Evaluation du support/renforcement à mettre en place avant excavation de la phase suivante
- ❑ Instrumentation et suivi de la zone critique

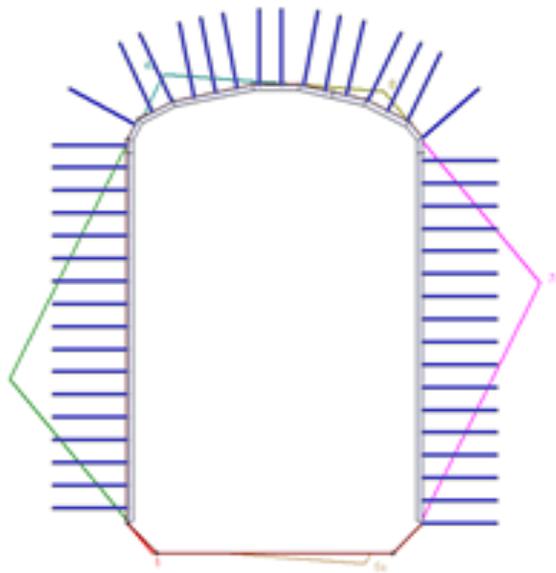


Schéma de boulonnage défini à partir de la qualité du massif (avant analyse méga-blocs)

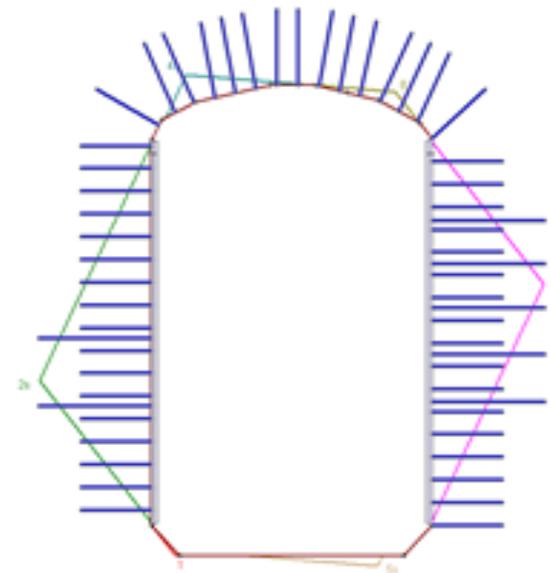
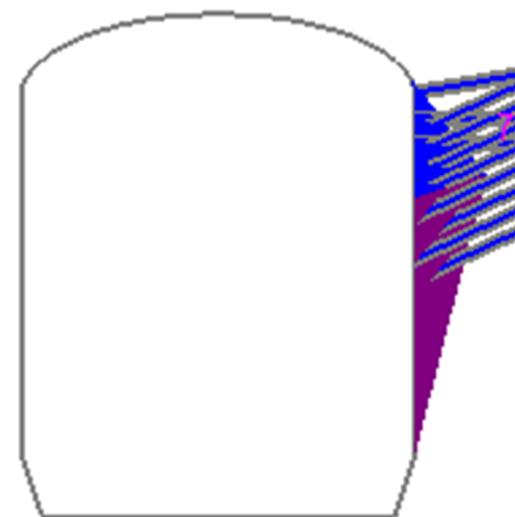
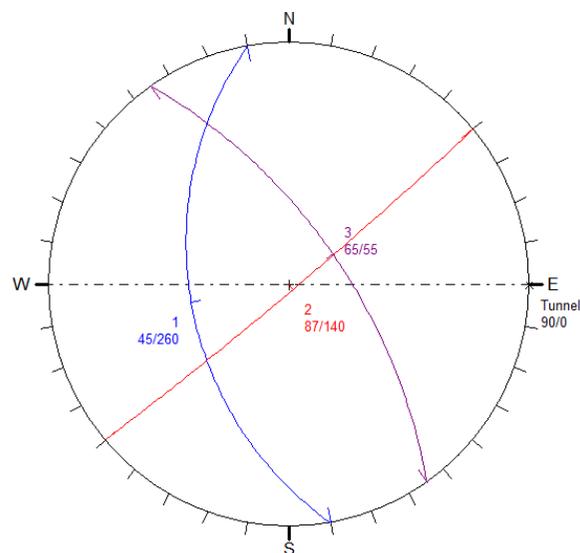
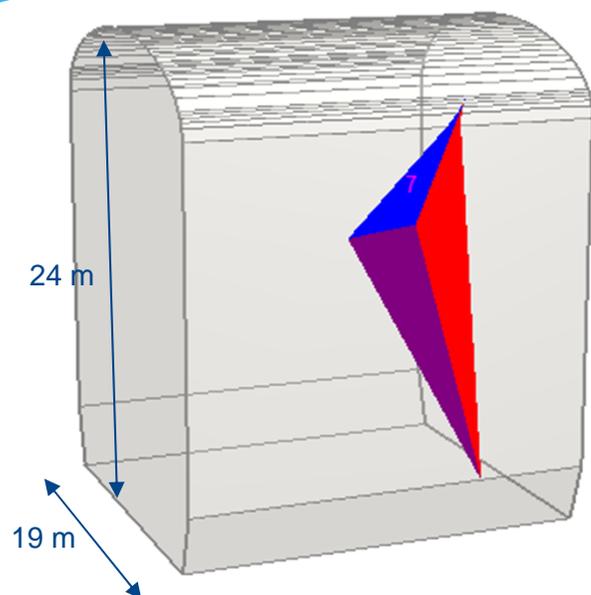


Schéma de boulonnage nécessaire pour stabiliser les méga-blocs

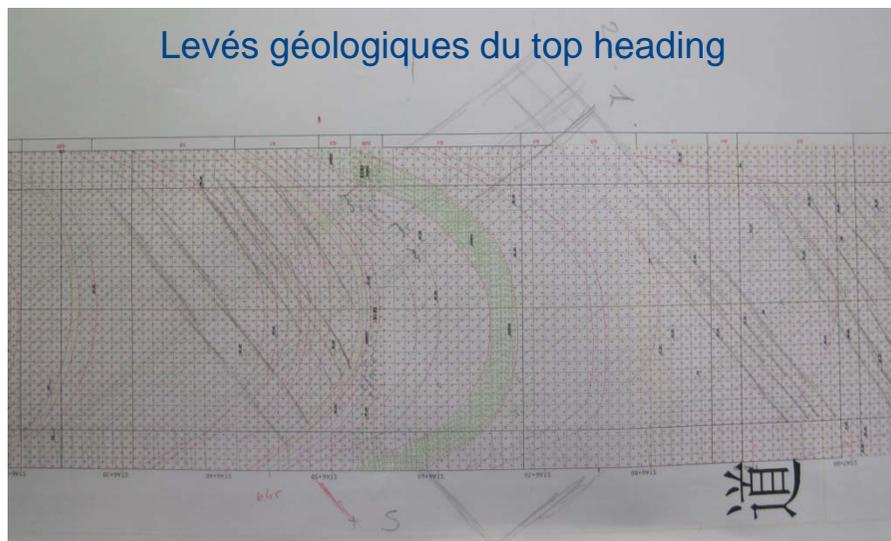
# APPLICATION – CHINE



Block weight = 163 tonnes  
 Block volume = 60 m<sup>3</sup>  
 Failure mode: sliding on J3

Rockbolt = 6 m long  
 Spacing = 1m x 1m  
 Inclination = 20° / hor  
 Support pressure = 15 tonnes/m<sup>2</sup>

Levés géologiques du top heading



# CONCLUSIONS

- ❑ Attention à une application aveugle des méthodes empiriques
- ❑ Cas « méga-bloc » reste exceptionnel mais impact majeur
- ❑ Expérimenté en cavités (d'autres aussi à leur dépend)
- ❑ Méthodologie déterministe mise en place intégrant les différents intervenants pendant la construction (le Concepteur, l'Entreprise, le Maître d'Ouvrage)
- ❑ Synthèse des données acquises à des jalons particuliers (fin de galerie de tête)
- ❑ Application sur plusieurs sites en construction

TOP HEADING			(TOP HEADING +) BENCH								
Strike perpendicular to cavern axis			Strike parallel to cavern axis Angle between strike and cavern axis								
Dip: 0 - 20	Dip: 20 - 45	Dip: > 45	Almost nil			5° to 25°			> 25°		
			Dip: 90	Dip: 70 - 80	Dip: 45 - 65	Dip: 90	Dip: 65 - 85	Dip: 45 - 65	Dip: 90	Dip: 70 - 85	Dip: 45 - 65
Low	High	No	No	High	Low	No	V. High	No	No	Low	No

## CONCLUSIONS

- ❑ Évaluation des caractéristiques mécaniques de la discontinuité mise en jeu dans le mode de rupture (cisaillement)
  - ❑ Essais au laboratoire (frottement, dilatance) → prélèvement d'échantillons intacts, effets d'échelle
  - ❑ Essais in-situ → difficiles à mettre en place
  - ❑ Effets de la pression interstitielle, de l'eau
  - ❑ ...
  - ❑ Etude de sensibilité nécessaire pour pallier au manque de données et aux incertitudes
  
- ❑ Outils de modélisation de stabilité de blocs
  - ❑ Nécessite un outil simple d'utilisation
  - ❑ Géométrie 3D (cavités, intersections, forme des méga-blocs)
  - ❑ Prise en compte des phénomènes mécaniques/hydomécaniques (champ des contraintes agissant sur les épontes et champ de pression dans la discontinuité)
  - ❑ 3DEC (ITASCA) puissant mais a priori difficile d'utilisation sur le « chantier »
  - ❑ Unwedge (Rocscience), GAFIS (ENSMP) faciles à utiliser mais fortes limitations (géométrie, calcul approximatif des contraintes agissant sur le bloc)



**Merci pour votre attention...**