

# **Les cavernes du projet hydroélectrique Baihetan (Chine)**

**CFMR, 4 juin 2015**

**G. T. Meng, H.C. Zhu, Y.S Zhu**  
*Itasca Consulting China Ltd., Wuhan, Chine*

**D. Billaux**  
*Itasca Consultants SAS, Ecully, France*

# Le développement de centrales hydroélectriques souterraines en Chine

1. Conditions géologiques complexes
  - Contexte tectonique
  - Topographie de gorges
2. Difficultés liées à la mécanique des roches
  - Ruptures dues aux fortes contraintes
  - Echelle des projets: de la collecte de données à la conception des soutènements

# Baihetan: les cavernes en rive droite

1. Le projet
2. Les conditions mécaniques
3. Vérification de l'orientation des cavernes
4. Quelques points supplémentaires
5. Conclusion

# Le projet



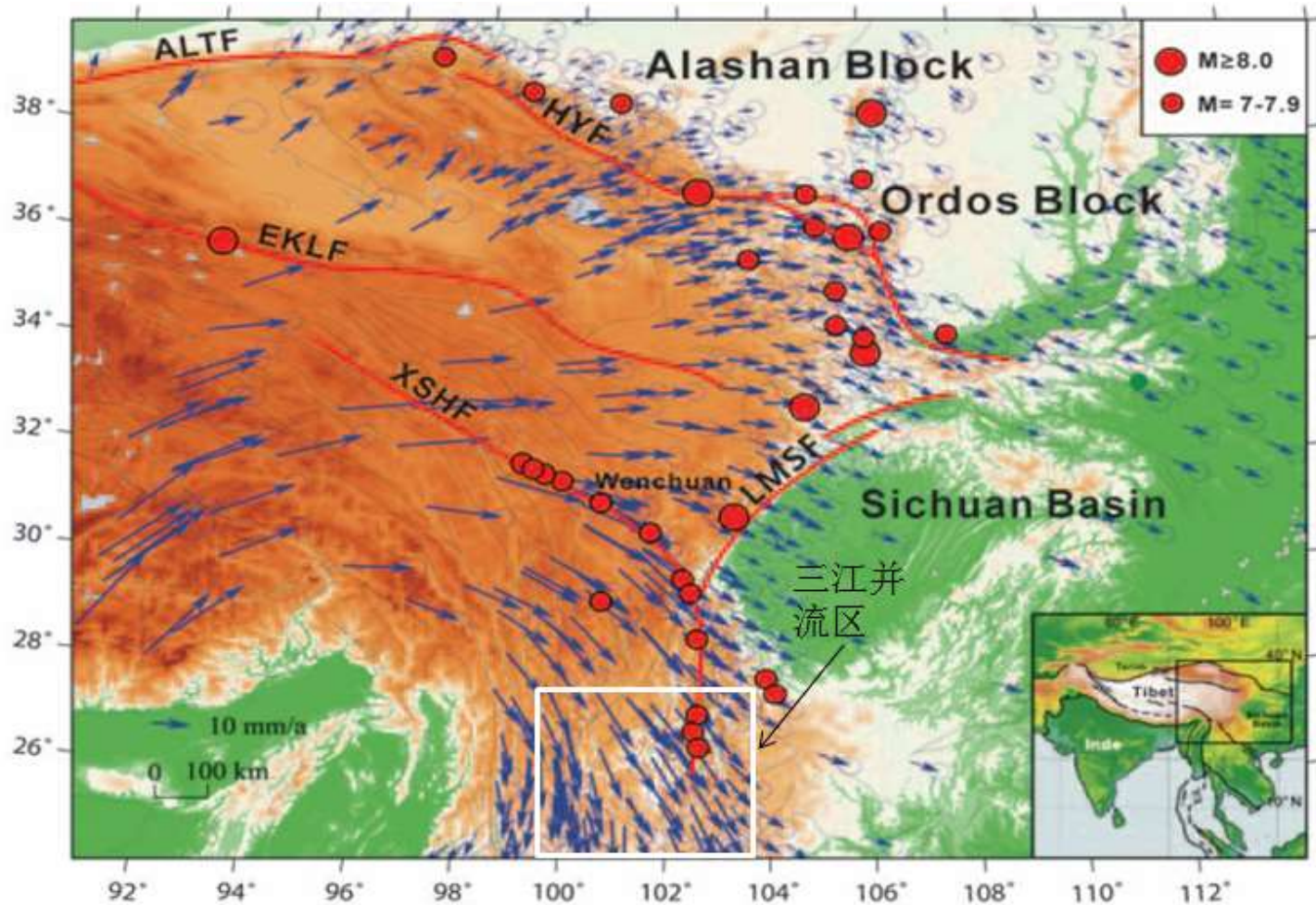
Barrage de hauteur 277m;

Deux cavernes jumelles dans les deux rives. Taille: 438m par 34m par 87m (hauteur)

Capacité: 16 unités de près de 1 GW

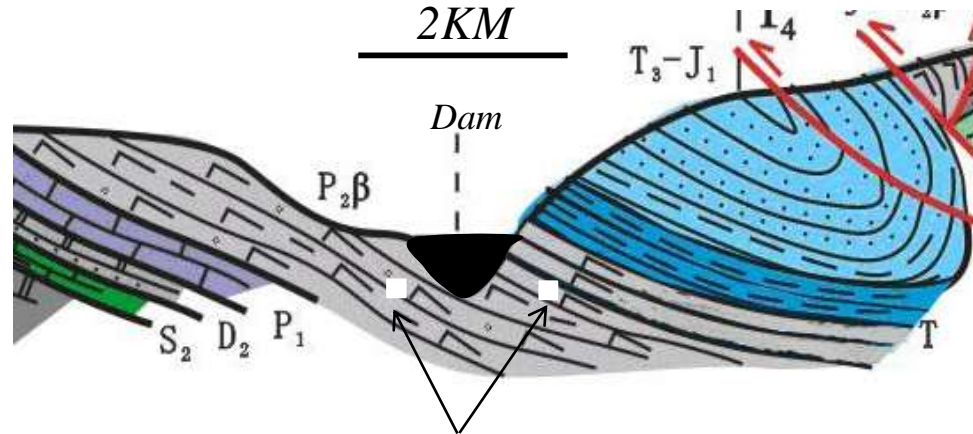
**BHT**

# Tectonique actuelle



# Géologie, et position des cavernes

Coulées basaltiques, avec zones de cisaillement le long du pendage



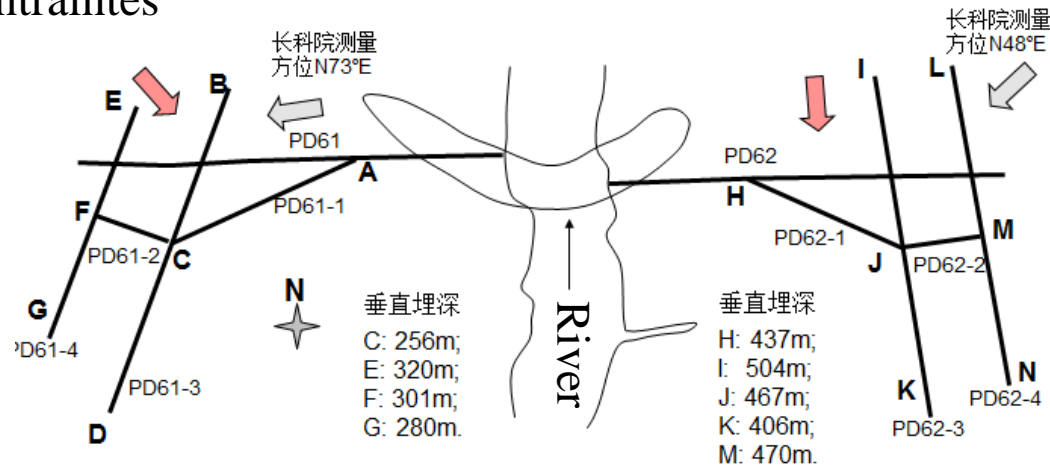
Cavernes

Fortes Variations:

Des propriétés

Des orientations de contraintes

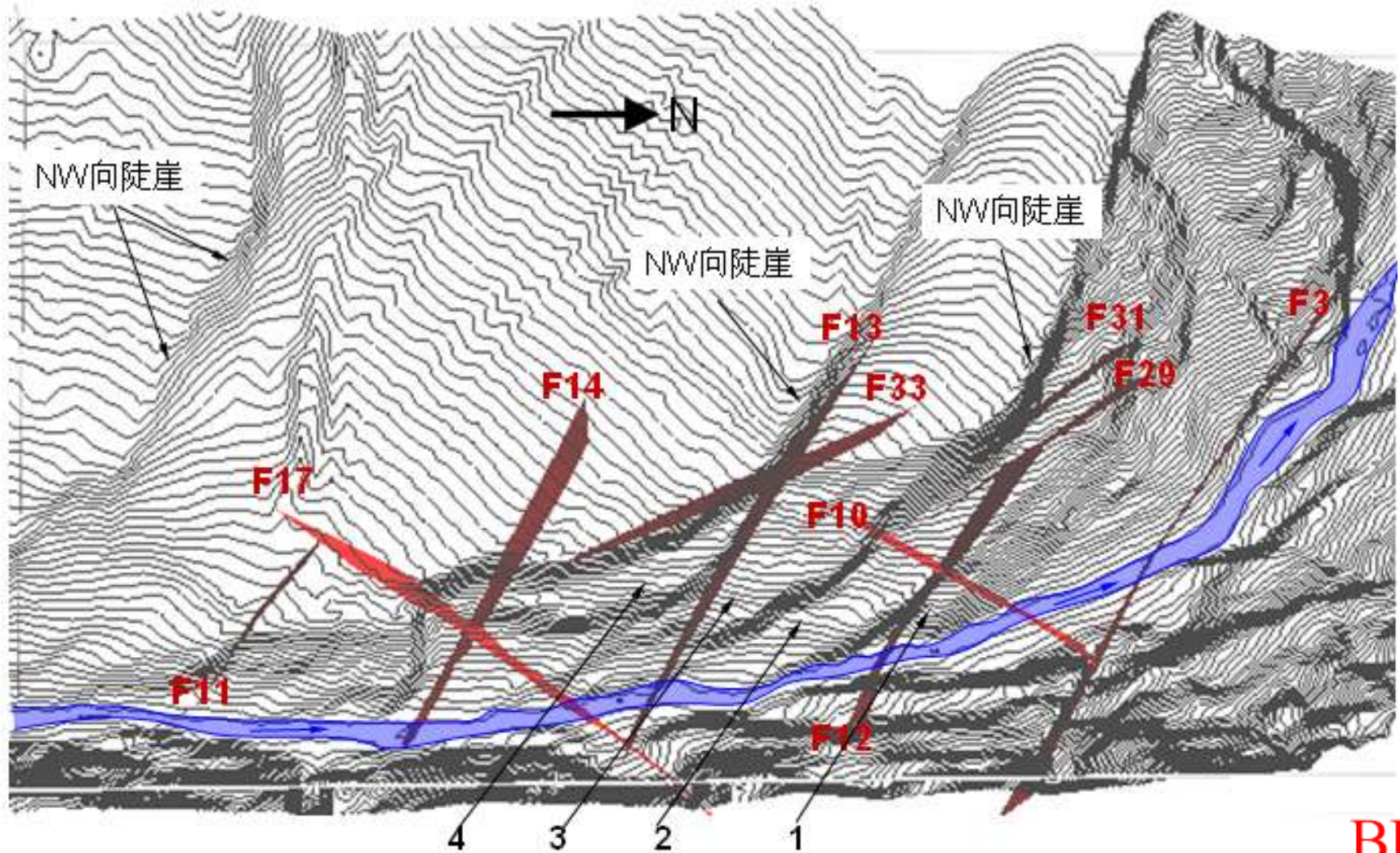
Caverne et galeries en rive gauche



Caverne et galeries en rive droite

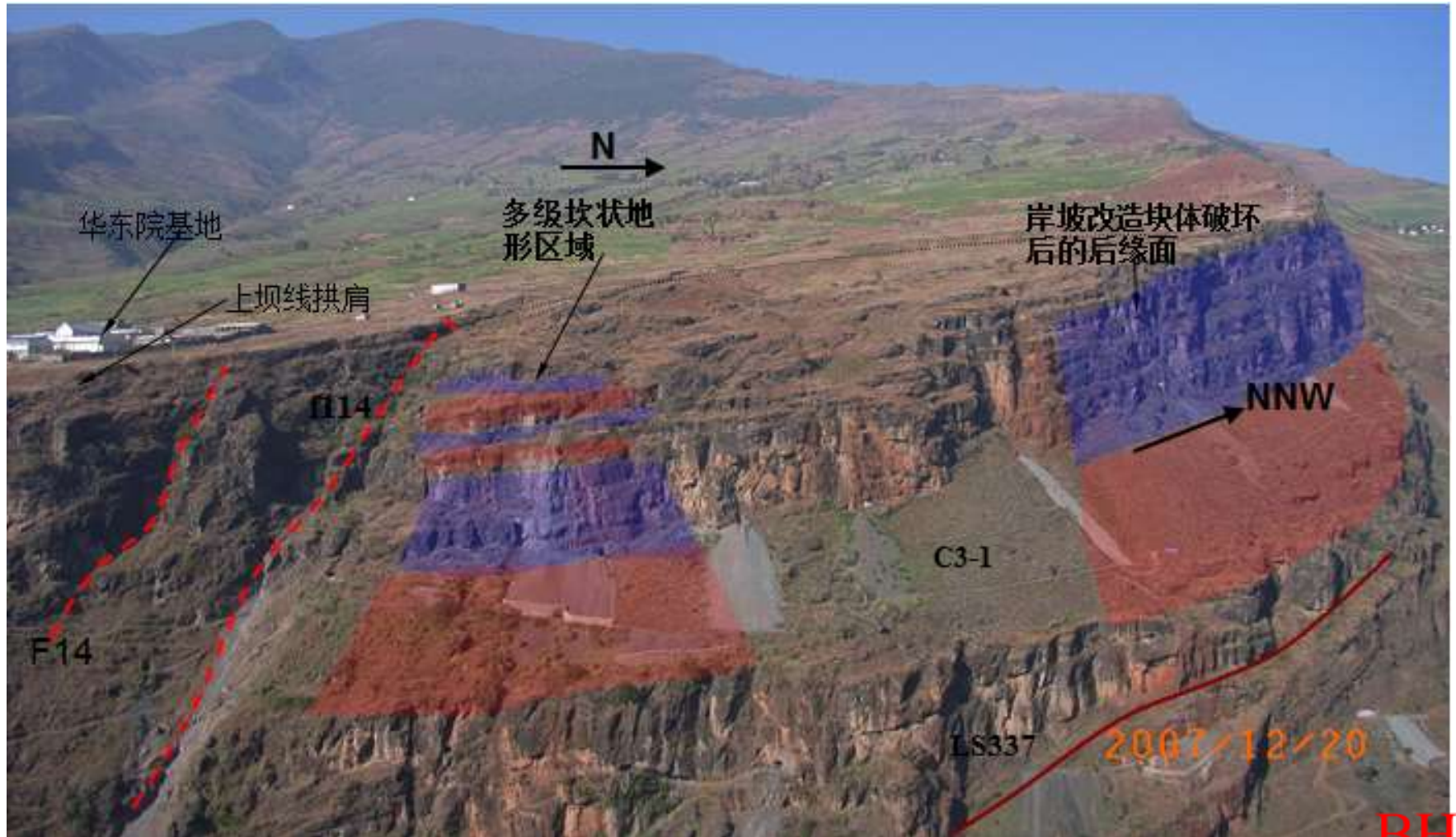
BHT

# Topographie et failles



BHT

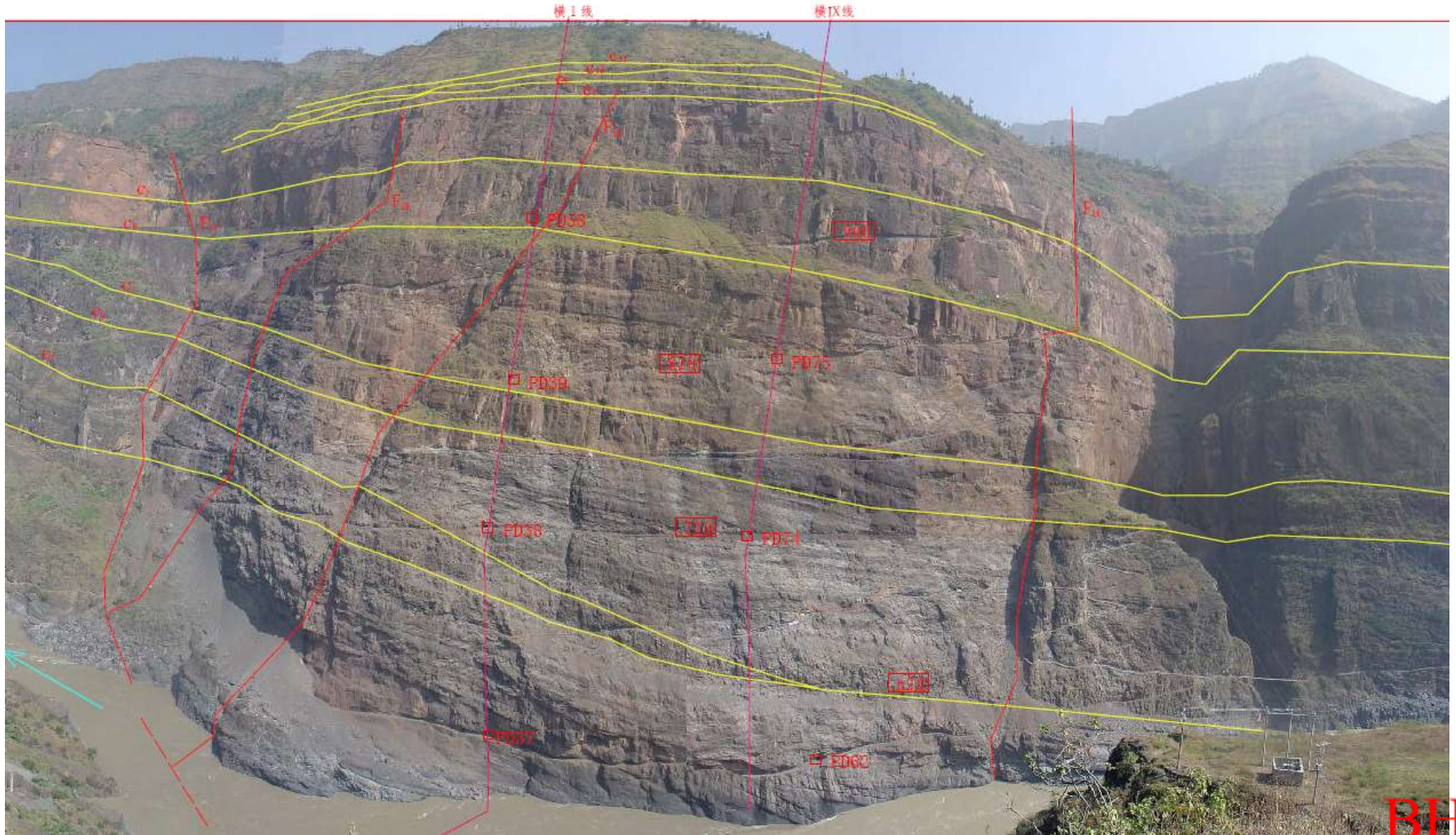
# La rive gauche



BHT

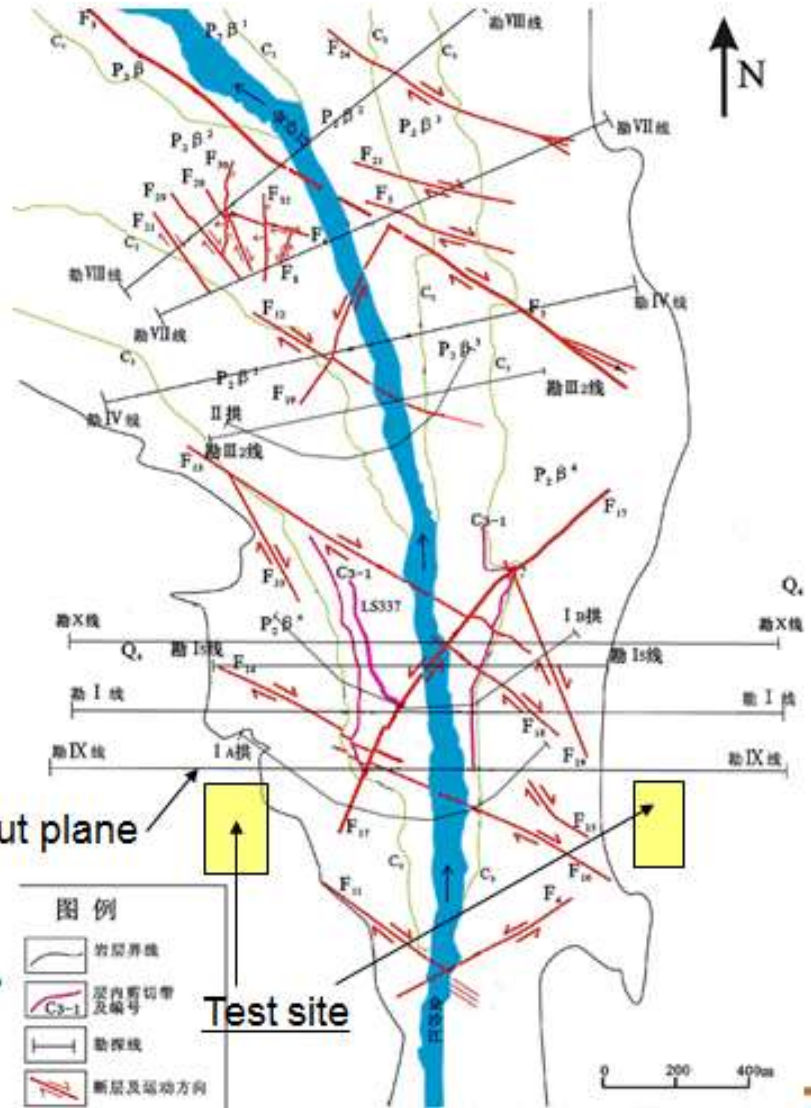
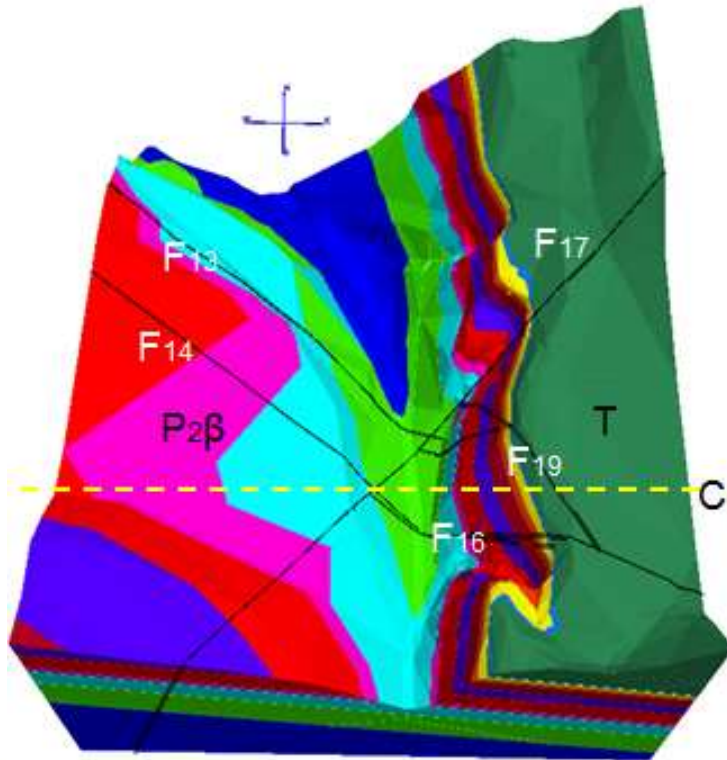
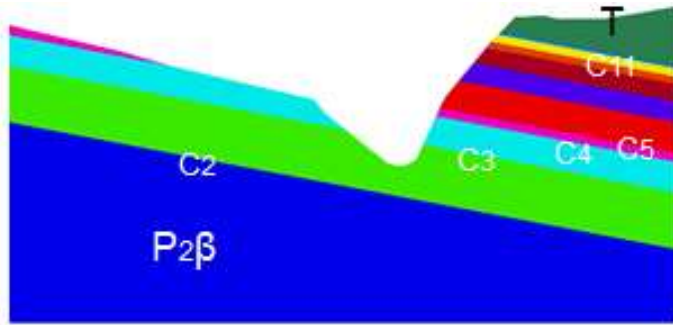


# La rive droite



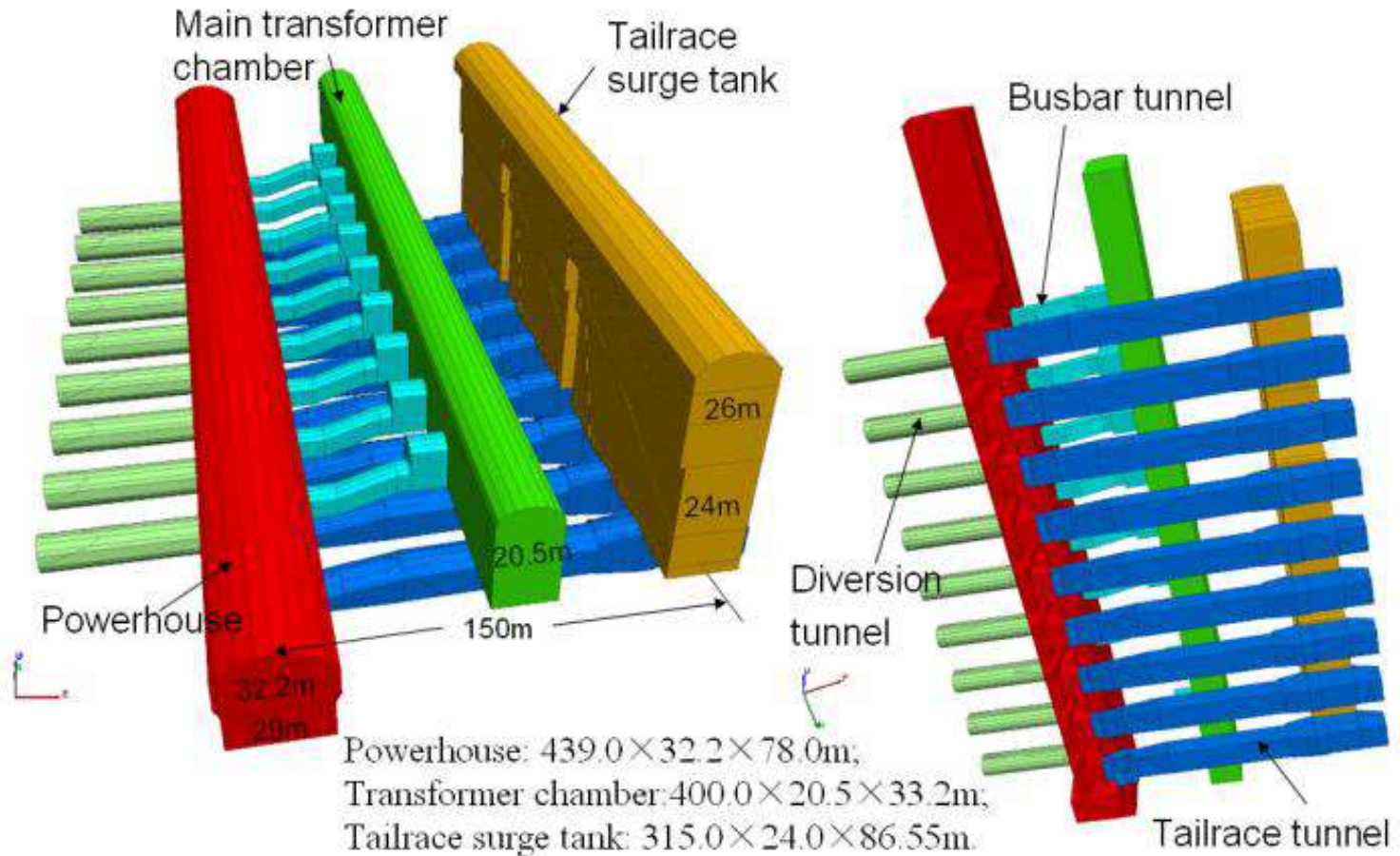
BHT

# Géologie, et position des cavernes

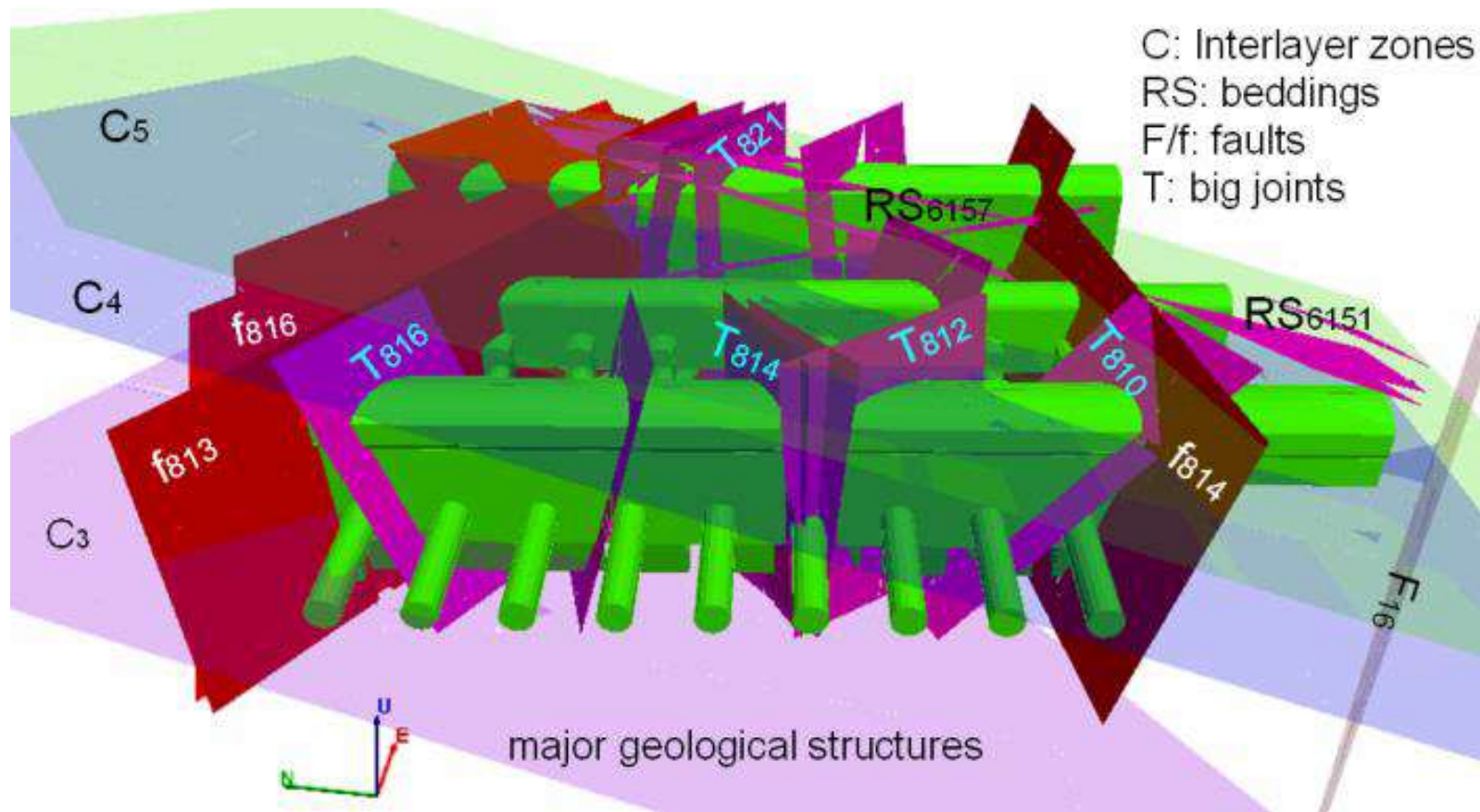


BHT

# Géométrie des cavernes



# Principales structures, caverne rive droite



# Contraintes en place

Régionales: compression NW-NNW

Profondeur 420 à 500m

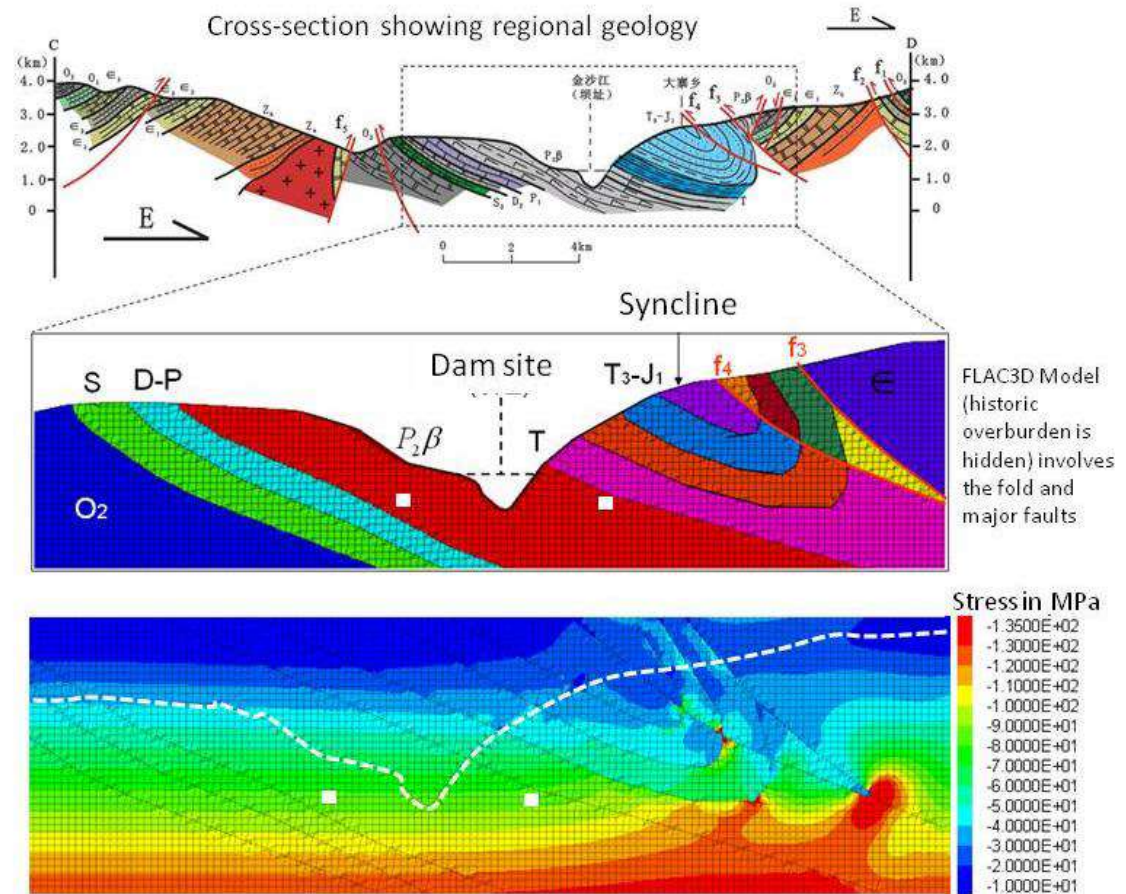
Sigma max: 26 MPa (16 MPa en rive gauche)

Fortes variations locales: tectonique, géologie, topographie

De nombreuses mesures, mais aussi prise en compte des observations en galeries d'accès

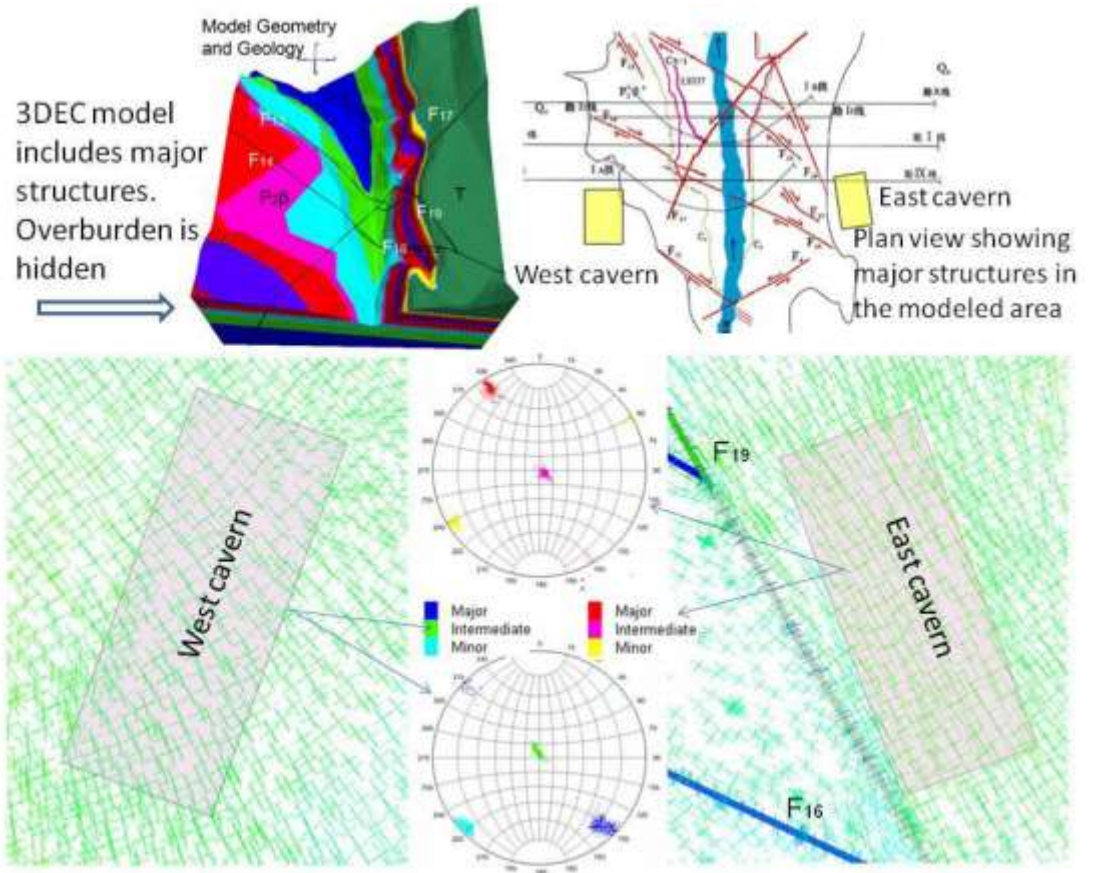
# Contraintes en place

Géologie:  
5° vers le nord  
en rive droite



# Contraintes en place

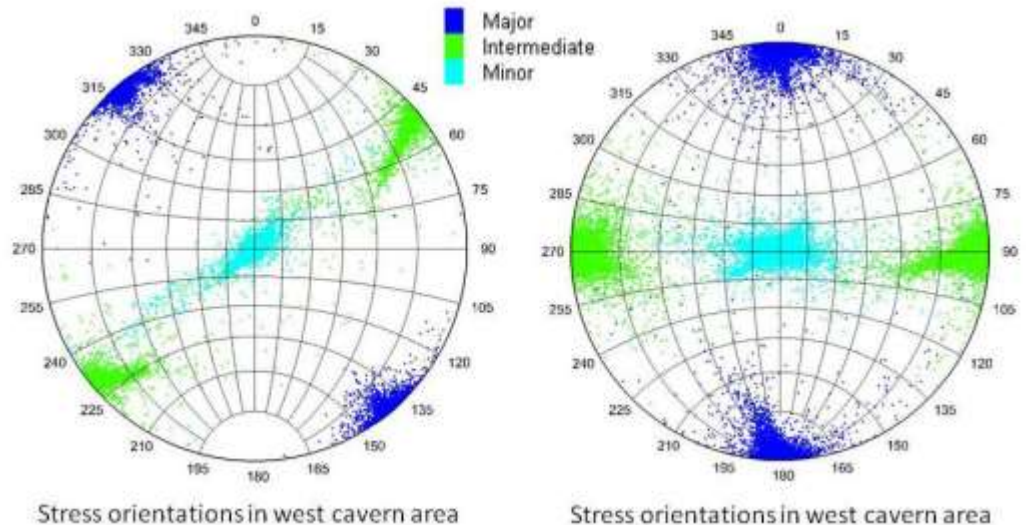
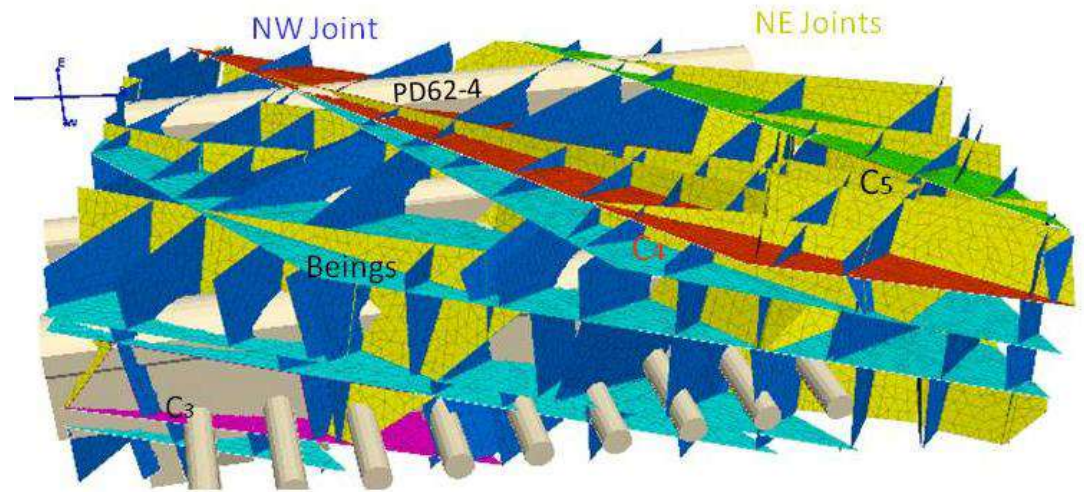
Structures:  
10° vers le  
nord en rive  
droite



# Contraintes en place

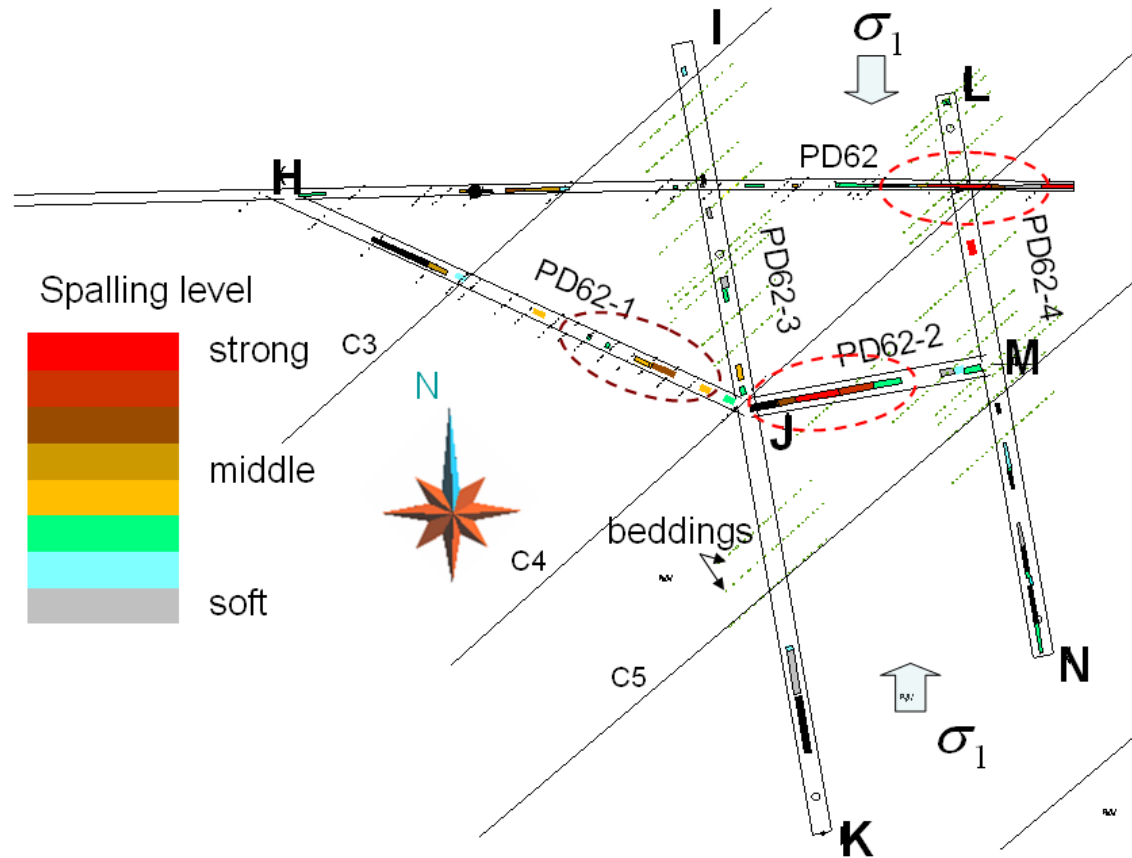
Structures,  
géologie,  
topographie:

NS en rive  
droite,  
N45W en rive  
gauche





# Contraintes en place, vérification



Écaillage dans les galeries d'accès (rive droite)

# Propriétés

Utilisation d'une loi basée sur le critère de Hoek-Brown

La loi d'écoulement dépend du confinement

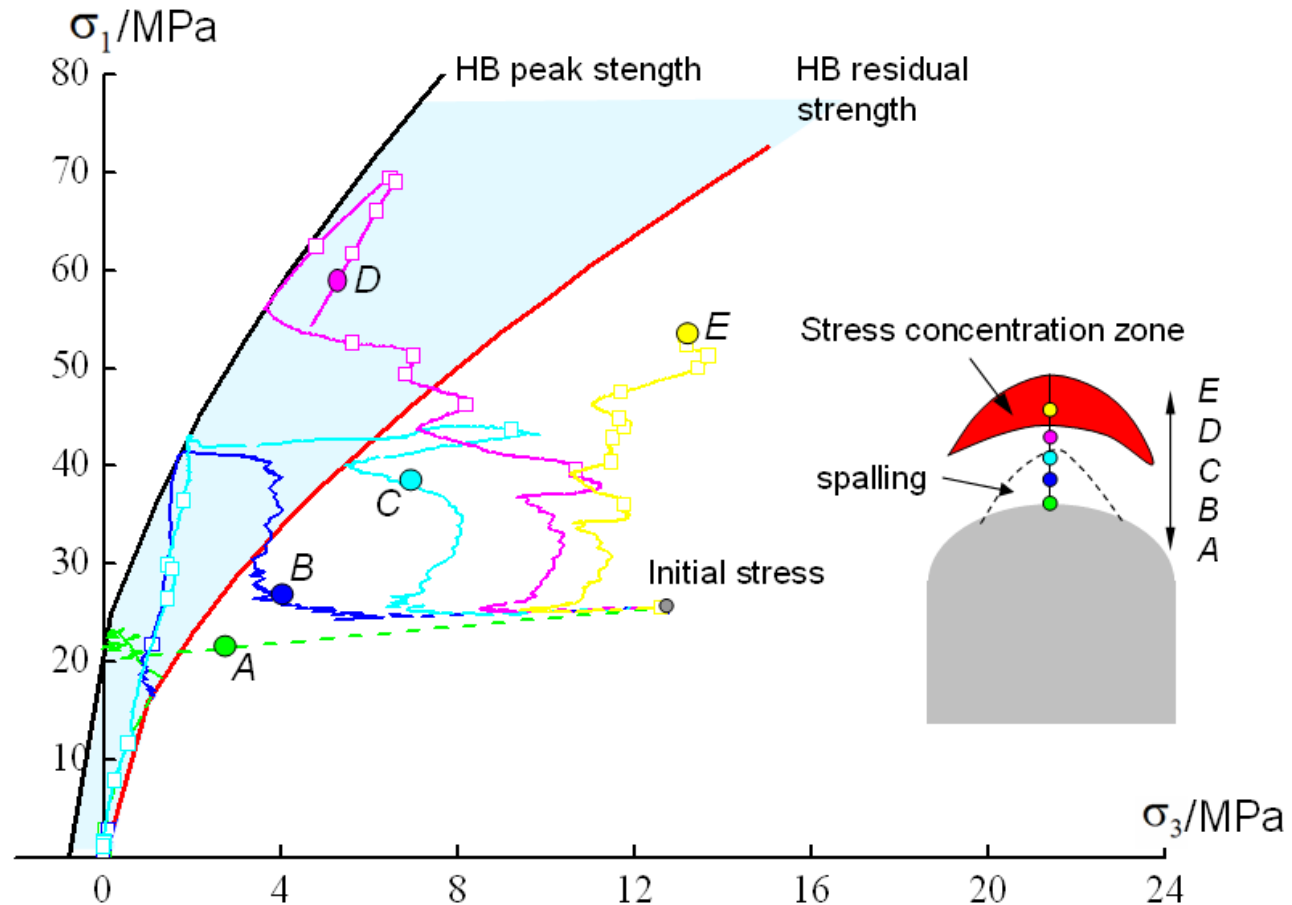
Procédure:

- Utilisation de la classification RMR
- Estimation empirique des propriétés
- Vérification numérique par la simulation des observations en galeries d'accès



# Propriétés

Modèle *UDEC*:  
Exemple de  
chemins de  
contrainte

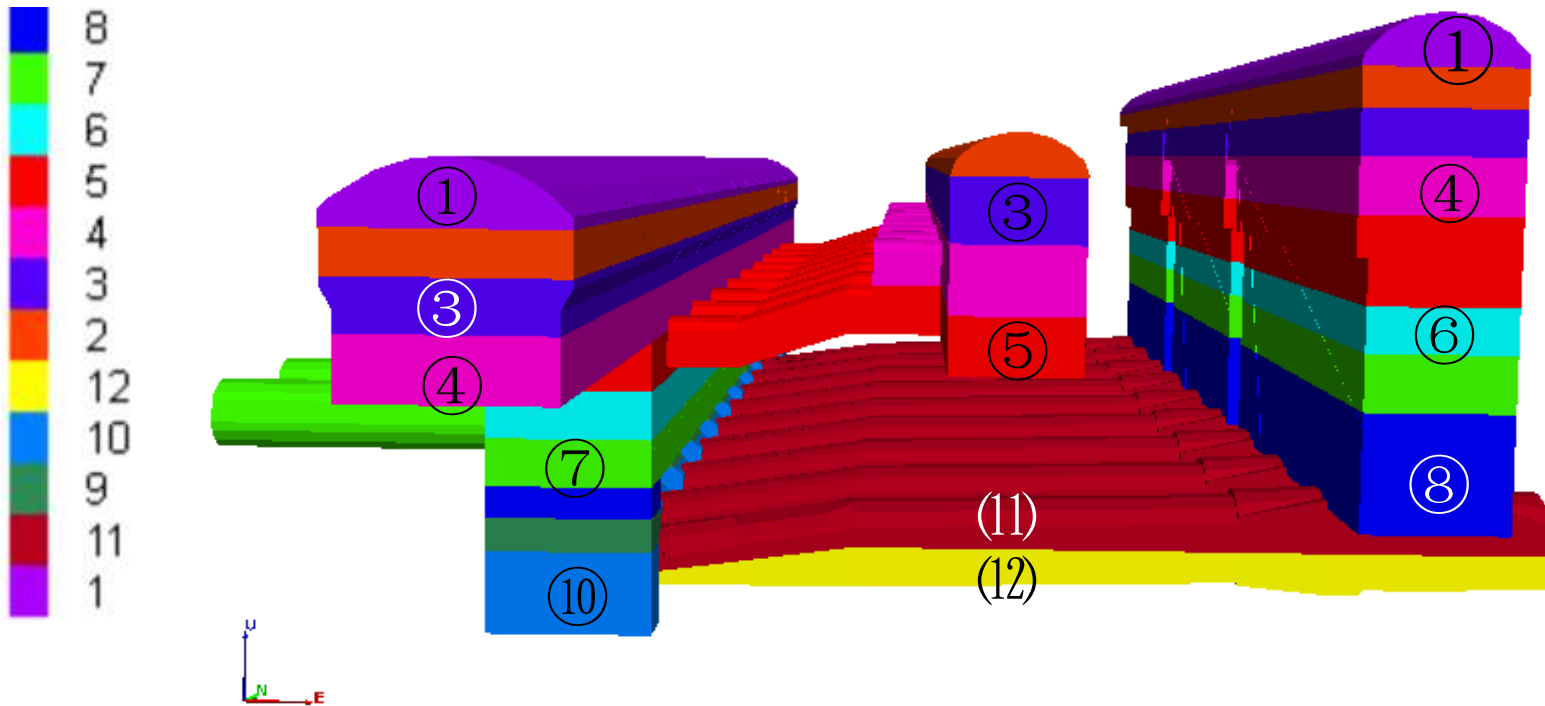


# Propriétés

Rock Unit	Density(MN/m <sup>3</sup> )	UCS(MPa)	GSI	mi	Depth(m)
Basalt	0.0275	150	70	17	280~500
Columnar Basalt	0.027	130	60	17	
Lava	0.027	100	65	9	

Structures	Kn (GN/m)	Ks (GN/m)	c(MPa)	$\Phi(^{\circ})$
Major shear zone	0.4~0.6	0.15~0.3	0.02~0.06	14~20
Fault(F <sub>16</sub> )	0.8	0.6	0.06	22
Shear Zone	1.2	1	0.1	24
Fracture	2	1.5	0.12	28
Large joint	5	3	0.15	30
Random joint	30	15	0.25	35
Columnar joint	100	50	0.4	55

# Séquence d'excavation



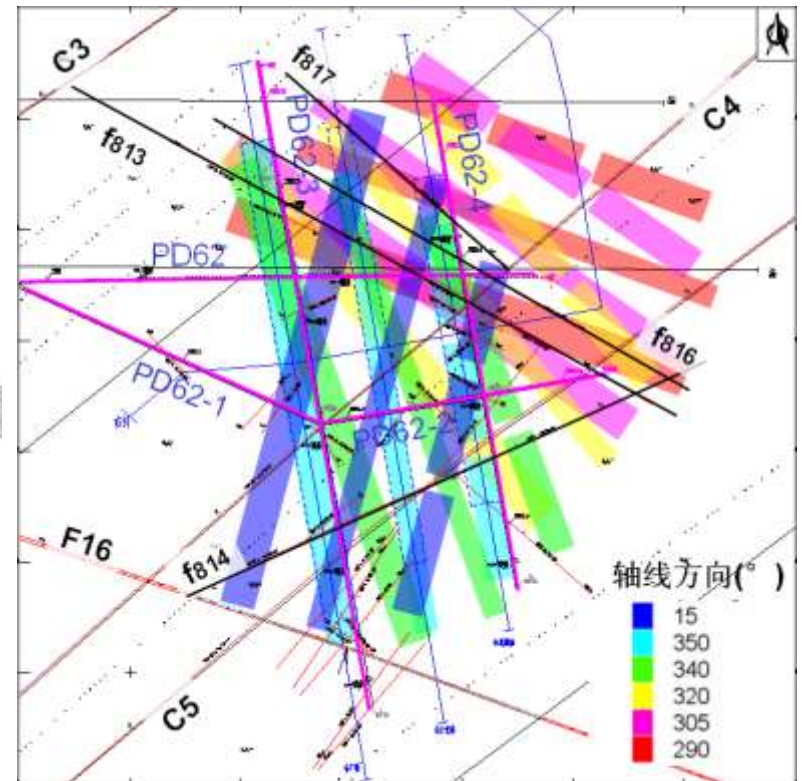
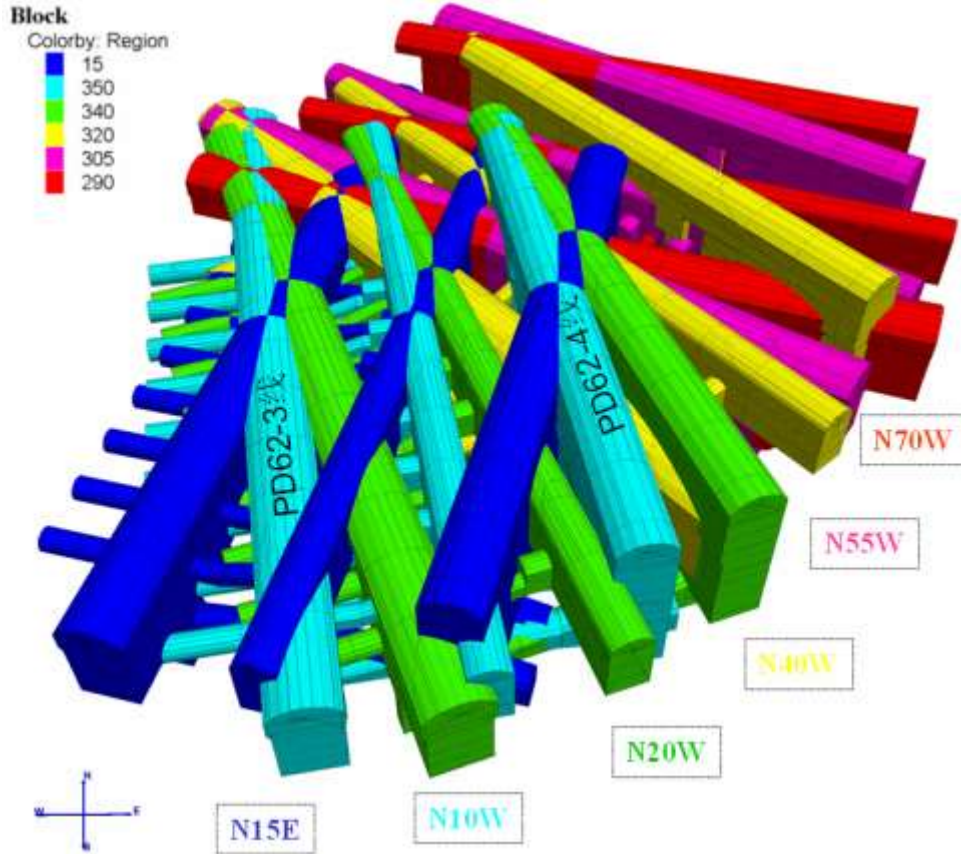
BHT

# Optimisation de la disposition des cavernes

## Vérification de l'orientation et de la forme des cavernes:

- Fortes contraintes
- Déformation
- Stabilité de blocs

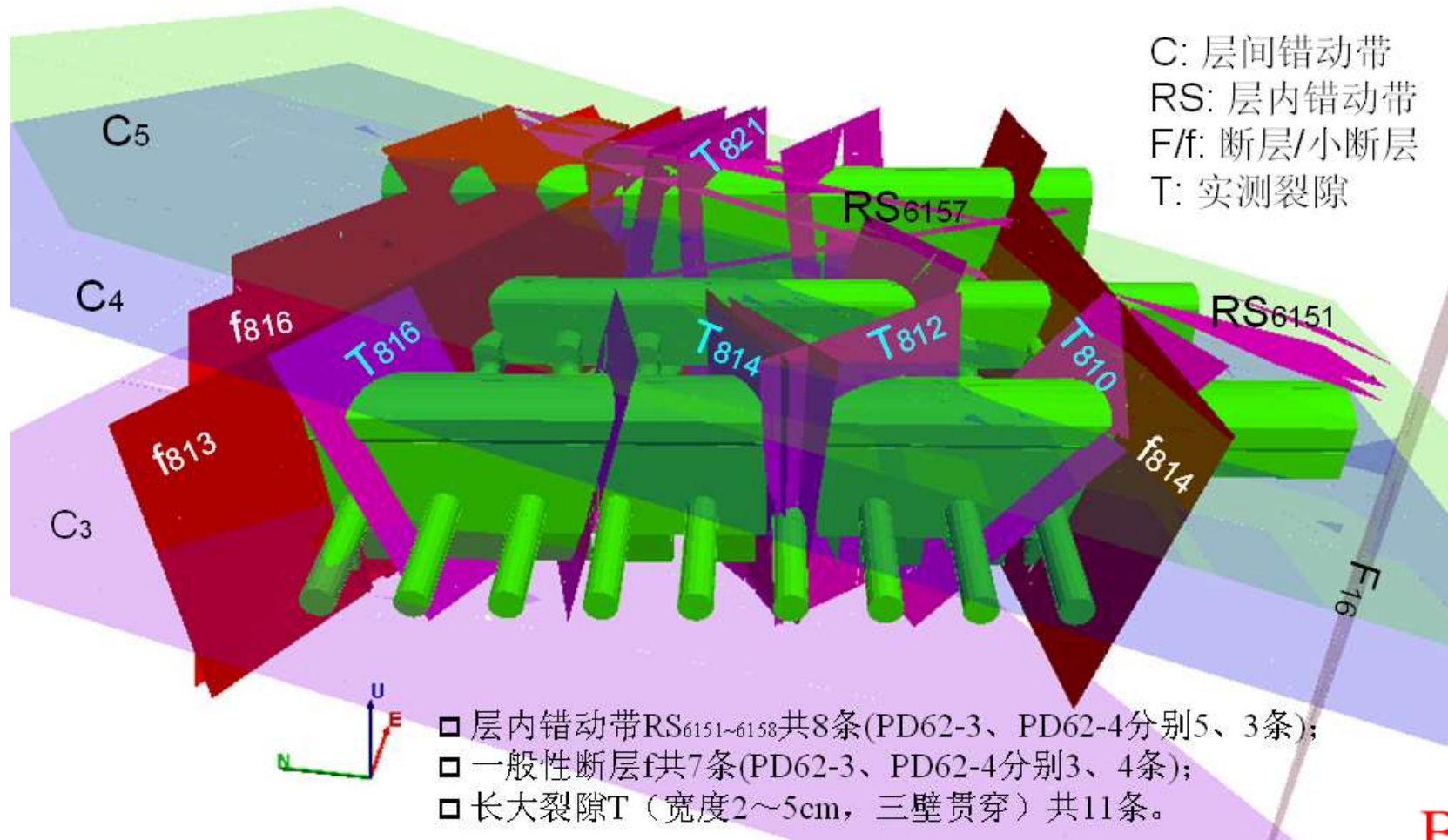
# 6 Orientations étudiées



BHT

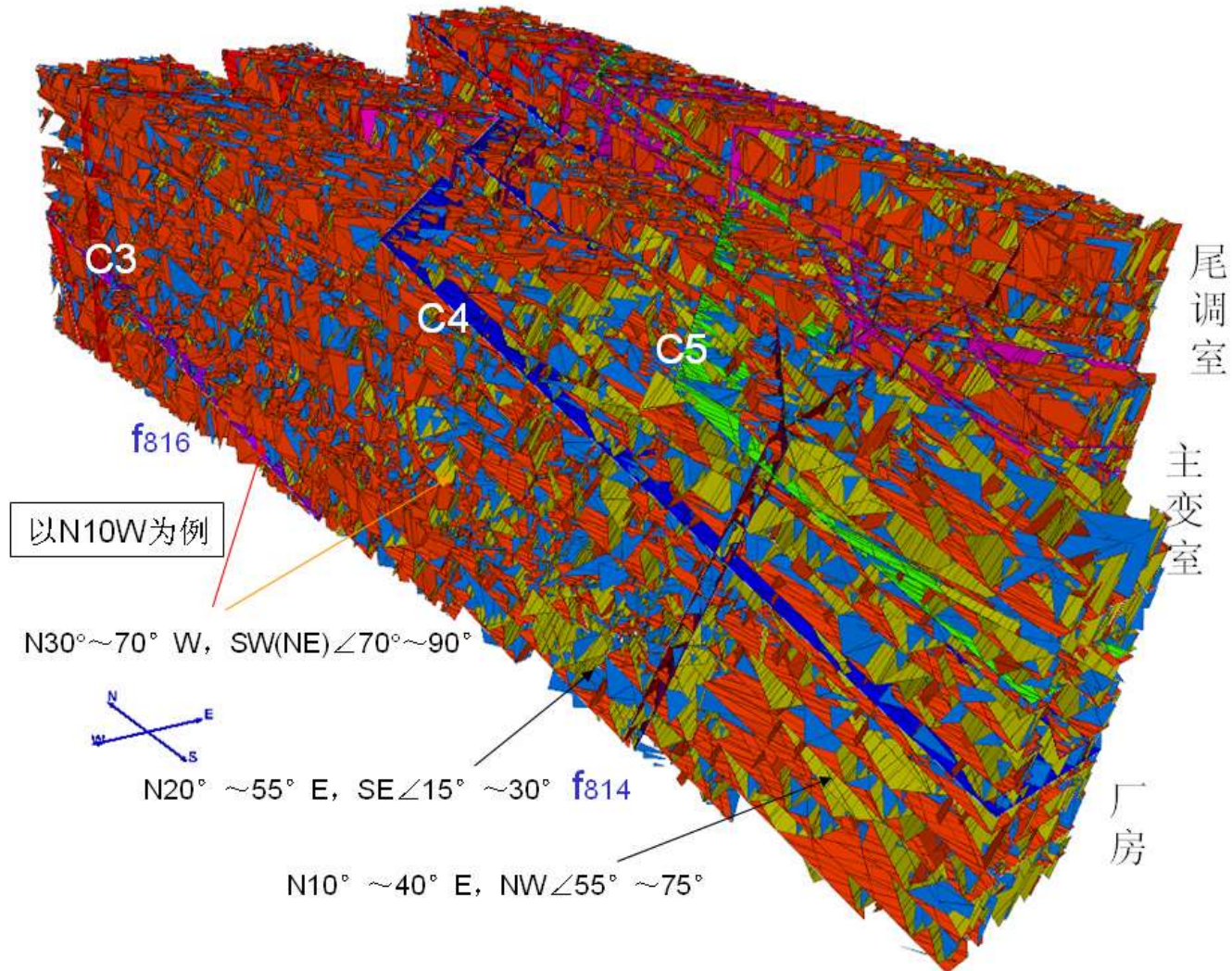


# Modèle à blocs déformables

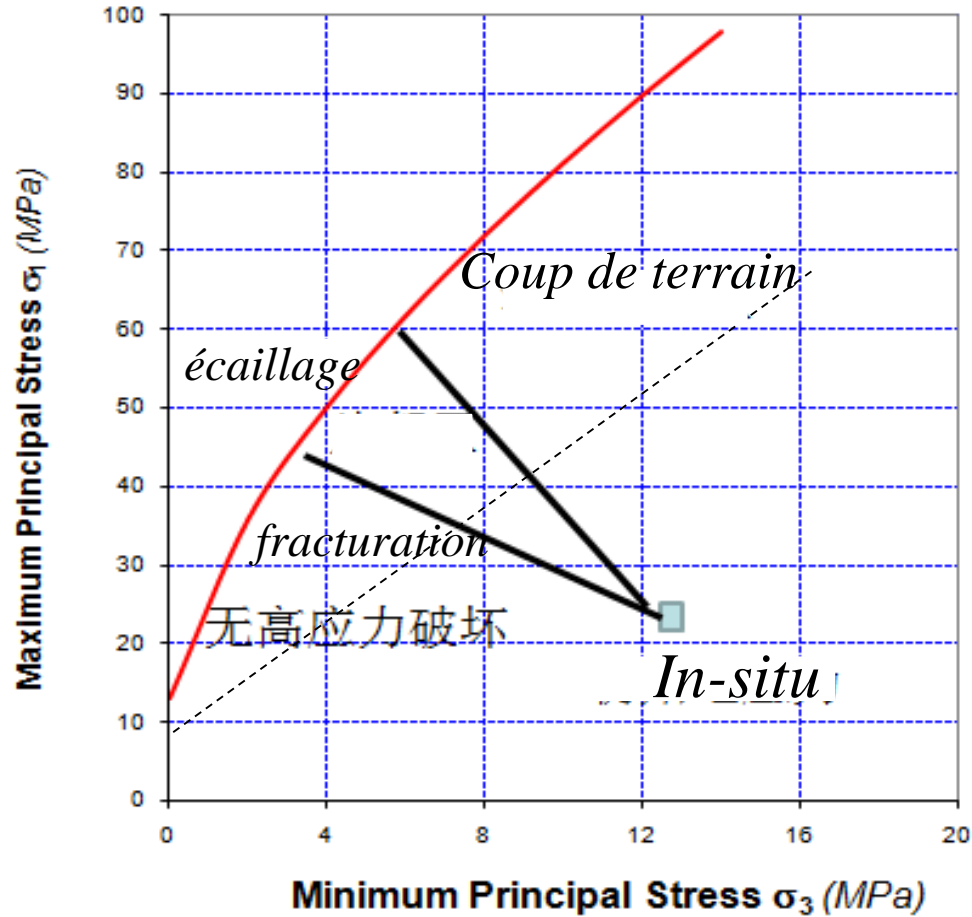


BHT

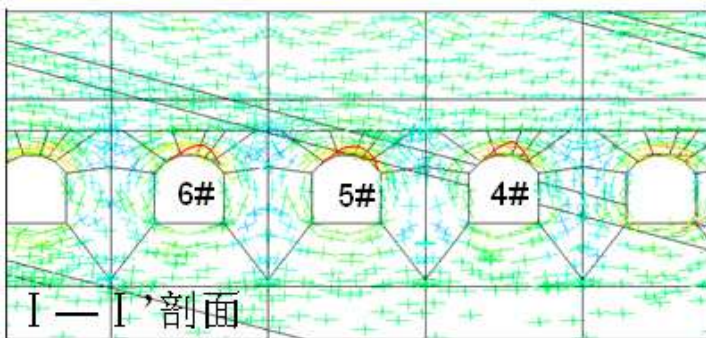
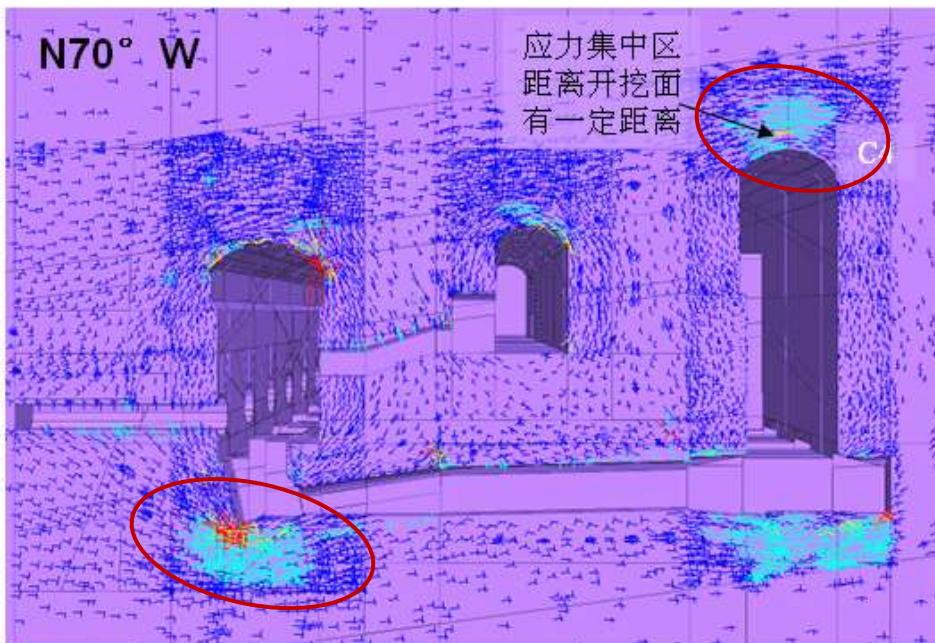
# Modèle à blocs rigides



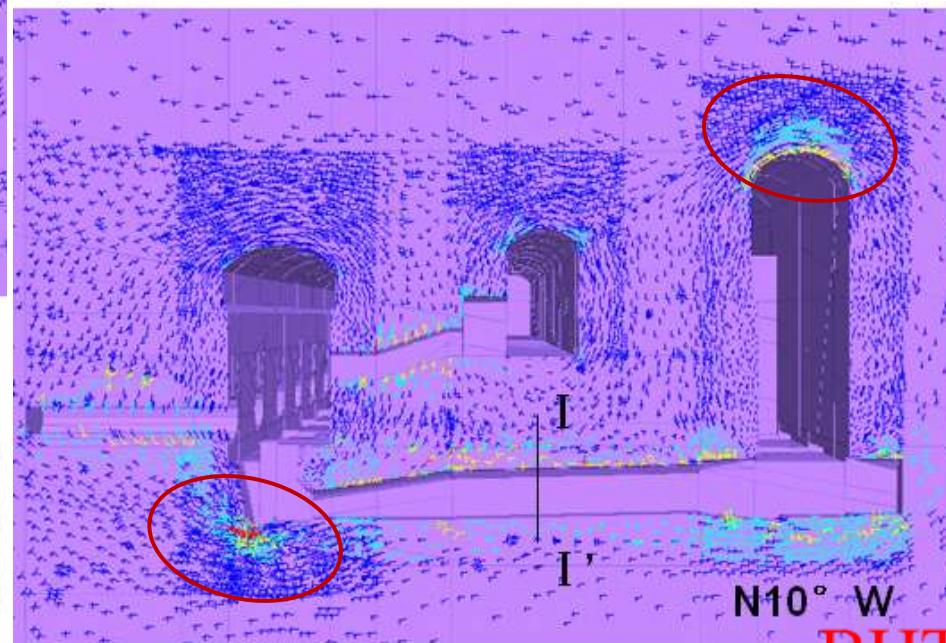
# Critère pour la réponse du terrain



# Distribution des contraintes et orientation de l'axe

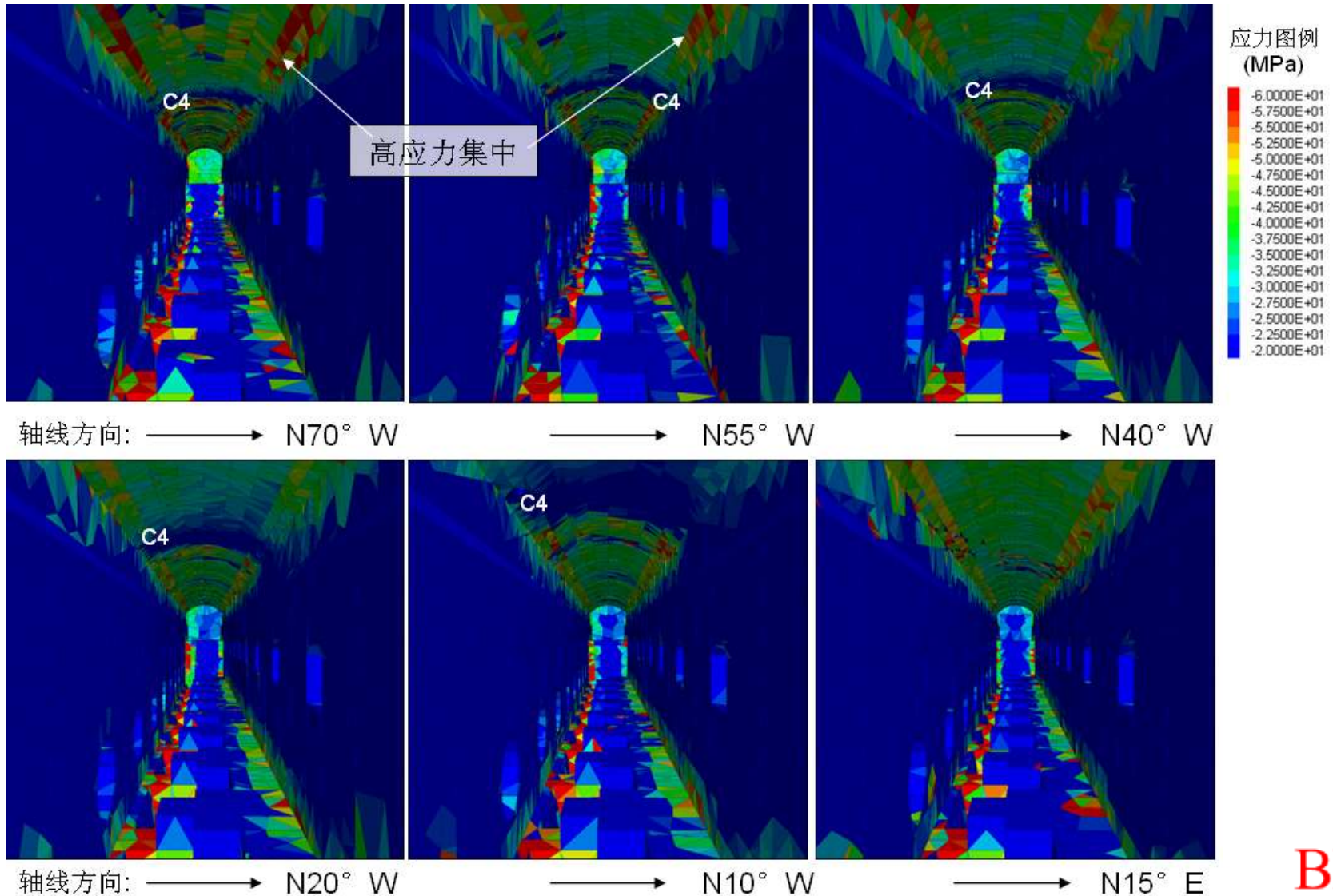


应力图例  
(MPa)



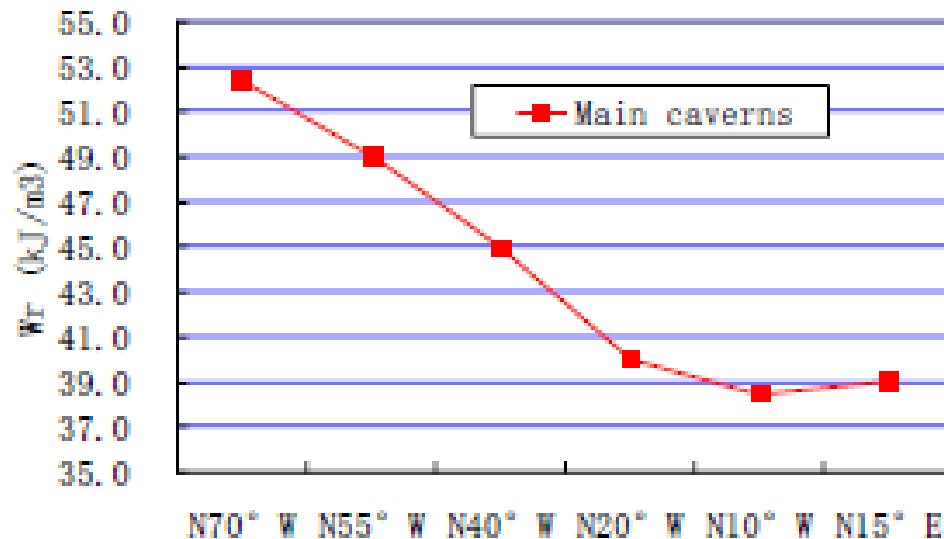
BHT

# Contraintes dans la caverne



# Taux de libération d'énergie

$$W_r = W - (U_c + U_b + W_j + W_p)$$



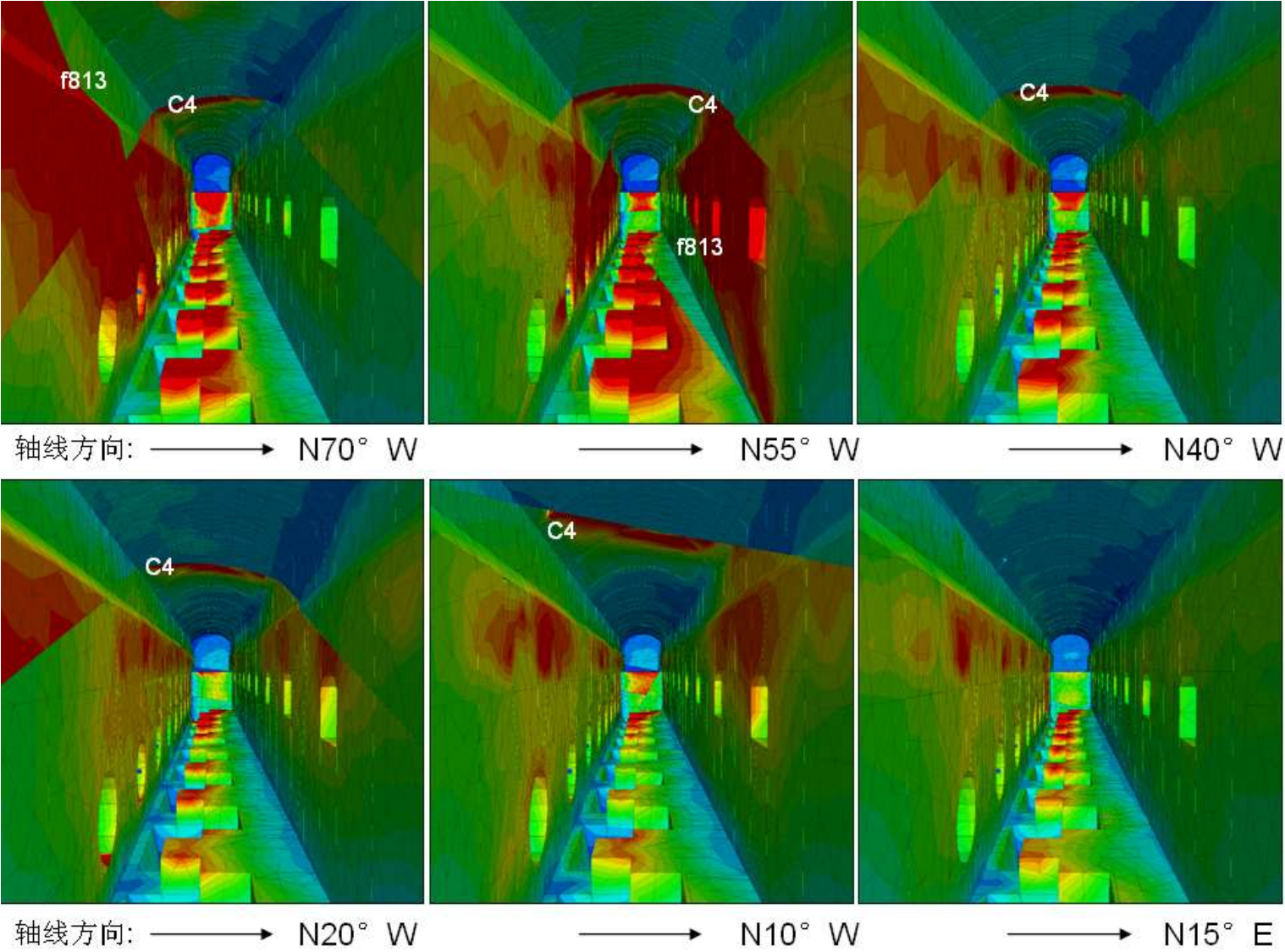
Taux de libération d'énergie, fonction de l'orientation de la caverne

# Critère en déplacement

1. ~50mm: stable
2. 50~100mm: stable
3. 100~150mm: potentiellement instable
4. >150mm: instable

*Critère établi après avoir examiné les résultats du modèle, et en particulier la distribution des « vitesses ».*

# Déplacements des longpans et orientation de l'axe



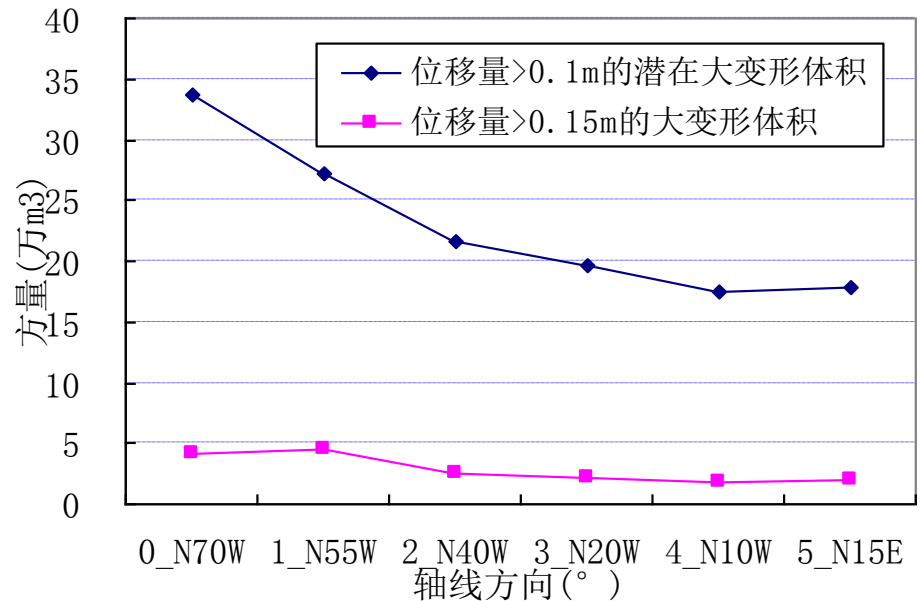
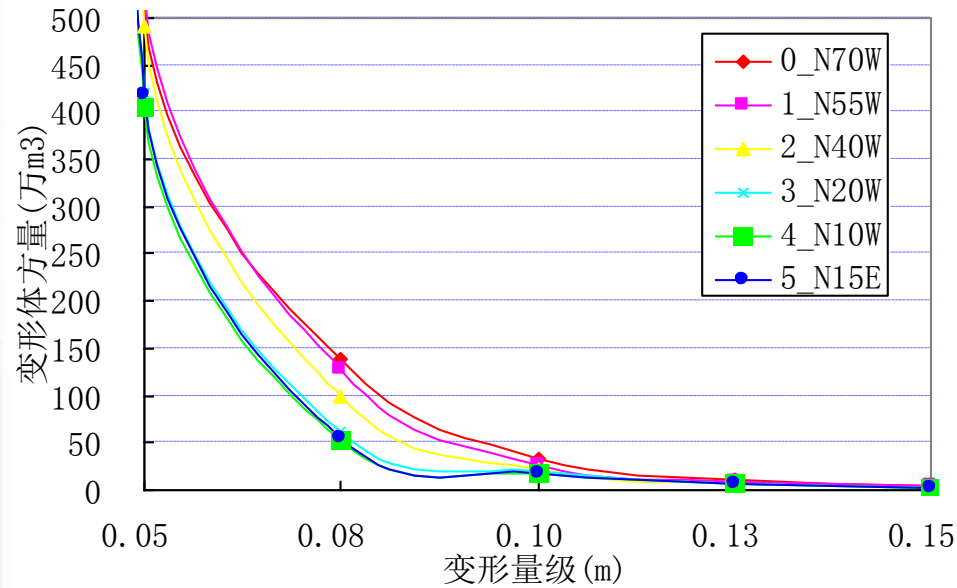
顶拱变形量级较小  
 仅受层间带切割局部变形大;  
 边墙变形量级较大,  
 特别是受f813切割的N70W和N55W轴线,边墙大范围出现大变形.





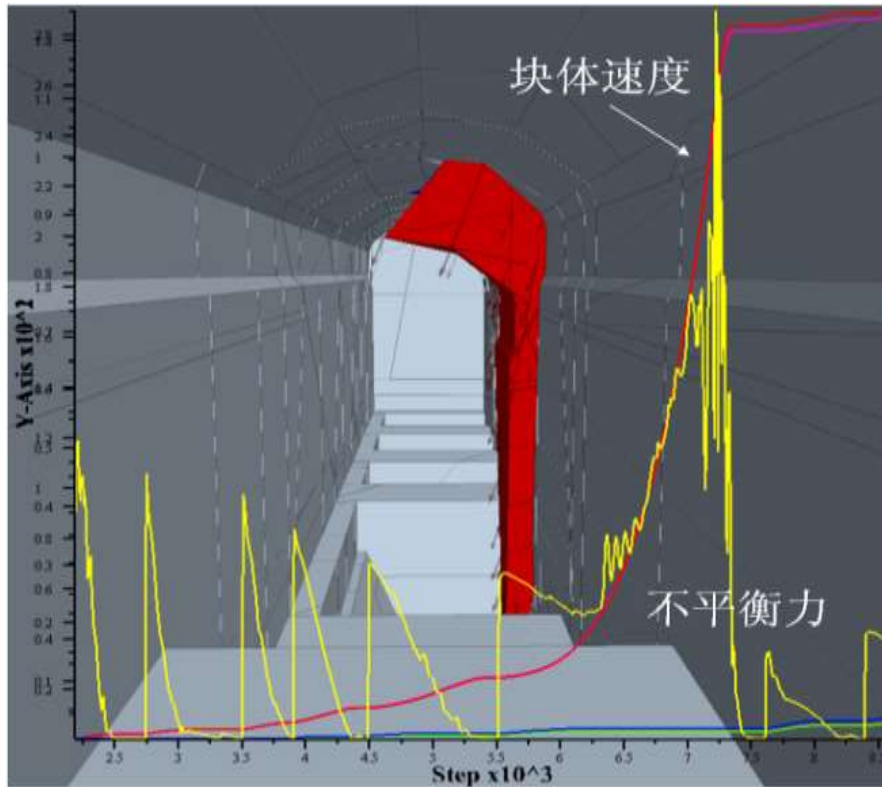
# Déplacement des longpans

## Amplitude des déplacements



## Volume de matériaux déformés

# Critère pour la détection de blocs instables

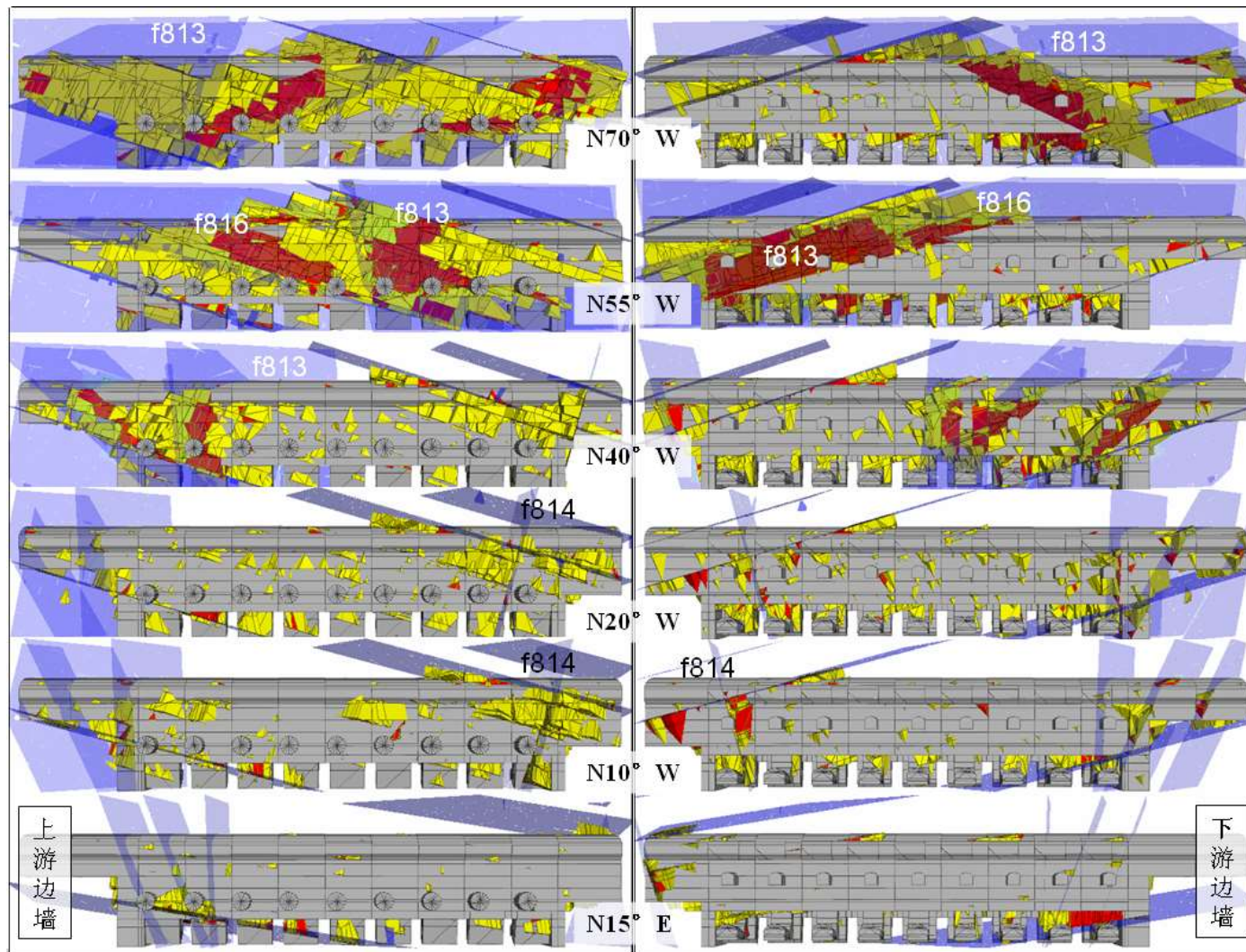


100~150mm: potentiellement instable

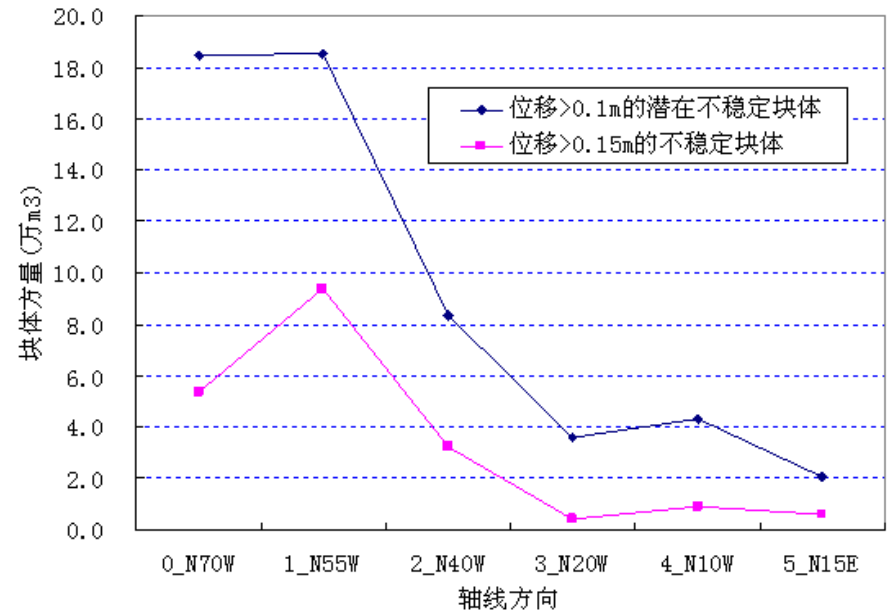
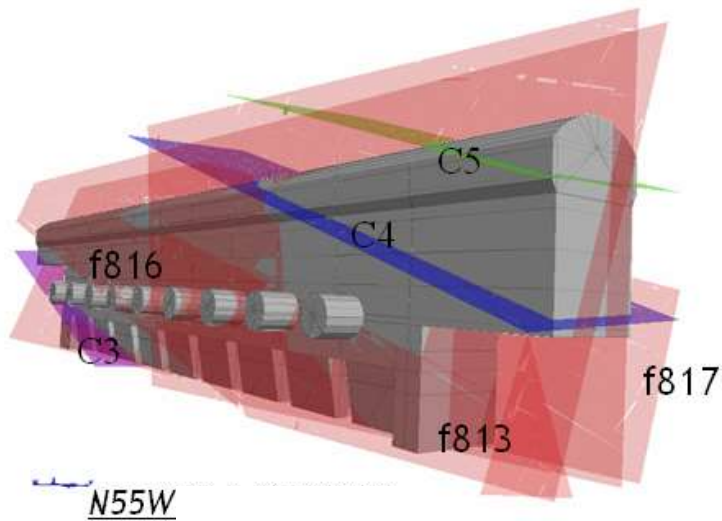
>150mm: instable

*Ici aussi, la “vitesse” de déplacement des blocs est étudiée pour établir le critère en déplacements cumulés.*

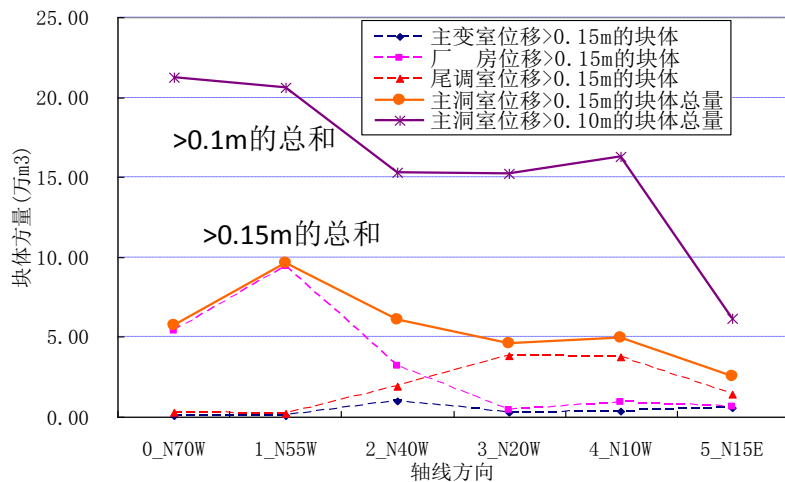
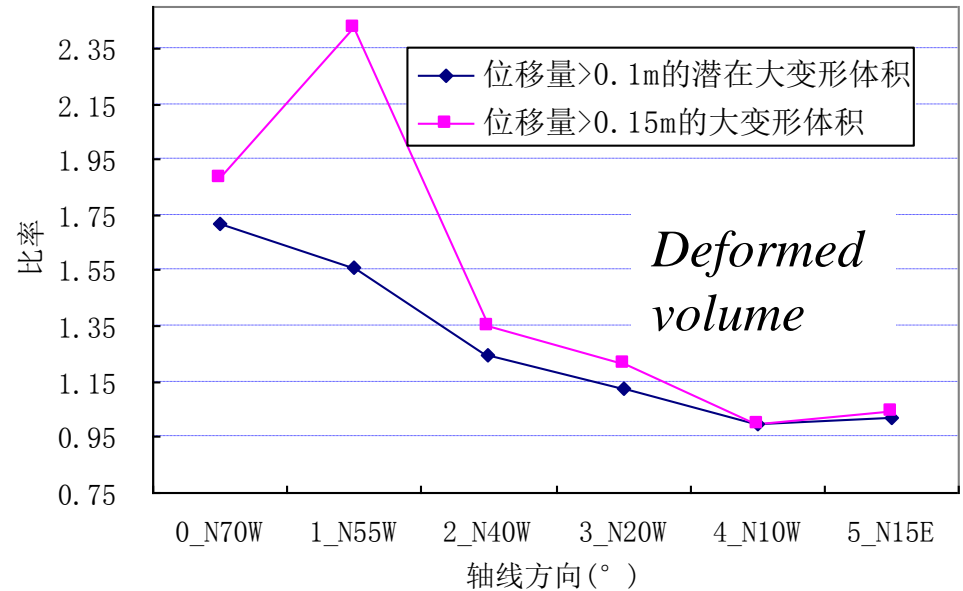
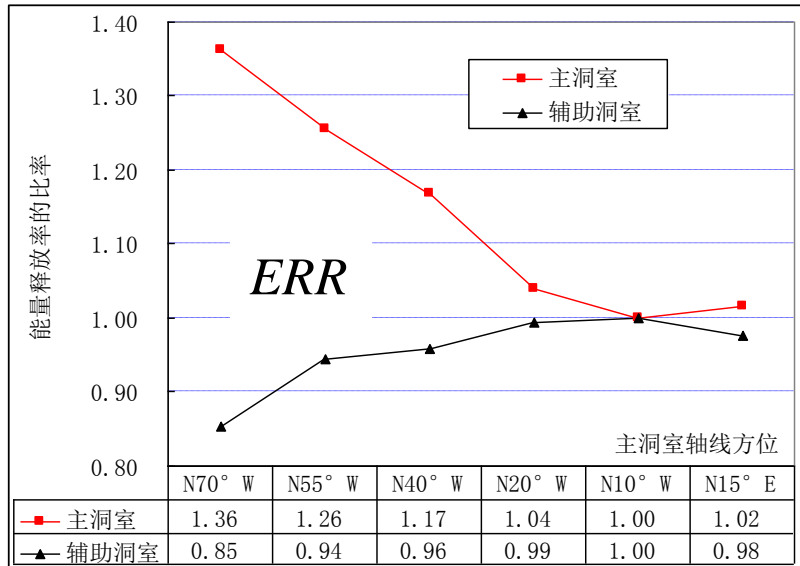
# Blocs Instables et Potentiellement Instables



# Volume de blocs instables et orientation de caverne



# En résumé



Trois indices représentent les trois problèmes potentiels détectés. Tous montrent une direction environ N-S globalement préférable. Les contraintes, la fracturation et le comportement de la masse rocheuse ont été pris en compte.

Des problèmes d'écaillage sont prévisibles lors de l'excavation des galeries perpendiculaires aux cavernes.

# Quelques points supplémentaires

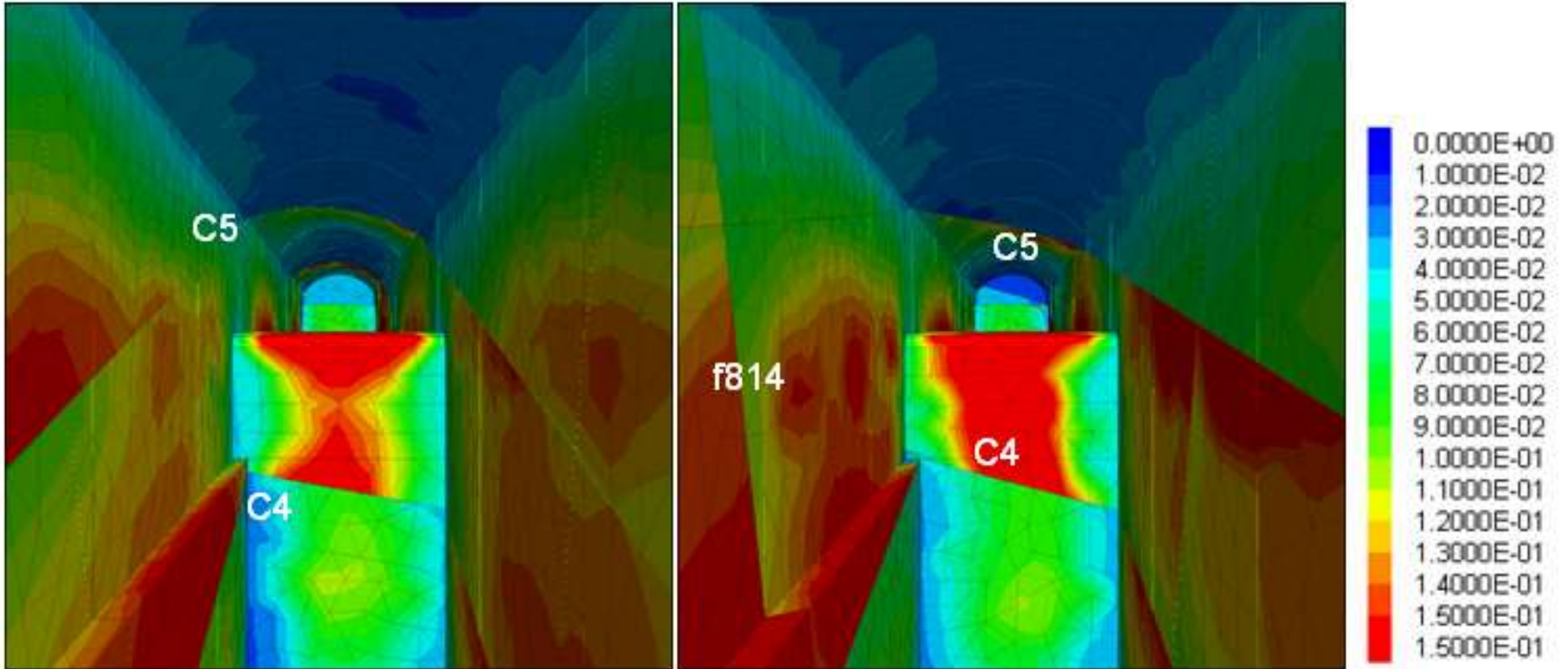
La chambre d'équilibre

Le toit de la caverne principale

Analyse du soutènement

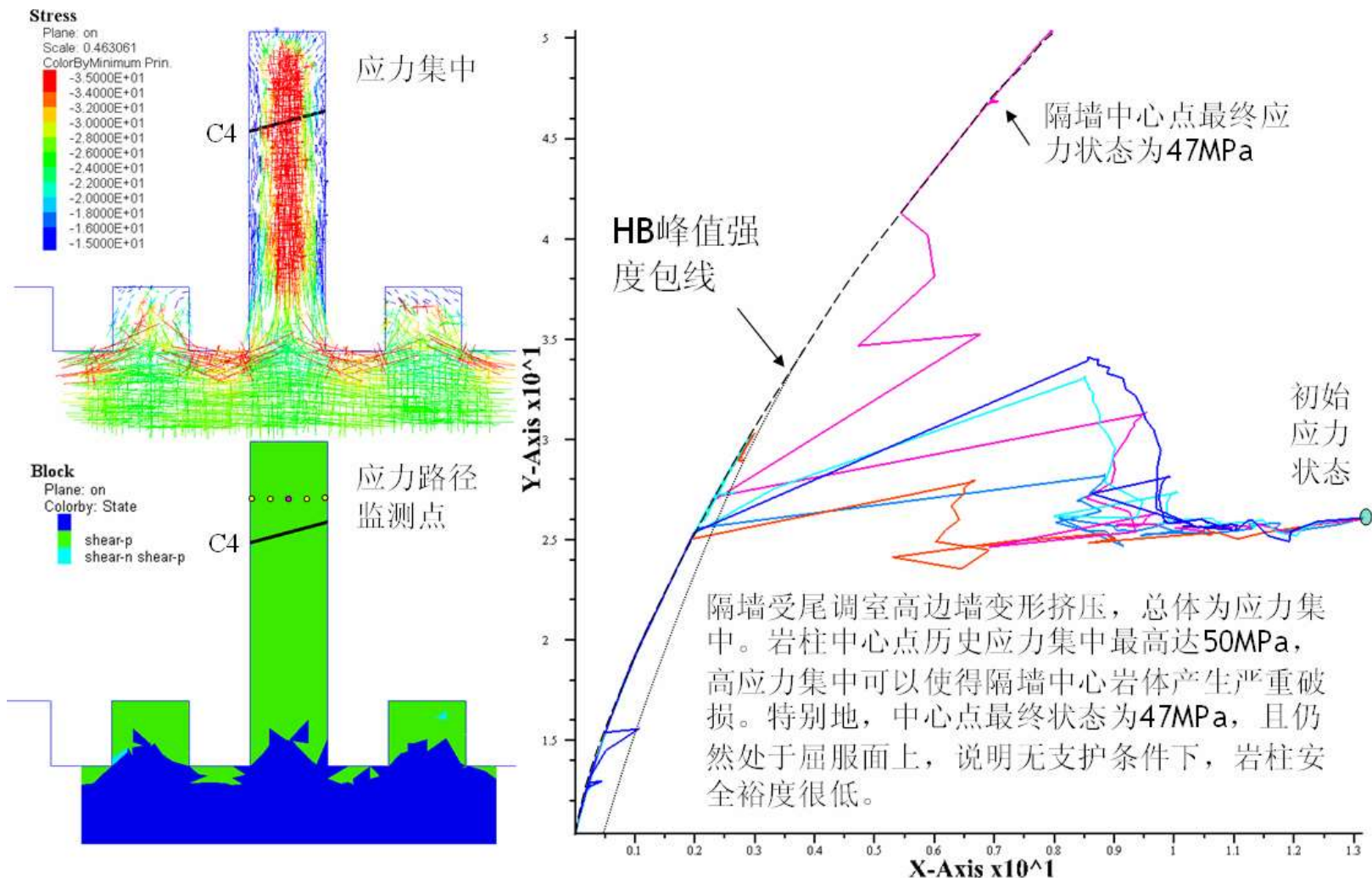
# Déplacements du mur de séparation

## Chambre d'équilibre



BHT

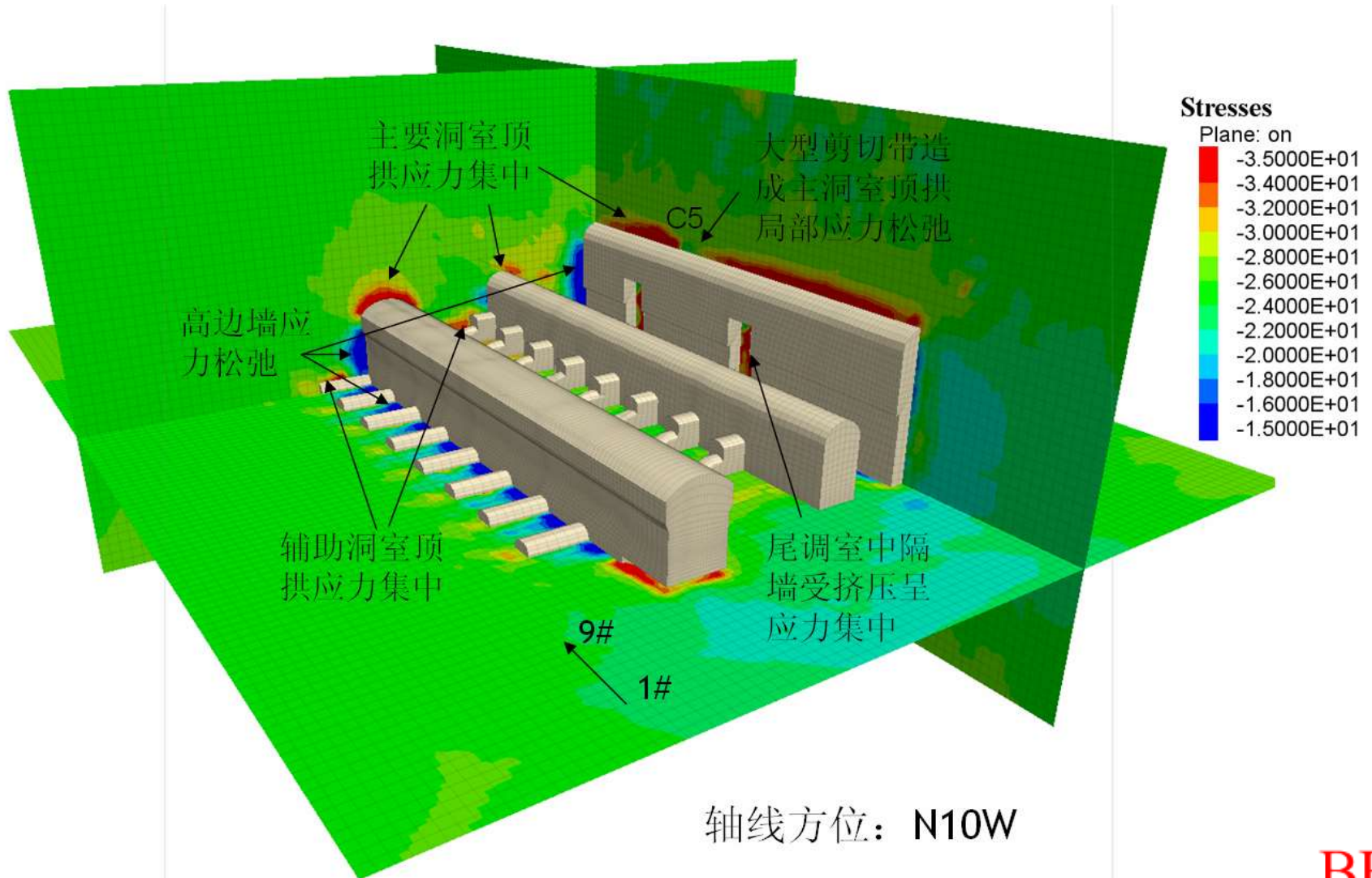
# Contraintes dans les piliers, chambre d'équilibre



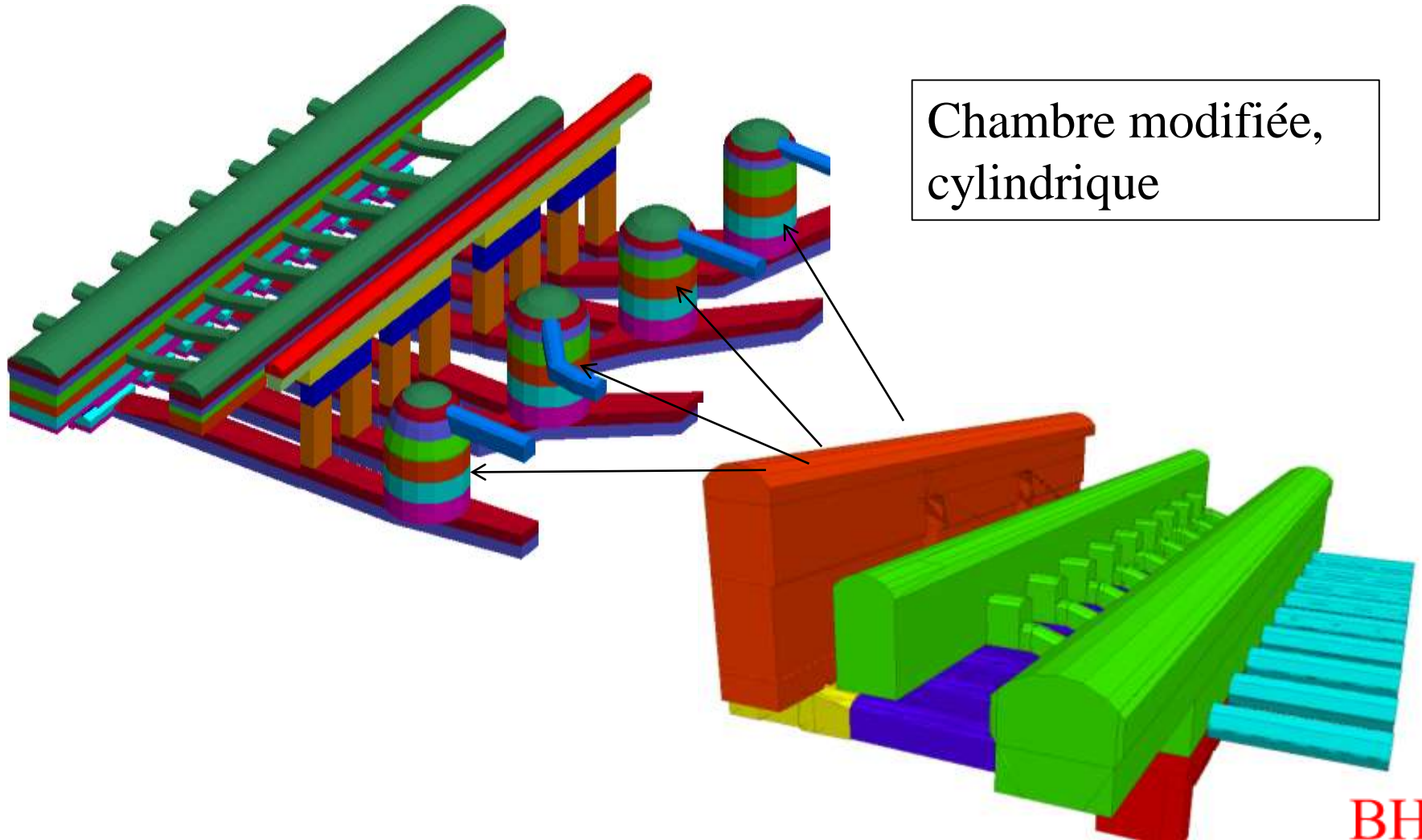
BHT



# Contraintes en toit, chambre d'équilibre

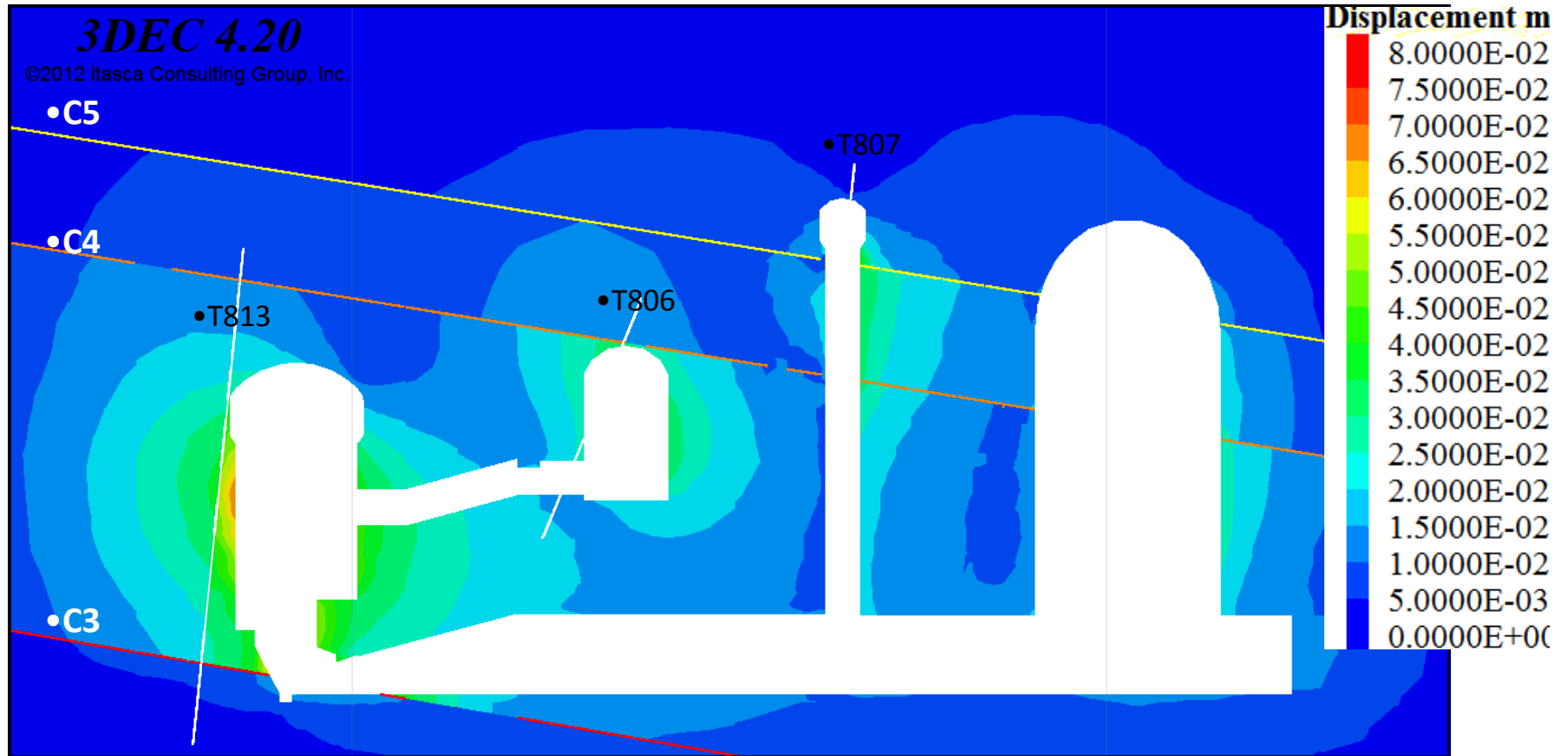


# Conséquence: modification de la géométrie de la chambre d'équilibre



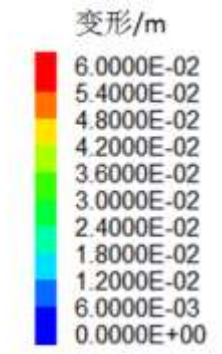
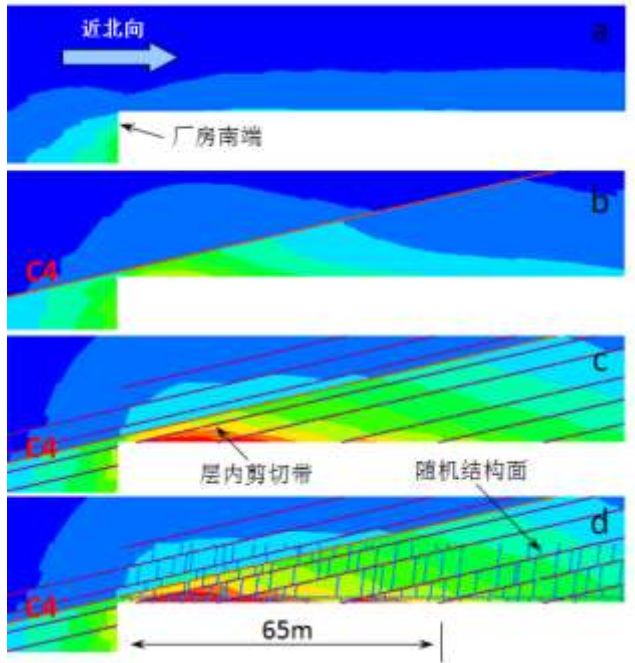
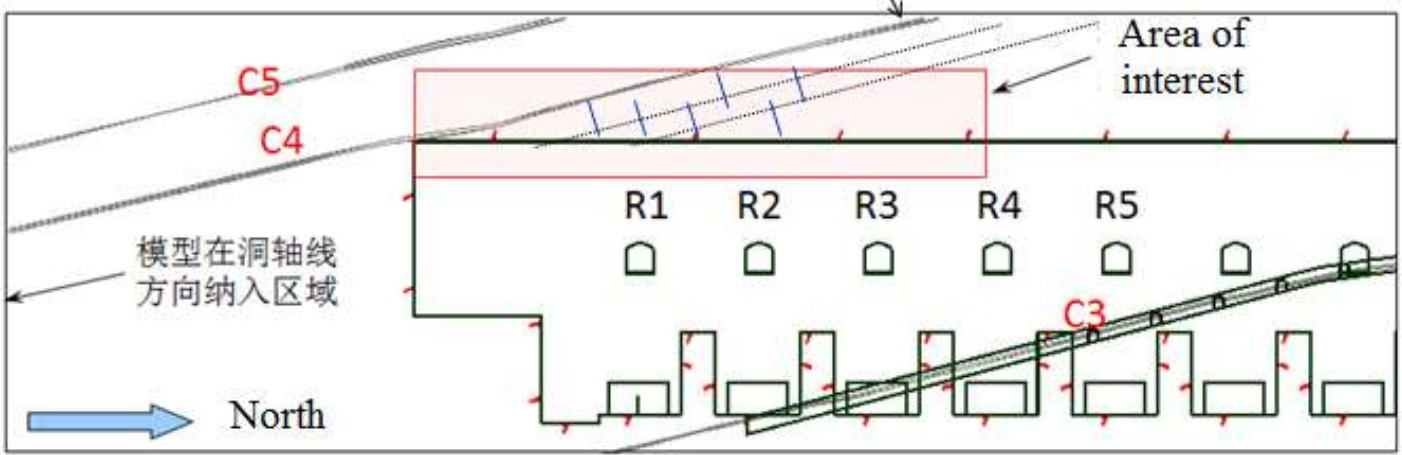
BHT

# Analyse de stabilité de la nouvelle conception

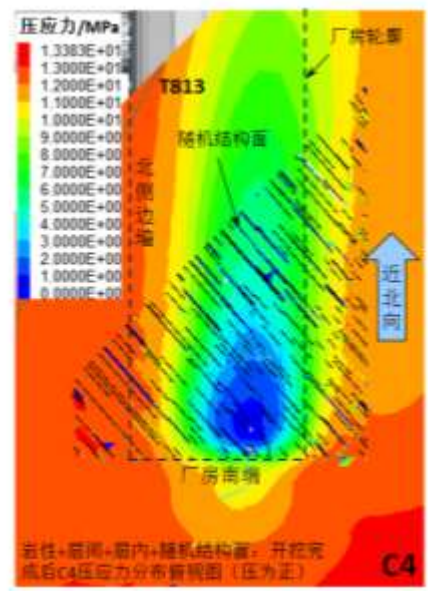
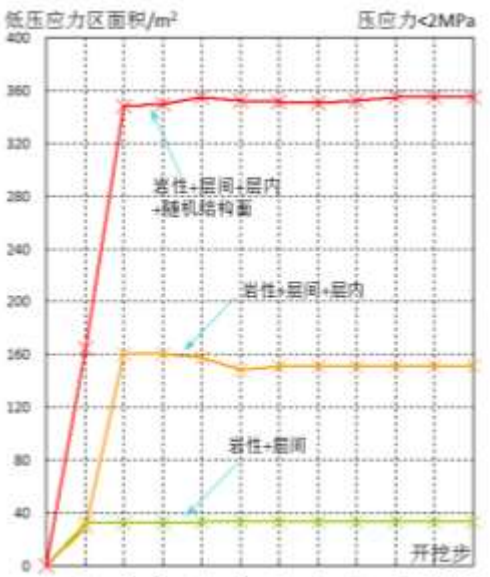


BHT

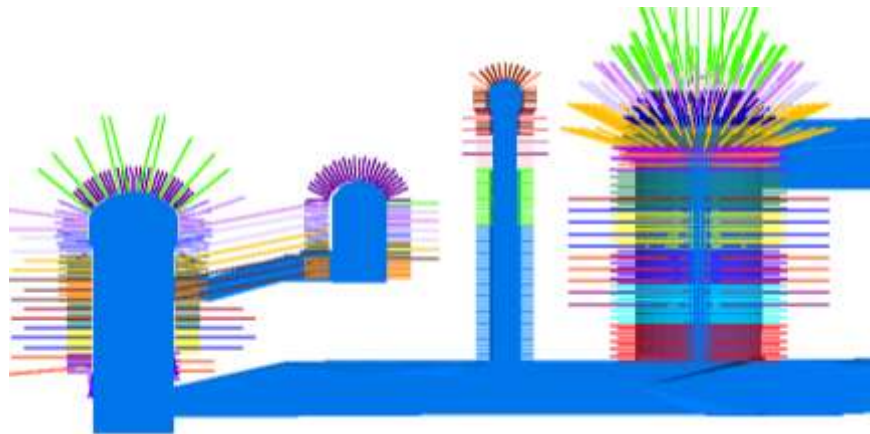
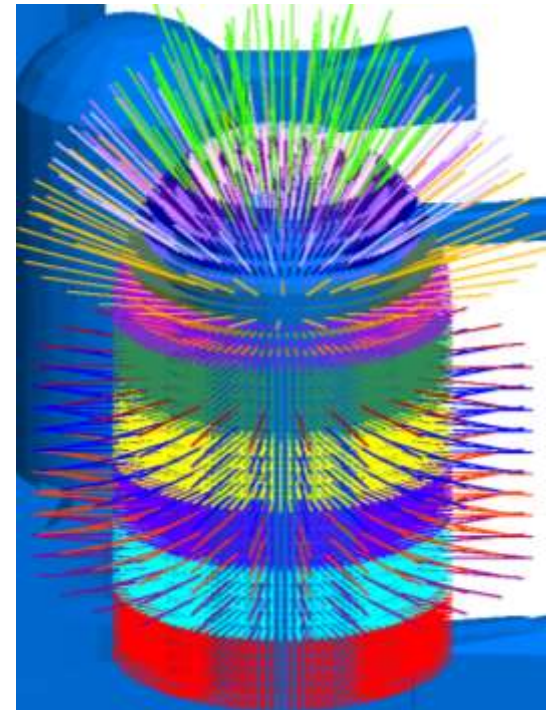
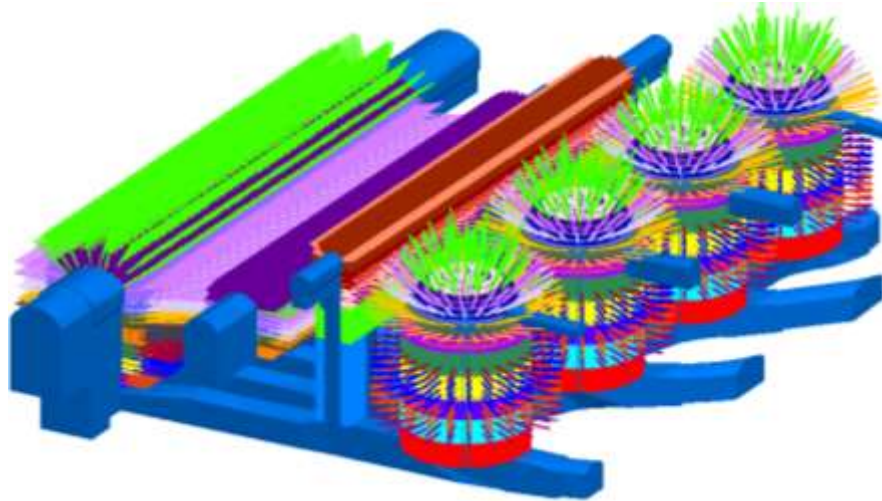
# Un problème spécifique – stabilité du toit



- a. 岩性条件 (除层面外确定性结构面)
- b. 岩性+层间
- c. 岩性+层间+层内
- d. 岩性+层间+层内+随机结构面

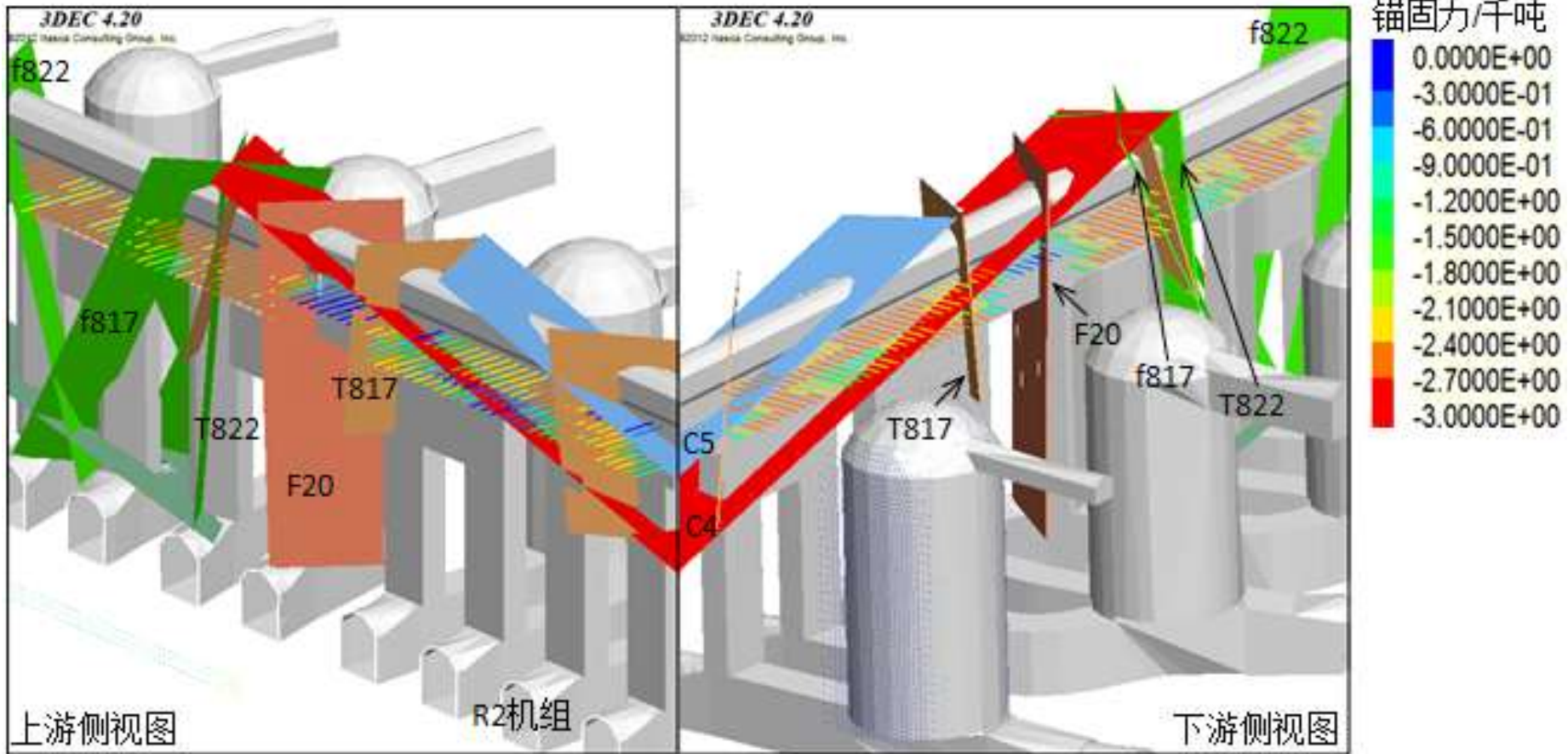


# Analyse du soutènement



BHT

# Efforts dans le soutènement



BHT

# Conclusions

L'analyse numérique est une interaction constante entre le modèle et la réalité. Il s'agit de:

- Estimer a priori les problèmes potentiels, pour sélectionner le type de modélisation pertinent.
- Estimer et **vérifier** les données d'entrée
- Construire et interpréter le modèle **en lien** avec les points précédents

Toujours partir du plus simple, puis complexifier **si nécessaire**