



07 avril 2011

Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES :  
« Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

# Les concepts pour décrire le massif rocheux: les trois données fondamentales

Christophe JASSIONNESSE

(GEOS Ingénieurs Conseil )



07 avril 2011

## Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

A l'origine de la démarche, les méthodes de conception et de dimensionnement existantes :

- Empiriques à partir des classifications géomécaniques (Q, RMR..)
- De calcul dans le milieu discontinu (dièdres, bancs...)
- De modélisation dans un milieu continu équivalent (convergence-confinement...)

Question : Leur domaine de validité respectif ? Leurs concepts explicites / implicites ? (ex « stand-up time », « longueur non soutenue »; « pression de soutènement »; «  $\sigma_{c \text{ massif}}$  »...)



07 avril 2011

## Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

Les données de base de la description des massifs rocheux :

- La matrice = un milieu « continu » à l'échelle de la « carotte »
- Les discontinuités = des « surfaces » géométriques aux propriétés mécaniques différentes de la matrice
- Le massif rocheux = l'assemblage en « blocs » de la matrice et des discontinuités

Question : Quelle échelle de description choisir ?



07 avril 2011

## Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

Rappel sur « la classification AFTES » (recommandations GT1 -2003)  
et les indices utilisés :

- La matrice = indices RC ( $\sigma_c$ ) & FR ( $\sigma_c / \sigma_{tb}$ )
- Les discontinuités :
  - N = nombre de famille
  - OR = orientation des discontinuités de chaque famille (vecteur pendage // axe du tunnel)
  - ES = espacement des discontinuités de chaque famille [m]
- Le massif rocheux :
  - ID & FD = intervalle [m] et fréquence [nombre /m] des discontinuités (toutes familles confondues) le long d'une ligne de mesure
  - RQD
  - CN = état relatif de contrainte( « compétence ») de la matrice ( $\sigma_c / \sigma_0$ )



07 avril 2011

## Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

### Milieu continu ou discontinu ?

les postulats du MC équivalent :

- Existence d'un Volume Élémentaire Représentatif du massif rocheux (notion statistique, une « population » incluant tous les composants du massif = matrice + discontinuités) = le + petit volume pour définir ( $\underline{\epsilon}$ ,  $\underline{\sigma}$ )
- Dimension du V.E.R. = au moins 5X5X5 blocs

les postulats du MD :

- Le massif comme un système de solides ou de structures - les blocs, les bancs... - en interaction
- Les blocs sont décrits par les propriétés des discontinuités qui les délimitent (modèle prédictif = notion de famille représentative)



07 avril 2011

## Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

### Milieu continu ou discontinu ?

La limite (théorique) de validité du MC équivalent:

- Dimension du VER (échelle intrinsèque du MC)  $< 1/10 \times$  Dimension du système (par ex. = la dimension transversale du tunnel  $D_t$ ),
- Concrètement, si  $D_t > 50 \times D_b$  la dimension d'un bloc

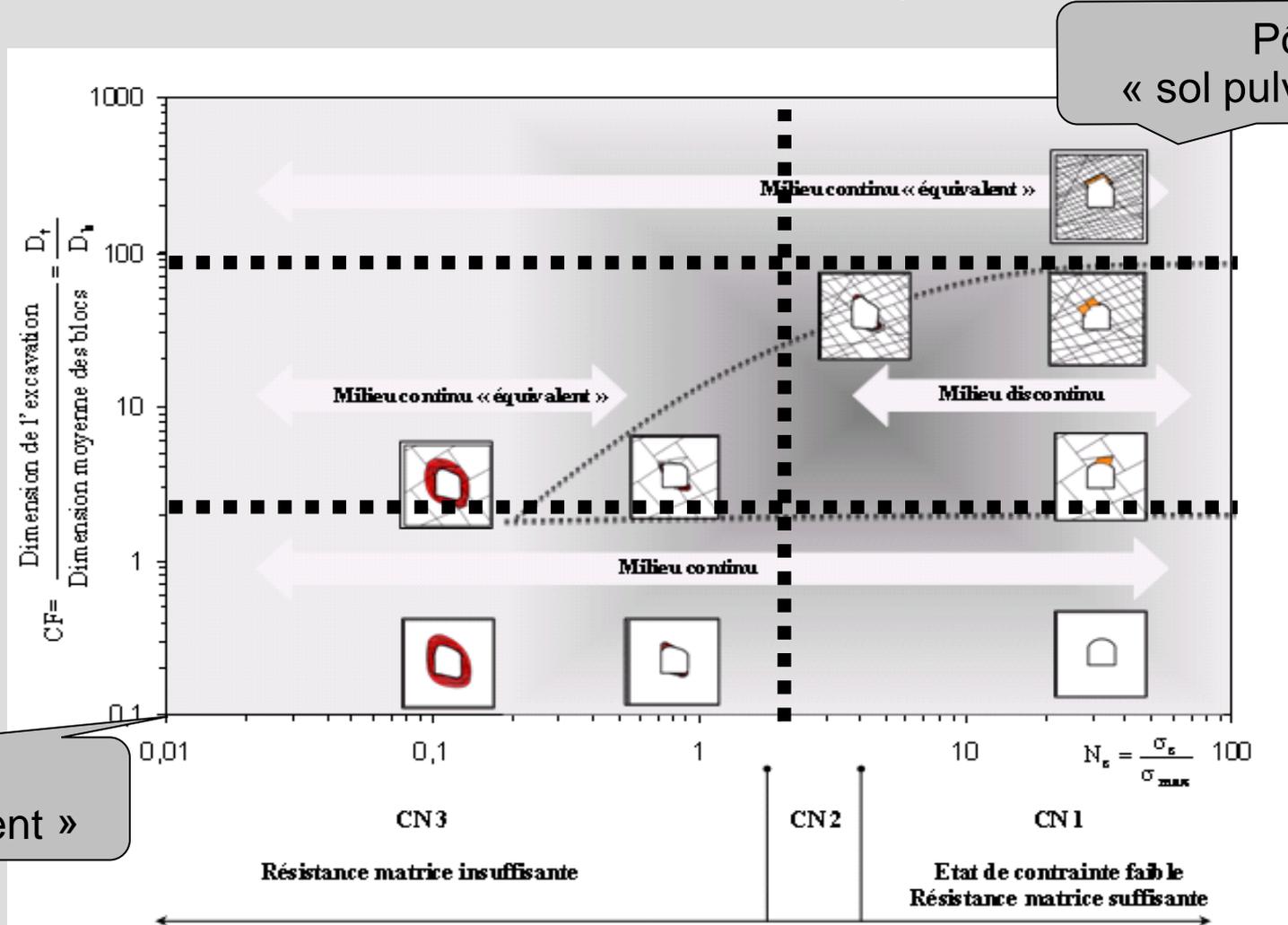
La limite (pratique) de validité du MD:

- Un niveau critique de complexité de la représentation
- Concrètement, si  $D_t > 100 \times D_b$
- A fortiori, l'échelle de la matrice n'est pas accessible = le milieu discontinu ne décrit pas les phénomènes impliquant la matrice rocheuse
- Concrètement, si la « compétence » de la matrice est insuffisante, les phénomènes internes à la matrice deviennent prépondérants

07 avril 2011

# Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

## Milieu continu ou discontinu : les domaines de validité



Pôle « sol cohérent »

Pôle « sol pulvérulent »



07 avril 2011

## Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

Le facteur d'échelle = La dimension relative du bloc moyen

Comment connaître la dimension du bloc moyen ?:

- A partir de  $N$ ,  $OR$  et  $ES$  ( $\leftarrow$  relevés de surface, BHTV...), le nombre, l'orientation et l'espacement des différentes familles de discontinuités :

Pour 3 familles  $D_b = \sqrt[3]{\left[ \prod_{i=1..3} ES_i / \prod_{i=1..3} \sin \alpha_i \right]} \approx 1,4 \times \sqrt[3]{\prod_{i=1..3} ES_i}$

Pour  $N$  familles, le volume du bloc moyen est défini par l'inverse de la « densité de blocs » (nombre de blocs par  $m^3$ ) formés par la somme des combinaisons de 3 familles parmi  $N$  familles

- A partir de  $ID$  ou  $RQD$  ( $\leftarrow$  relevés sur carottes...)?



07 avril 2011

## Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

### La dimension du bloc moyen

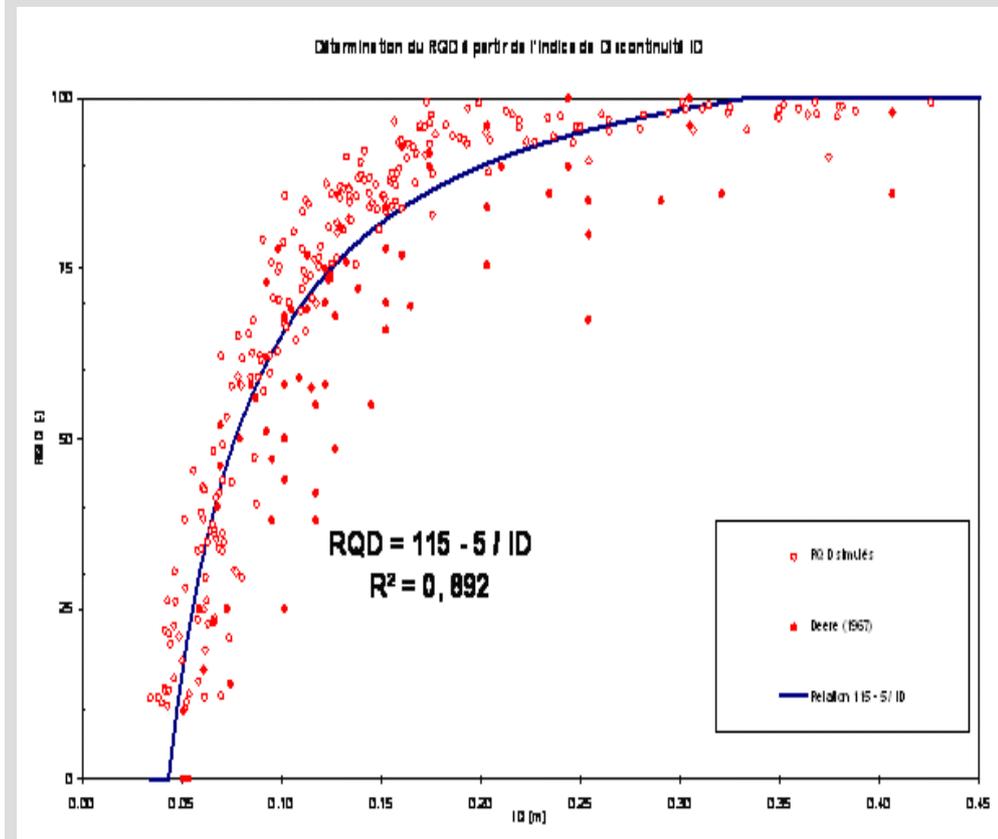
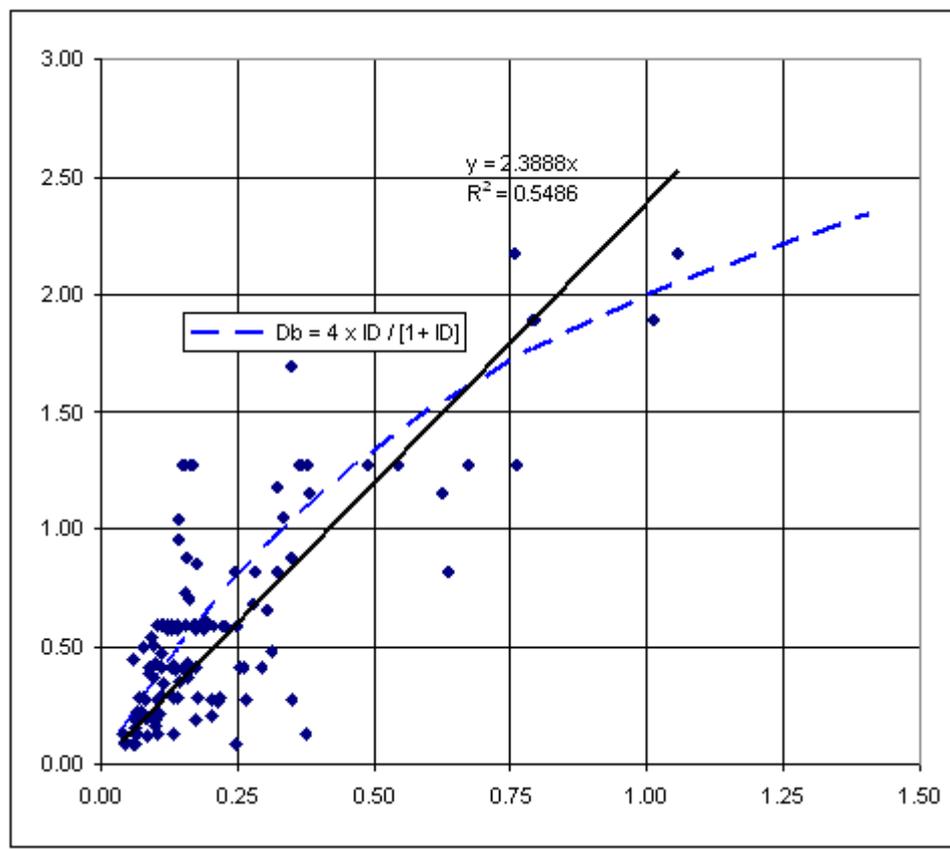
Comment connaître la dimension du bloc moyen à partir de ID ?:

- A l'origine, les travaux de Palmström (1996) qui retient le volume du bloc  $V_b$  comme un des paramètres de base du Rock Mass Index (RMI) et propose une méthodologie pour son évaluation.
- Une étude dans le cadre du GT30 à partir d'un relevé de discontinuités virtuelles (nombre aléatoire de familles, d'espacement aléatoire et d'orientation aléatoire)  
=> la population analysée représente environ 1000 m de relevé et 250 combinaisons  
=> ES et N étant connus à partir du tirage « aléatoire », Db est calculé par les formules précédentes, ainsi que ID et RQD.

07 avril 2011

# Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

## Les relations Db -ID & ID - RQD





07 avril 2011

# Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

la dimension du bloc moyen à partir de RQD :  $Db = 20 / [120 - RQD\%]$

- Concrètement

Classe AFTES	Indice AFTES ID (cm)	Classe AFTES	Indice AFTES RQD (%)	Dimension du bloc moyen Db (m)
ID1	> 200	RQD1	100	> 2,7
ID2	60 à 200	RQD1	100	1,5 à 2,7
ID3	33 à 60	RQD1	100	1,0 à 1,5
ID3	20 à 33	RQD1	90 à 100	0,7 à 1,0
ID4	13 à 20	RQD2	75 à 90	0,4 à 0,7
ID4	8 à 13	RQD3	50 à 75	0,3 à 0,4
ID4	6 à 8	RQD4	25 à 50	0,2 à 0,3
ID5	< 6	RQD5	0 à 25	< 0,2

Le domaine « continu équivalent »

Le domaine « continu »

Exemple	Section de l'ouvrage					
	2,5 m	5 m	7,5 m	10 m	15 m	20 m
Classe AFTES	Galerie hydraulique visitable			Ouvrage ferroviaire/routier 2 voies		
	Ouvrage ferroviaire/routier 1 voie			Caverne		
	Nombre de blocs dans la largeur ou hauteur de la section					
RQD1	< 4	< 8	< 12	< 15	< 20	< 30
RQD2	≈ 5	≈ 10	≈ 15	≈ 20	≈ 30	≈ 40
RQD3	≈ 7	≈ 15	≈ 20	≈ 30	≈ 40	≈ 60
RQD4	≈ 10	≈ 20	≈ 30	≈ 40	≈ 60	≈ 80
RQD5	≈ 13	≈ 30	≈ 40	≈ 60	≈ 80	≈ 100



07 avril 2011

## Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

### Le rôle des caractéristiques des discontinuités

- Dans le milieu discontinu, les paramètres prépondérants de la stabilité des blocs (planeité, rugosité, altération, remplissage) => JRC- JCS (Barton) =>  $\varphi^{\circ}_{pic}$ ,  $\varphi^{\circ}_{res}$ , cohésion éventuelle)
- Dans le milieu continu, l'estimation des paramètres du milieu équivalent à partir de la « condition des joints »  $j_C$  (continuité, planeité, rugosité, altération, remplissage) => la résistance équivalente du massif  $\sigma_{c m} \dots$

$$\sigma_{c m} = F(D_b, j_C, \sigma_{ci})$$

07 avril 2011

# Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

## Le rôle des caractéristiques des discontinuités :

- L'exemple de l'approche GSI (Hoek & al. , 2000) - GRs (Russo, 2007)

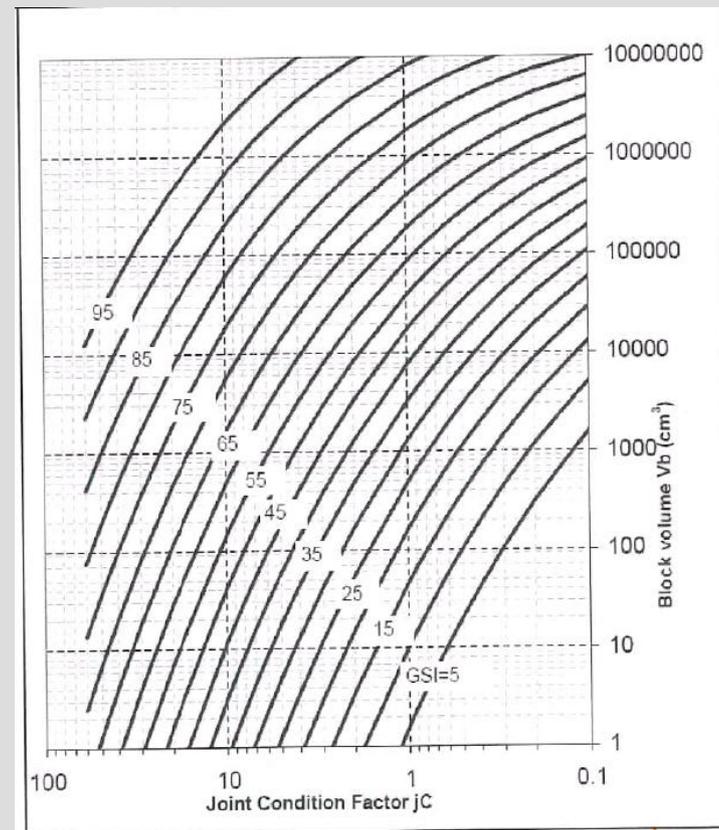
GSI		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			30		
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					10

LOCKING OF ROCK PIECES (vertical axis, increasing upwards)

DECREASING (vertical axis, increasing downwards)

$\sigma_{cm}$  varie de 1 à  $1/15 \times B(Db) \times \sigma_{ci}$

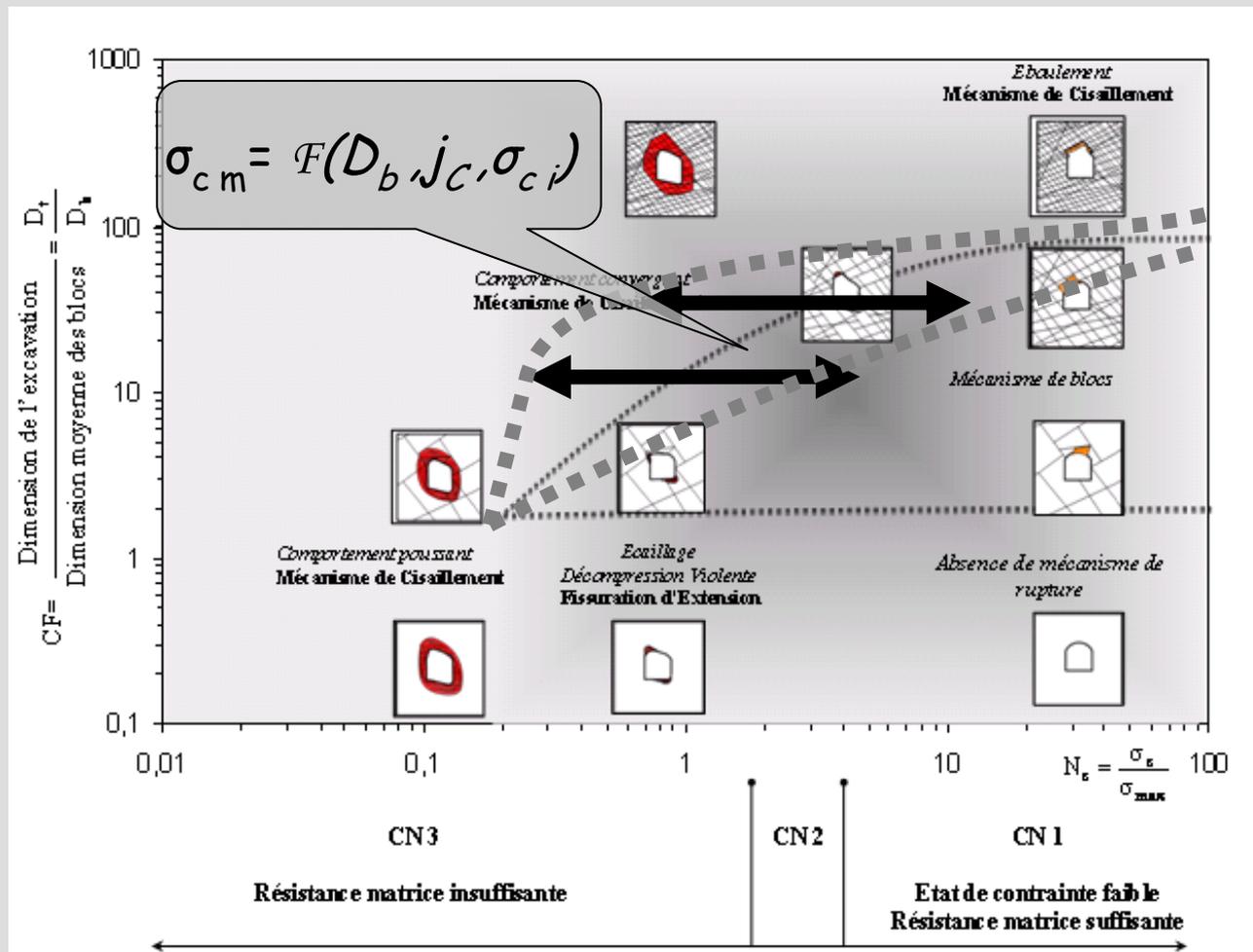
$\sigma_{cm} = \exp[(100-GSI)/18] \times$



07 avril 2011

# Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

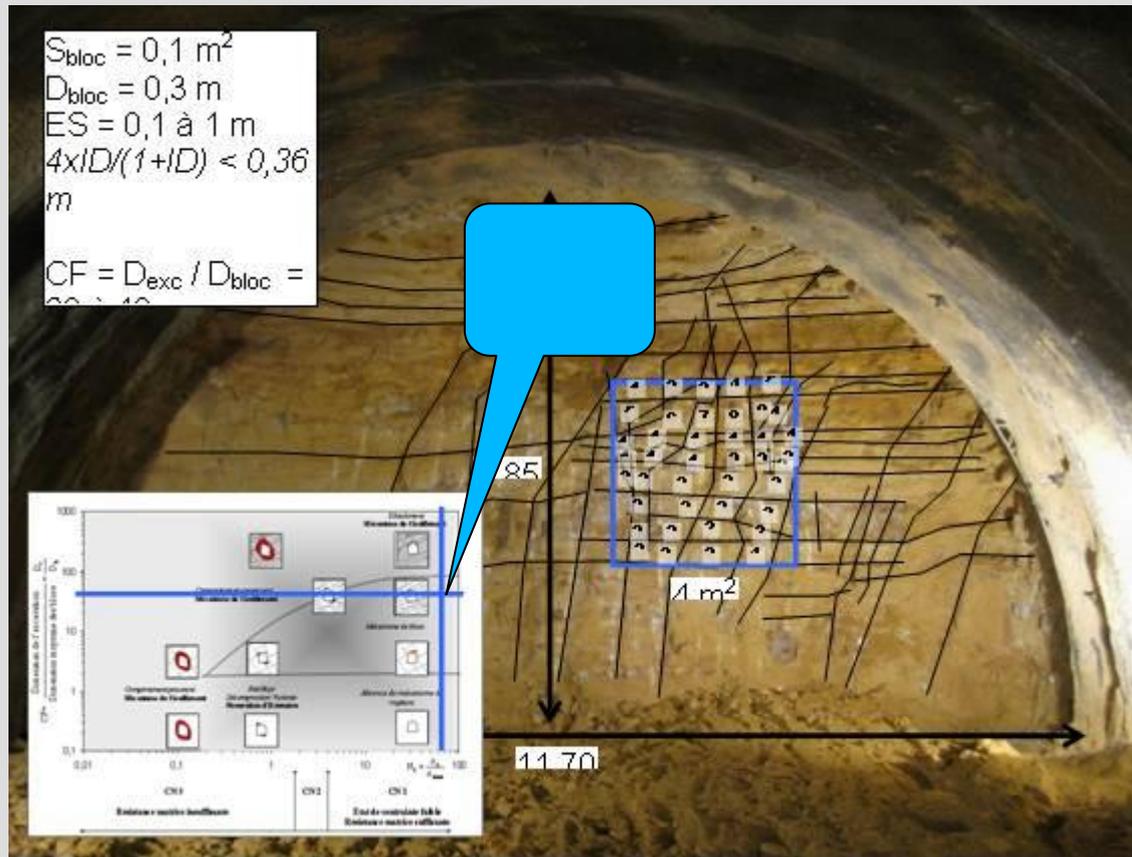
En déduire le comportement à l'excavation:



07 avril 2011

# Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

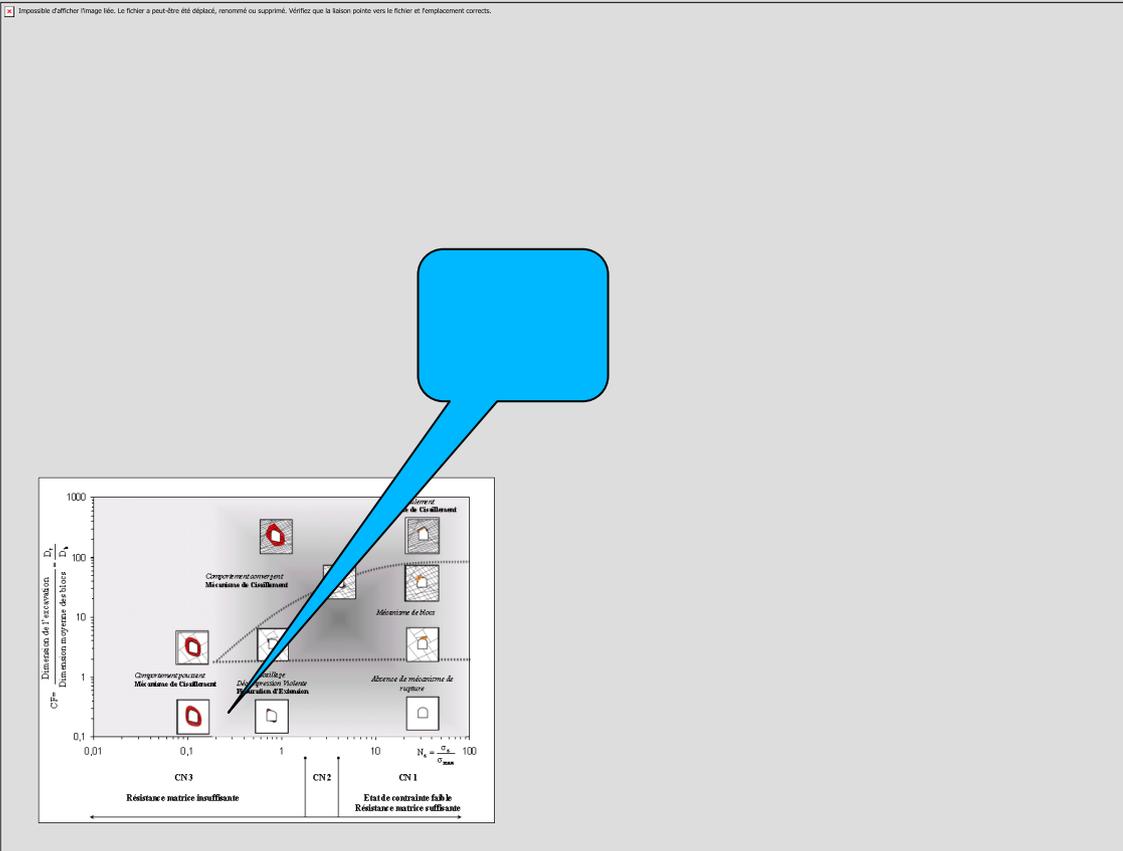
Prévoir le comportement à l'excavation ?



07 avril 2011

# Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

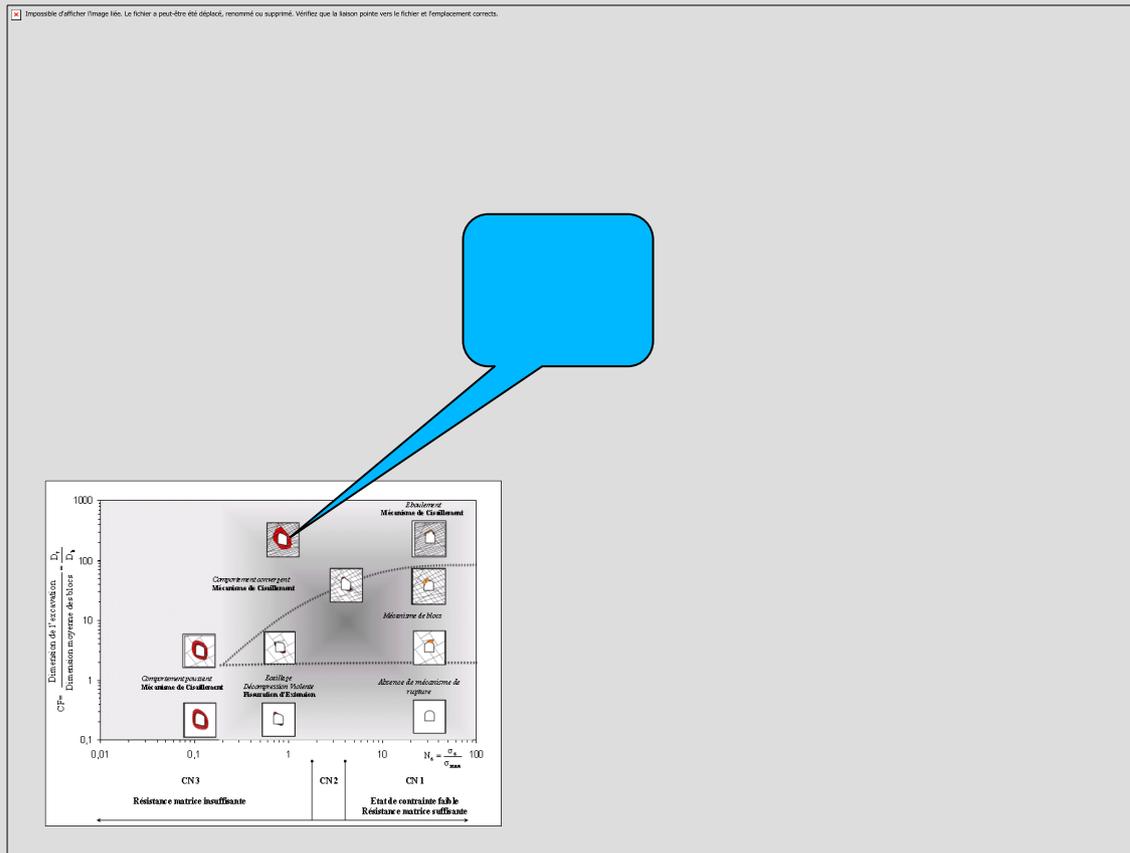
## Prévoir le comportement à l'excavation ?



07 avril 2011

# Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

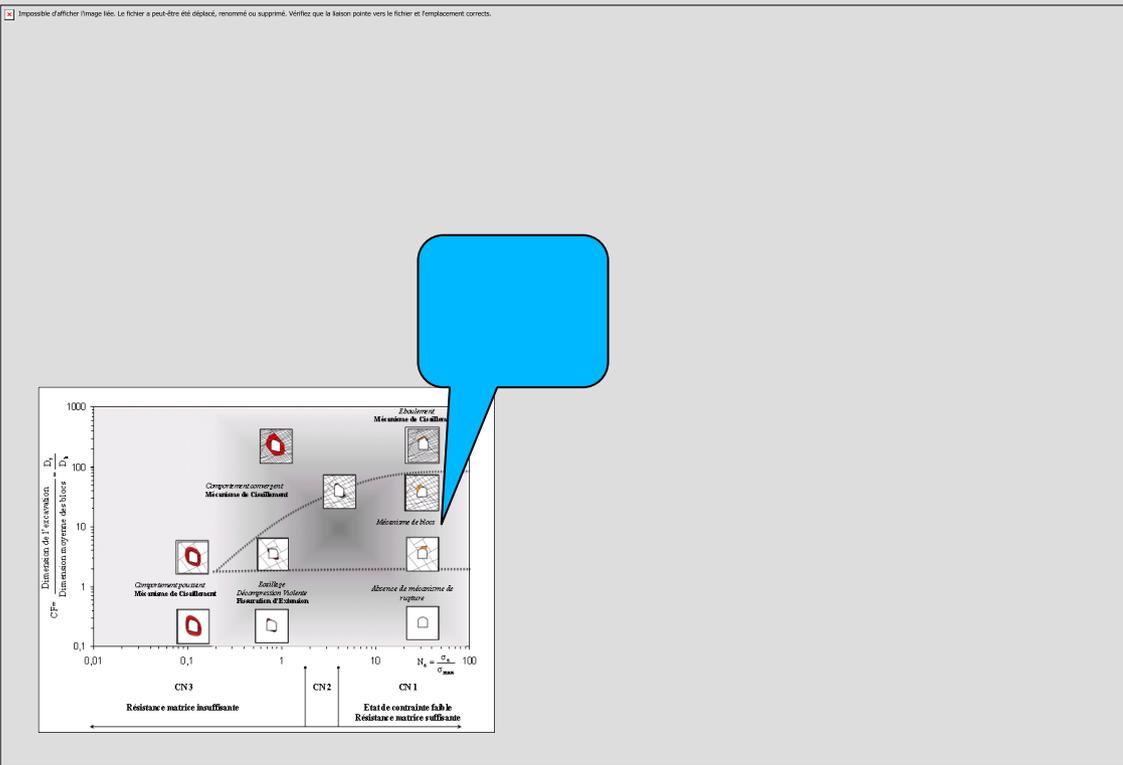
## Prévoir le comportement à l'excavation ?



07 avril 2011

# Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

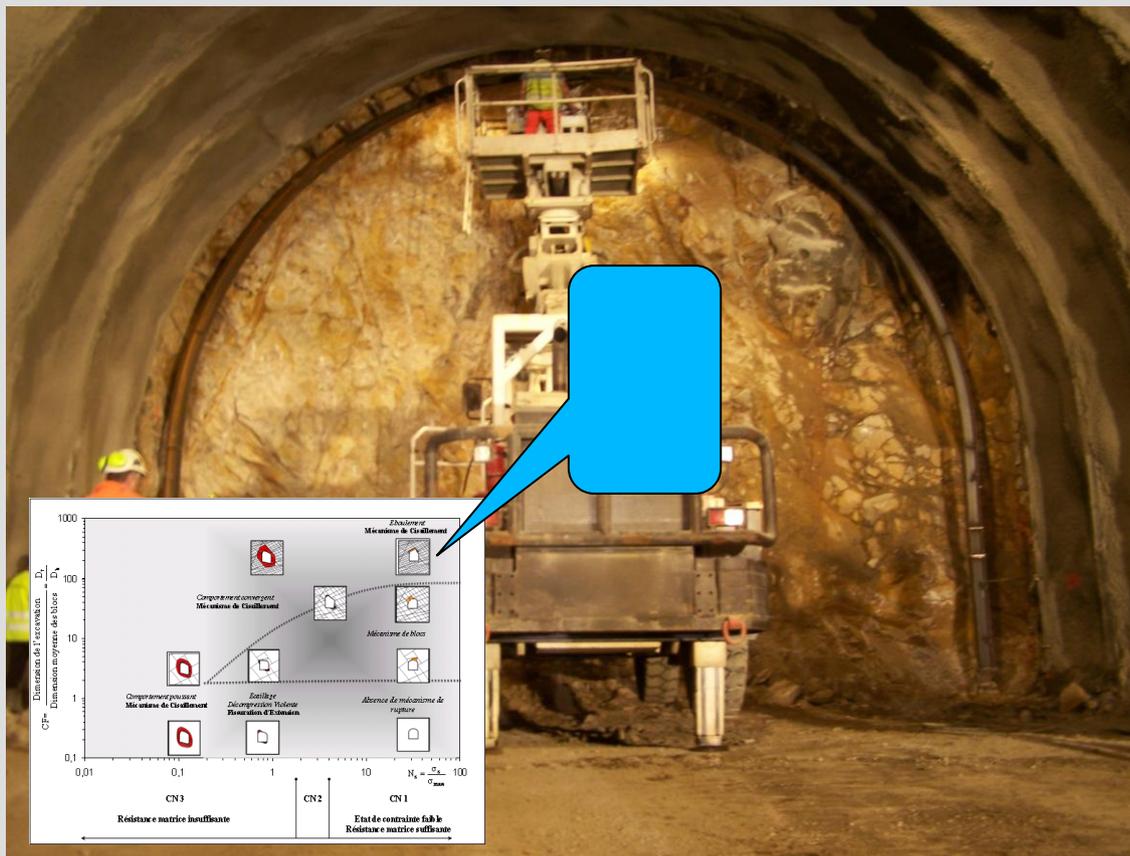
## Prévoir le comportement à l'excavation ?



07 avril 2011

# Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

## Prévoir le comportement à l'excavation ?



07 avril 2011

# Séance technique sur les travaux du GT30 de l'AFTES : « Conception et dimensionnement du boulonnage radial »

## Prévoir le comportement à l'excavation ?

