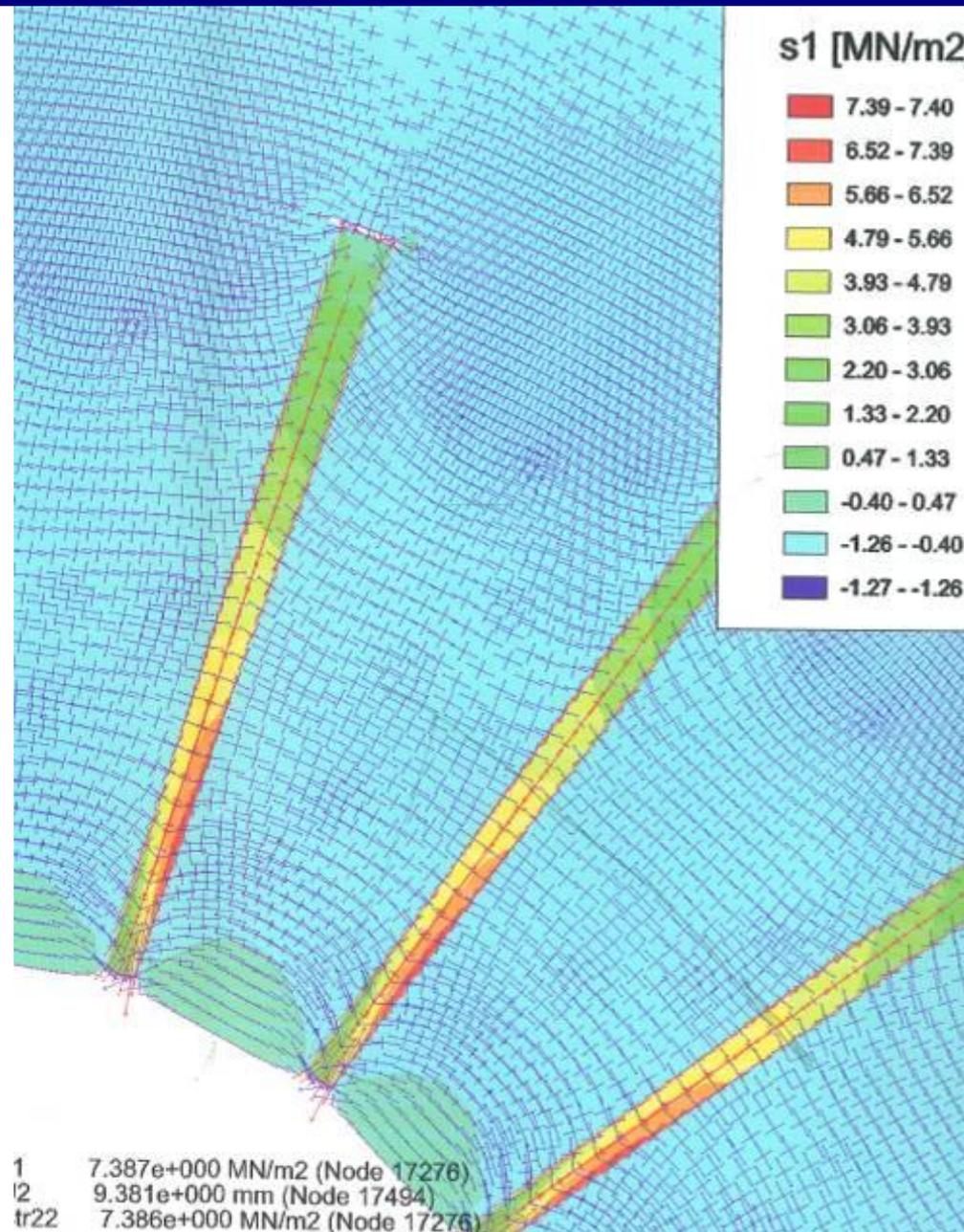


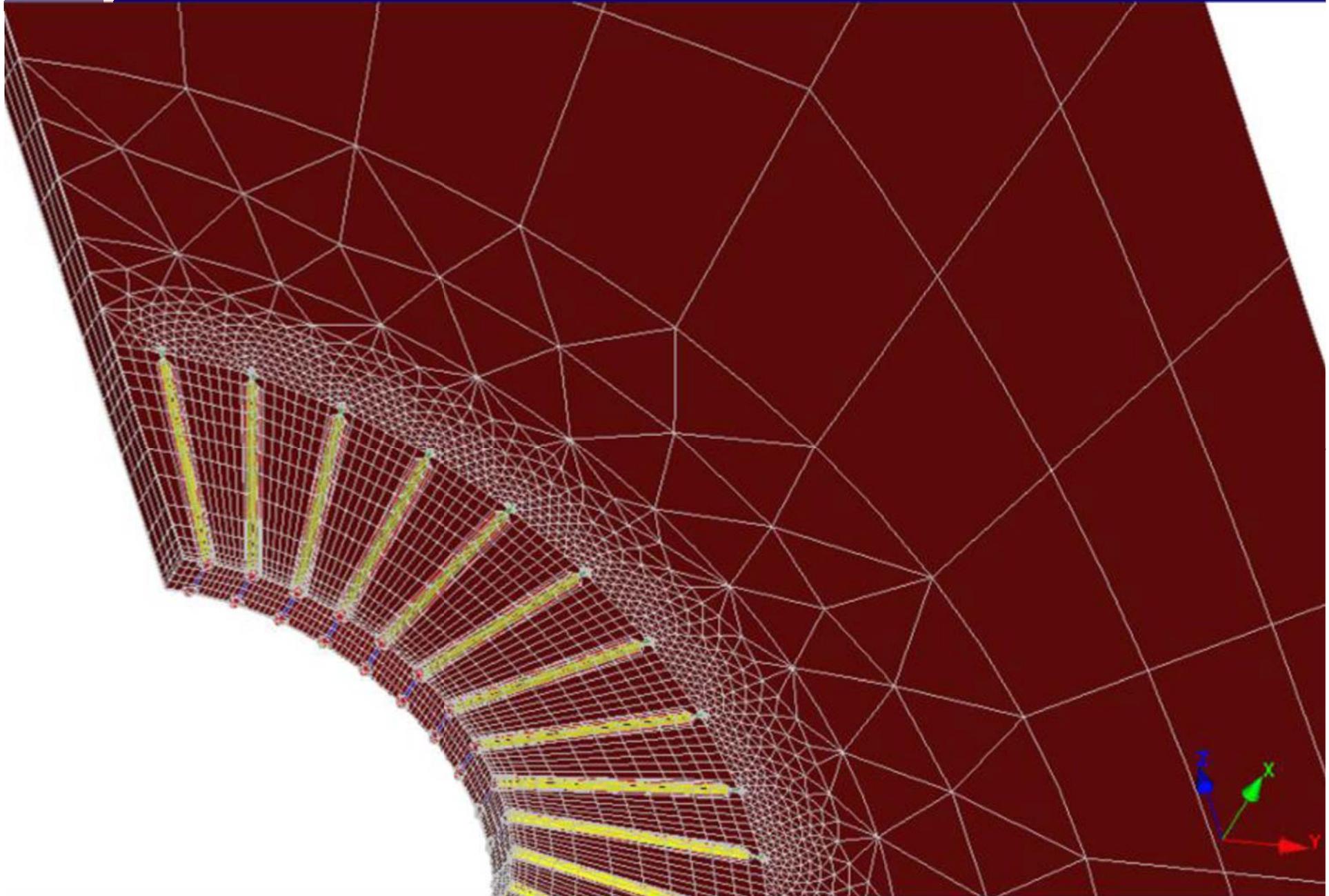
Fonctionnement d'une voûte armée par boulons scellés et béton projeté

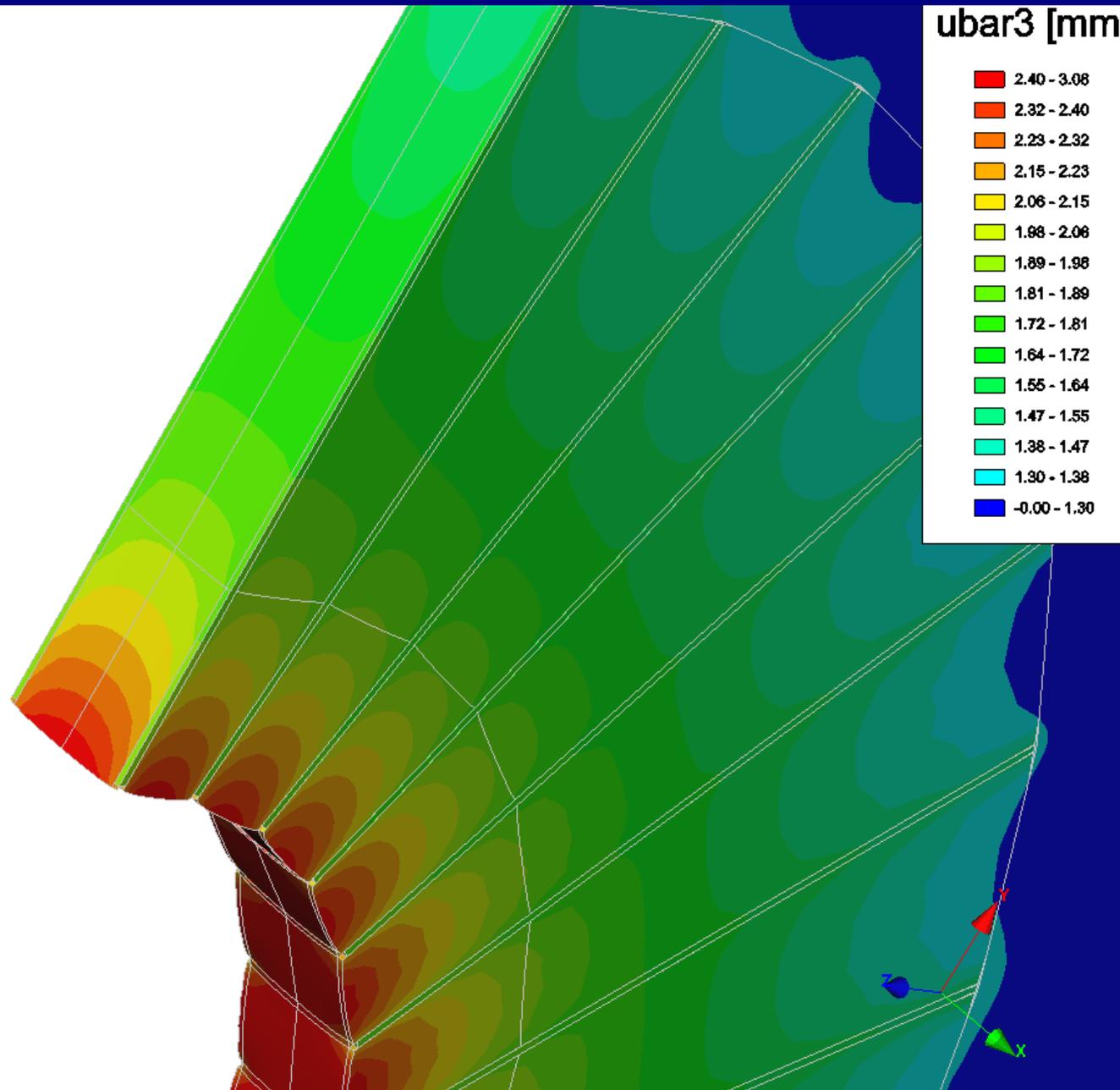
Réunion AFTES/CFMR
du 7 Avril 2011

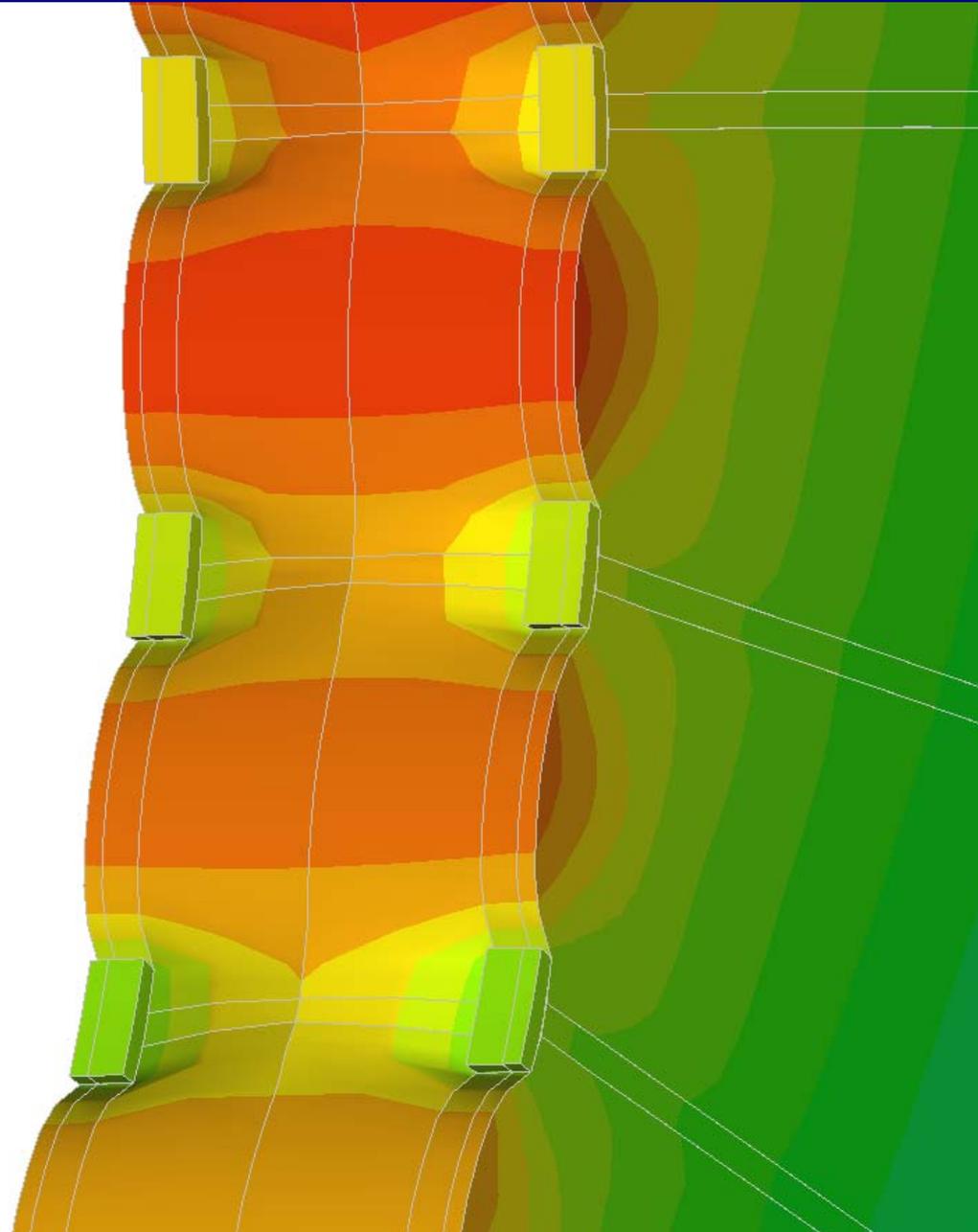
Modélisation et comportement du système

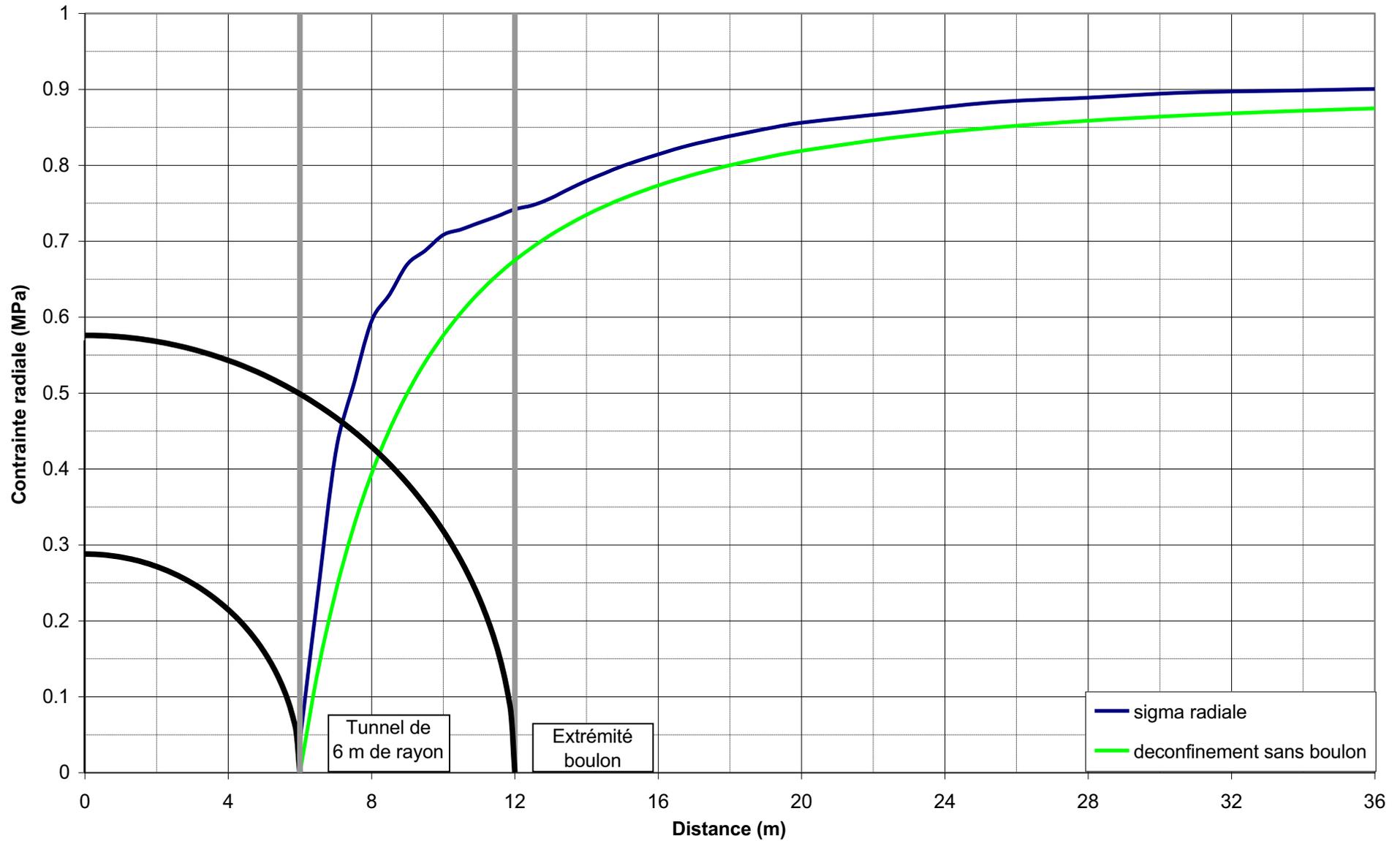
Boulons – Béton Projeté

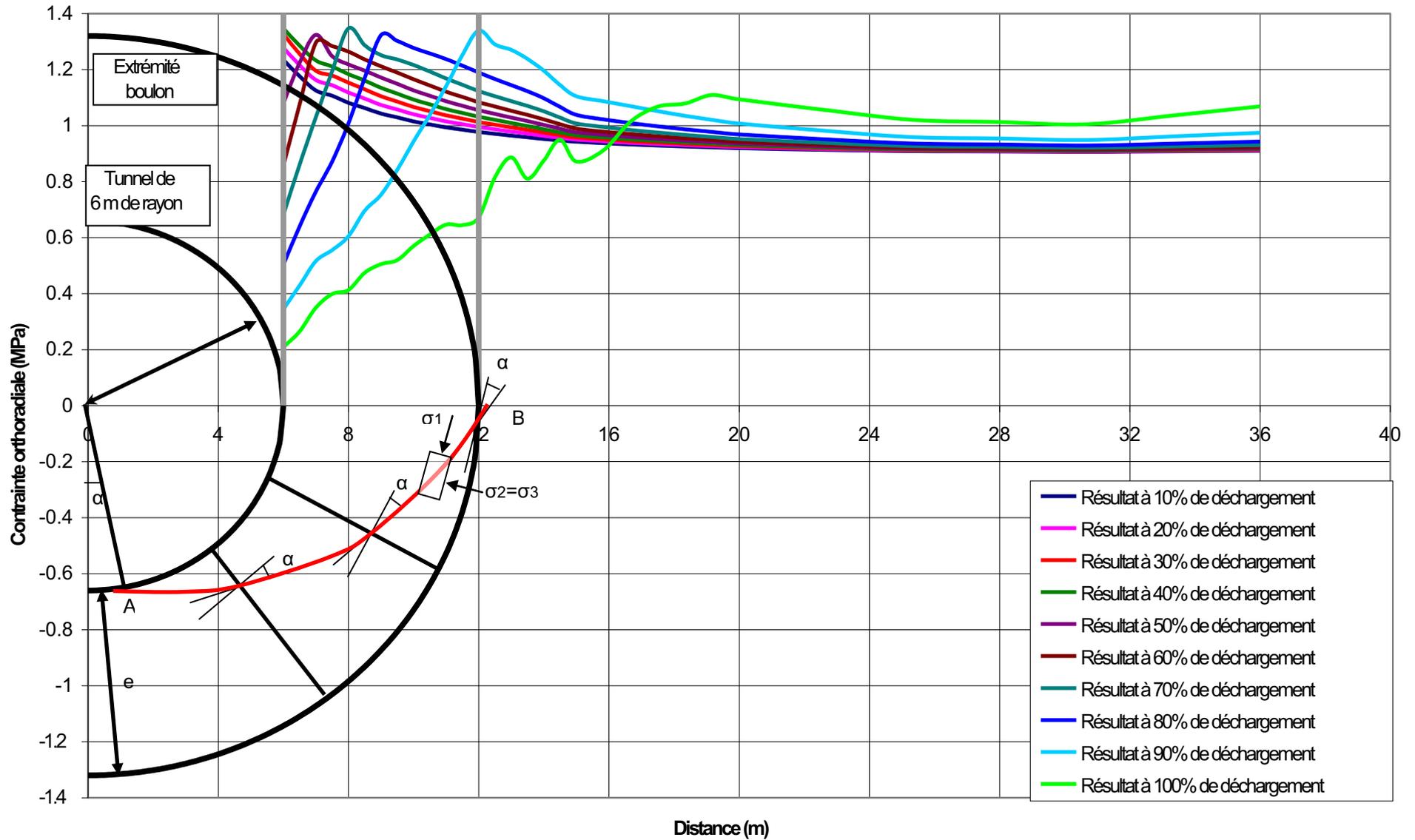












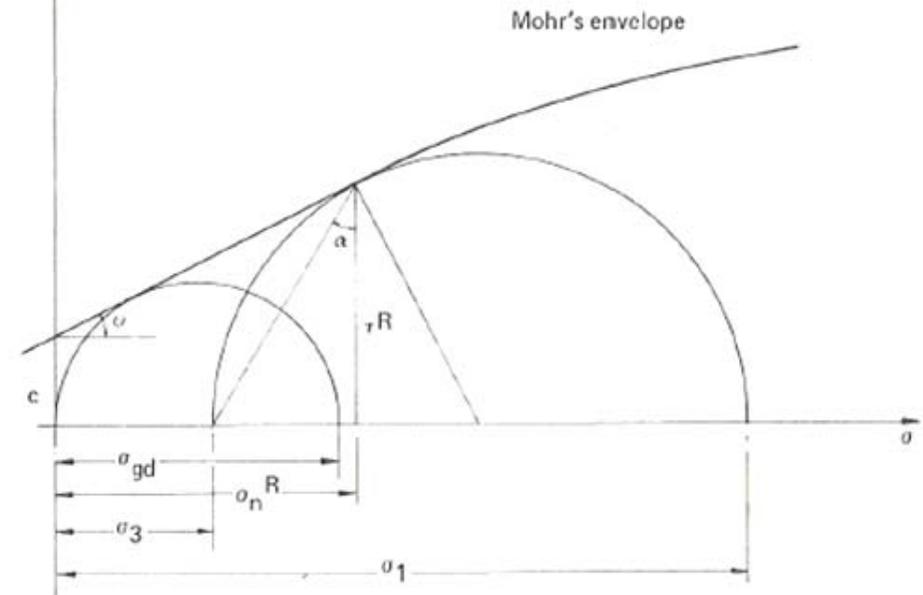
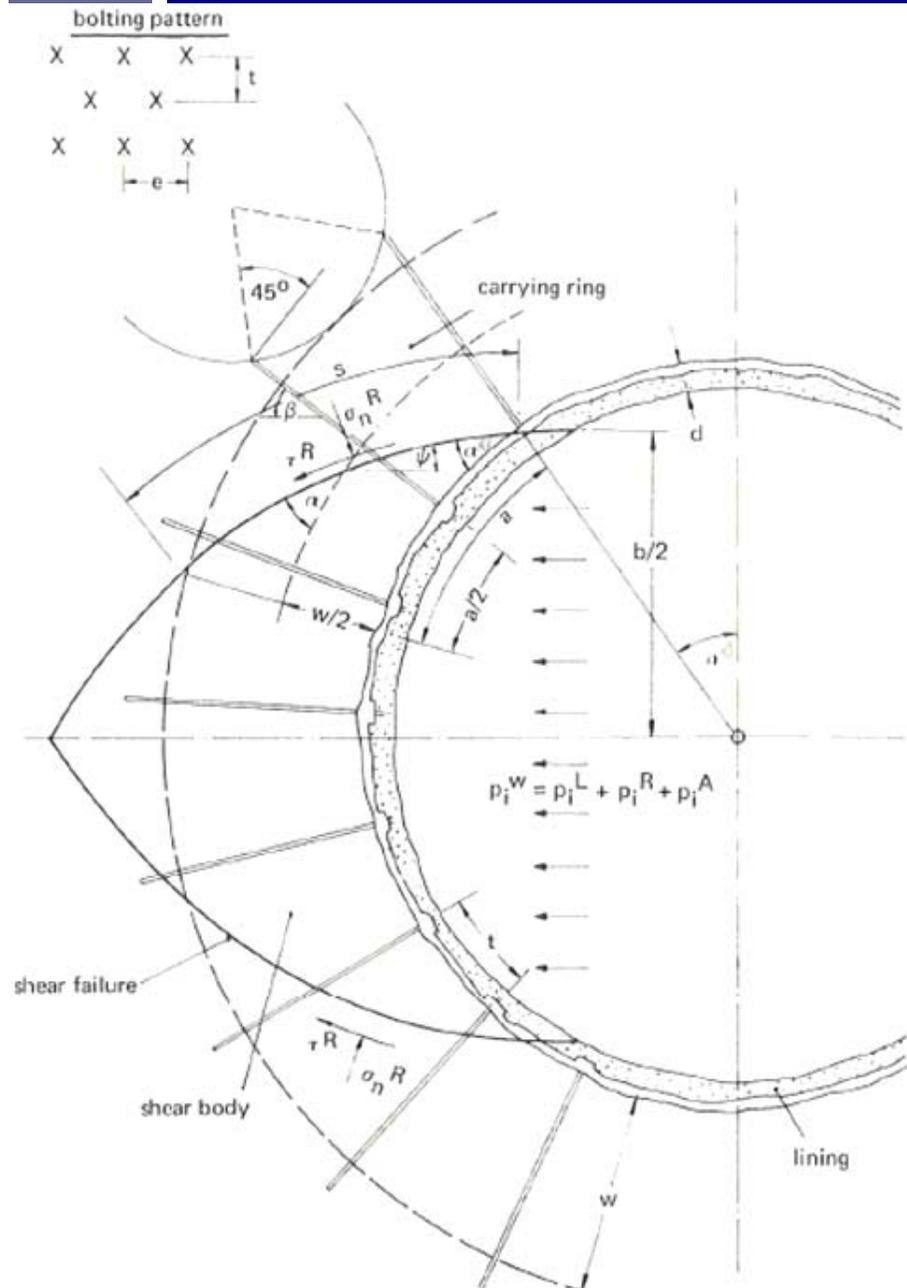
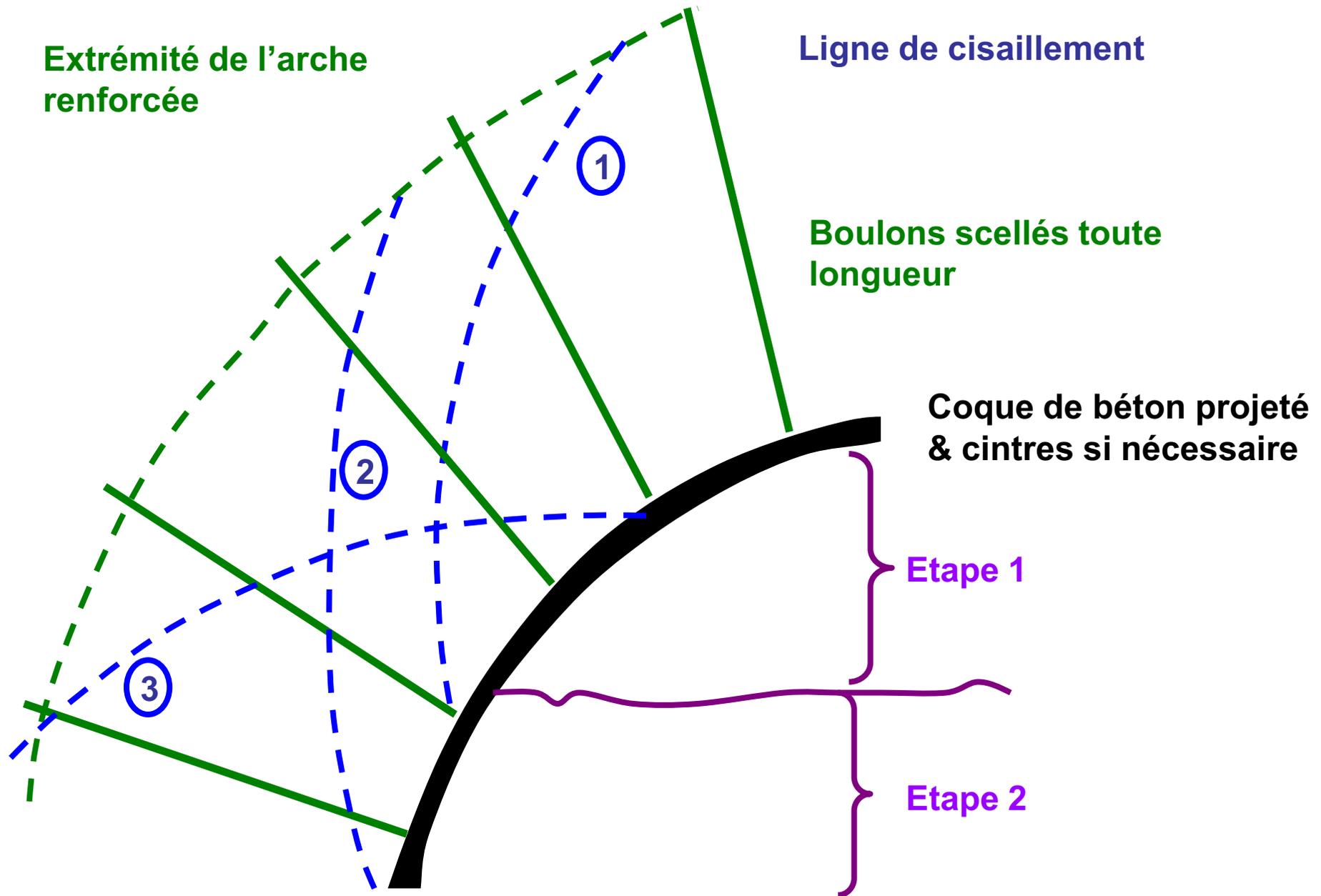


Fig. 3. Design scheme of the outer arch for a given carrying capacity. (The key is shown below left)

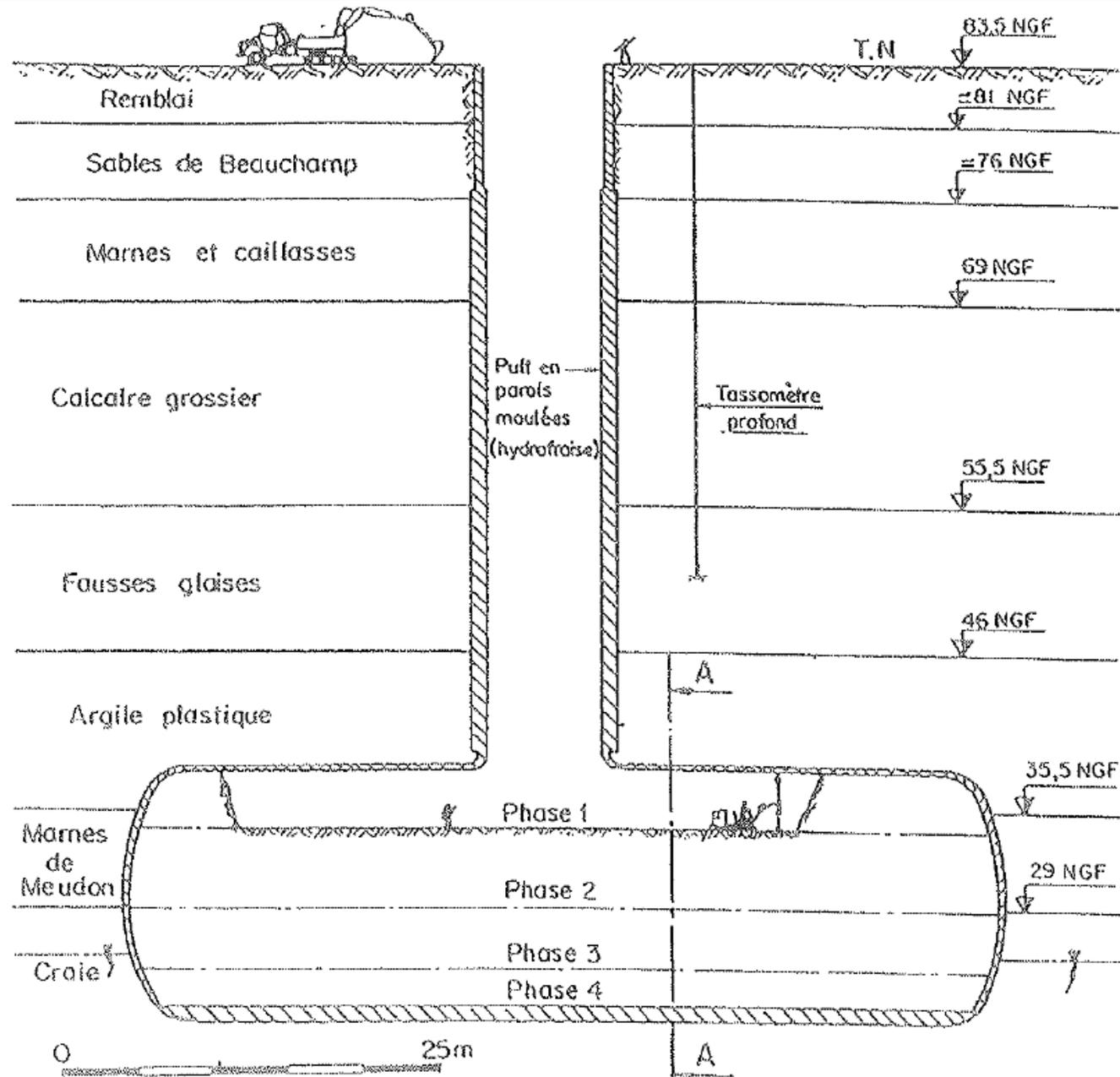


CONCLUSIONS

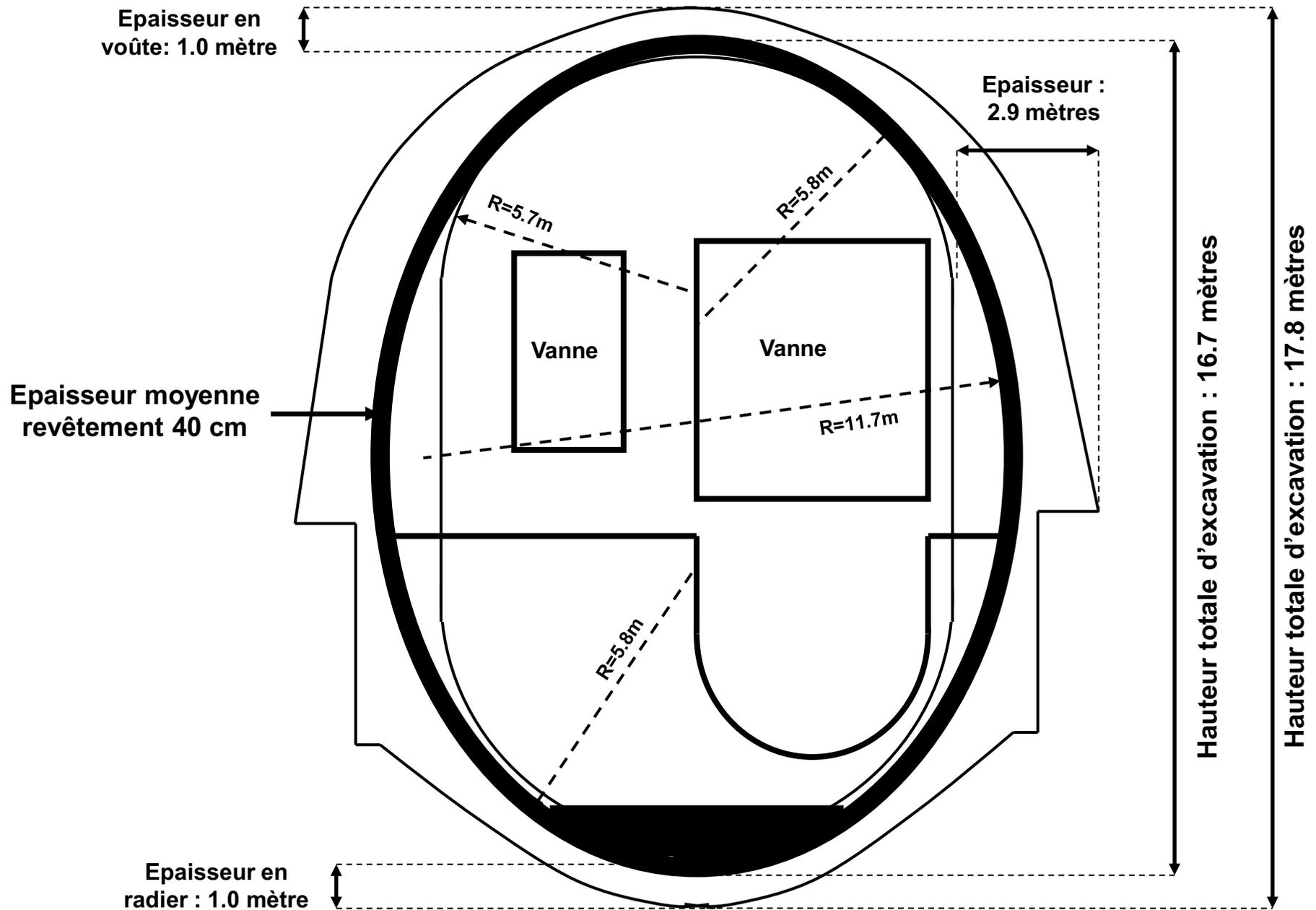
- La mobilisation de l'effort dans les boulons se fait par convergence de la paroi.
- La pression sur le béton projeté est très faible pour autant que sa raideur relative le soit aussi.
- Le développement de la voute porteuse avec la convergence repousse au large les contraintes tangentielles.
- Si les convergences se prolongent dans le temps , la solution est l'ajout de boulons et ensuite de béton projeté.
- La rupture d'une voute armé a lieu par cisaillement.

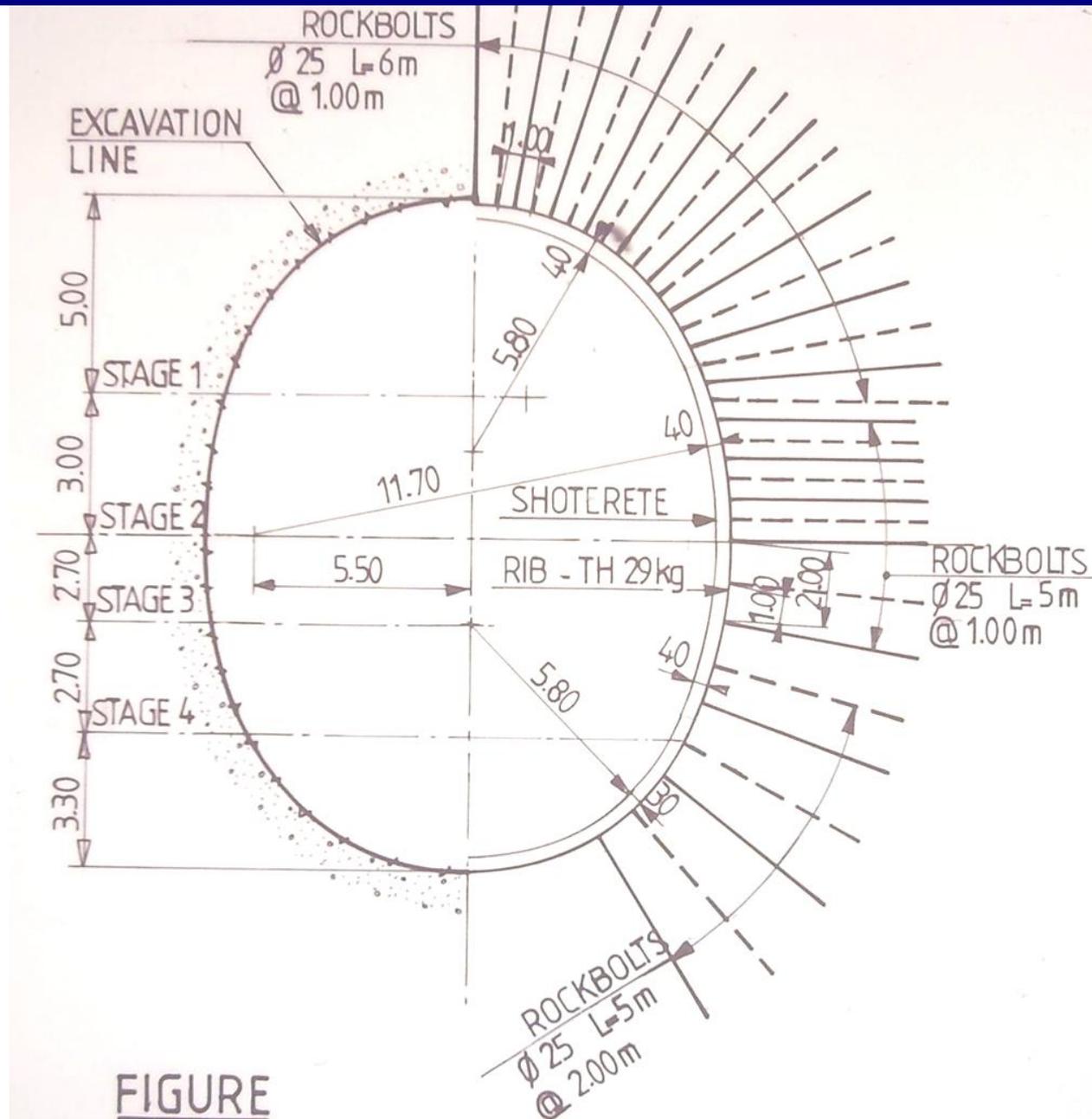
Exemple de mise en œuvre
Caverne du Lot 6, Suresnes

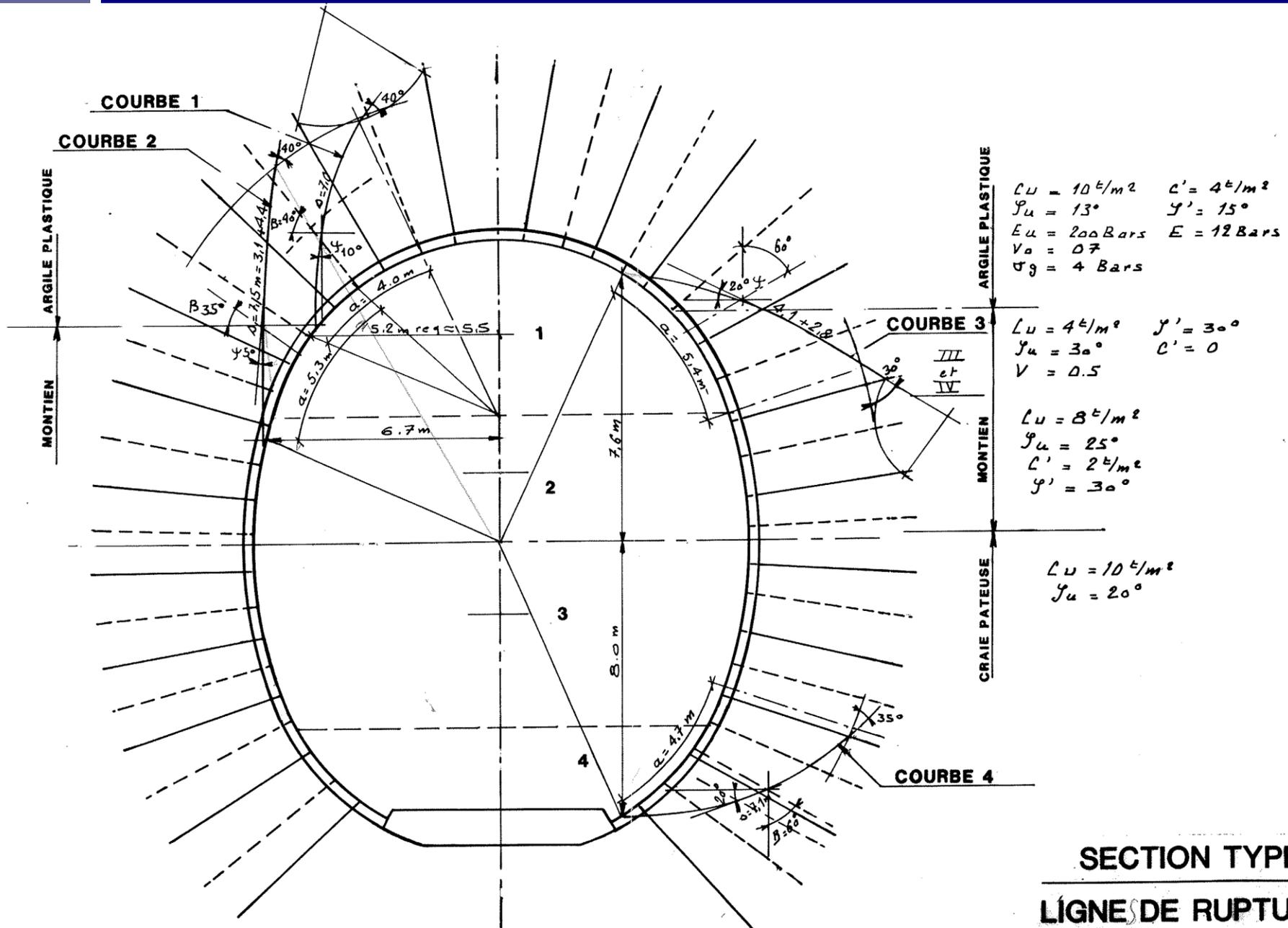
Coupe géologique du projet



Coupe transversale de la caverne

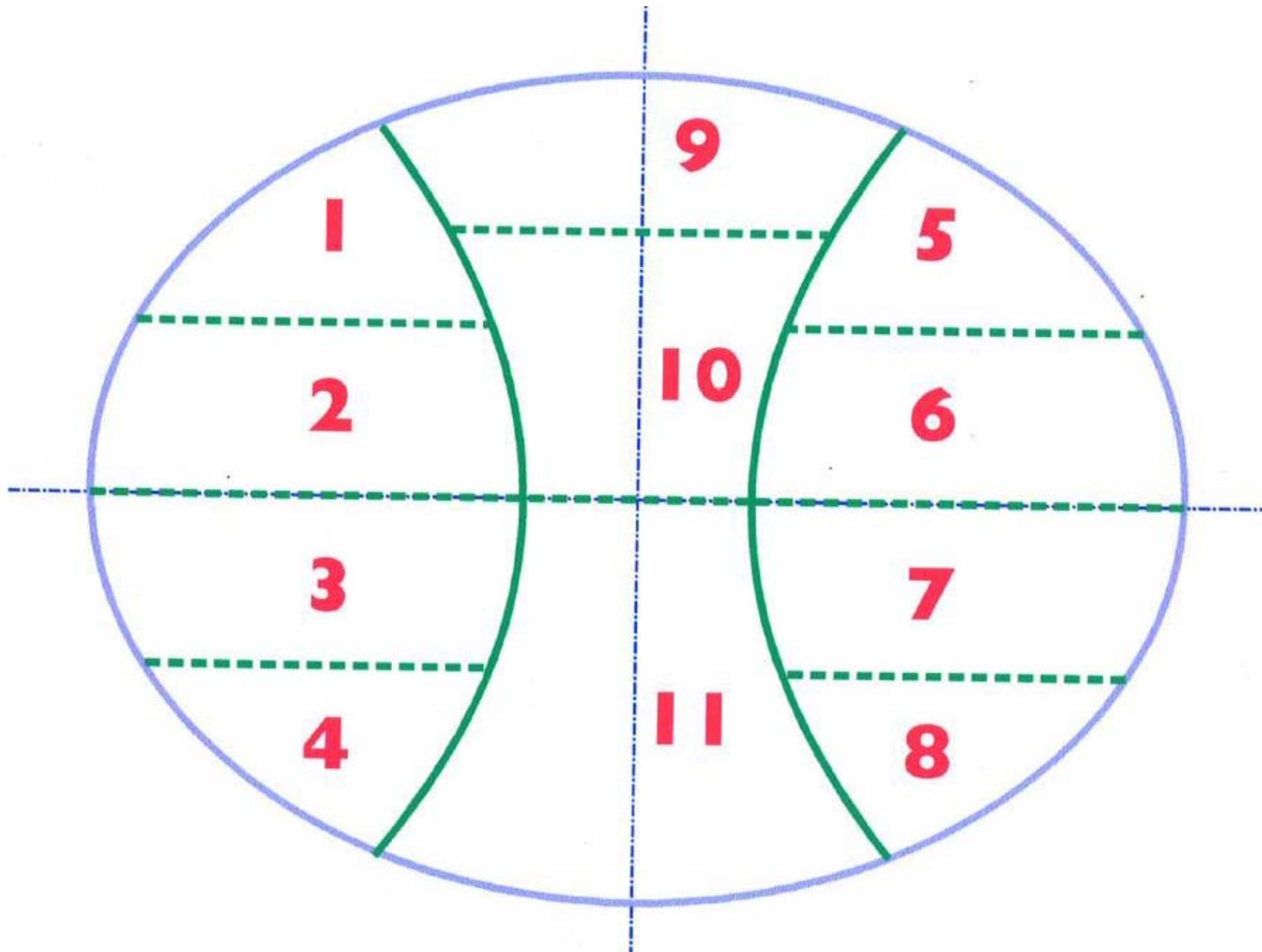




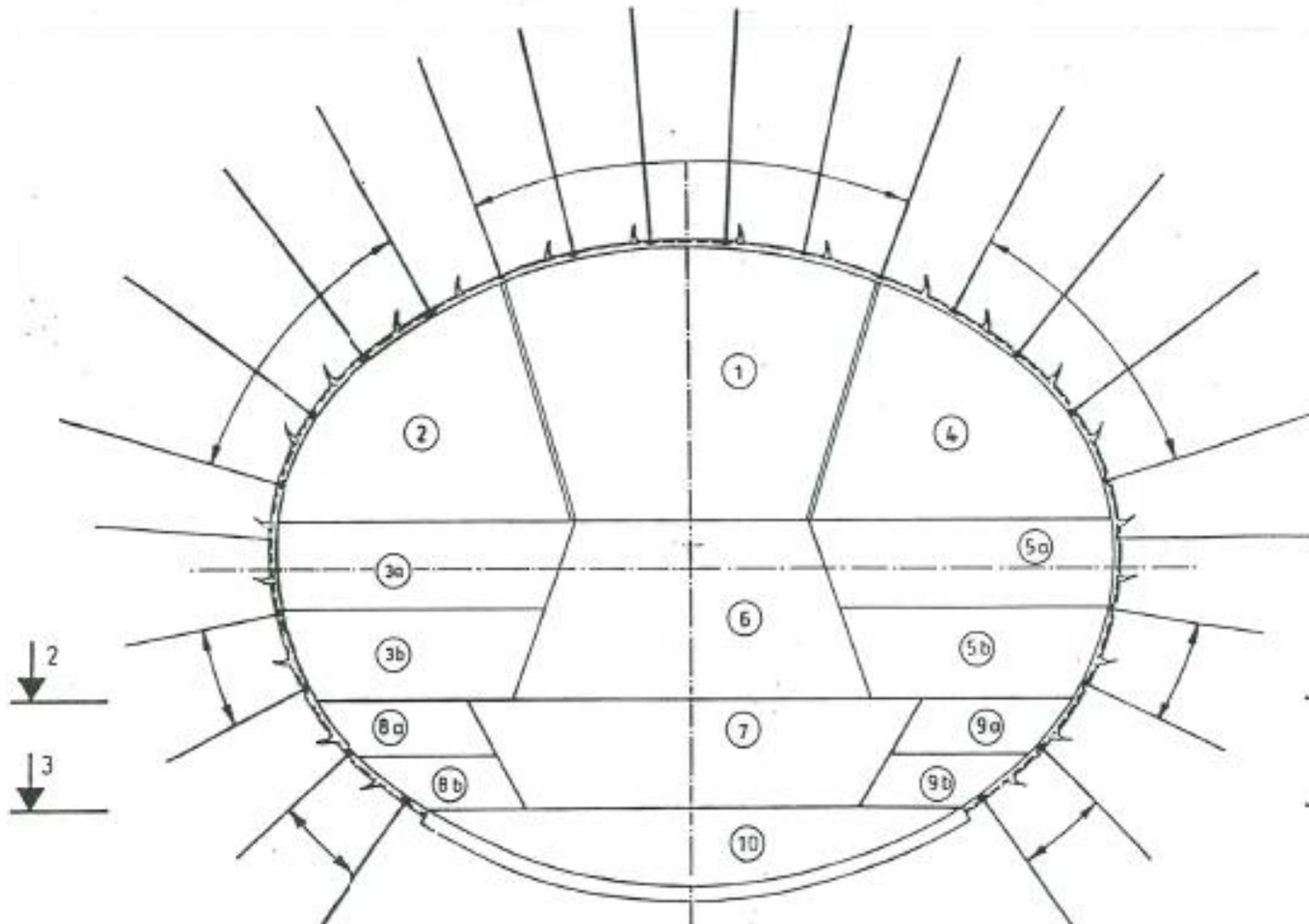




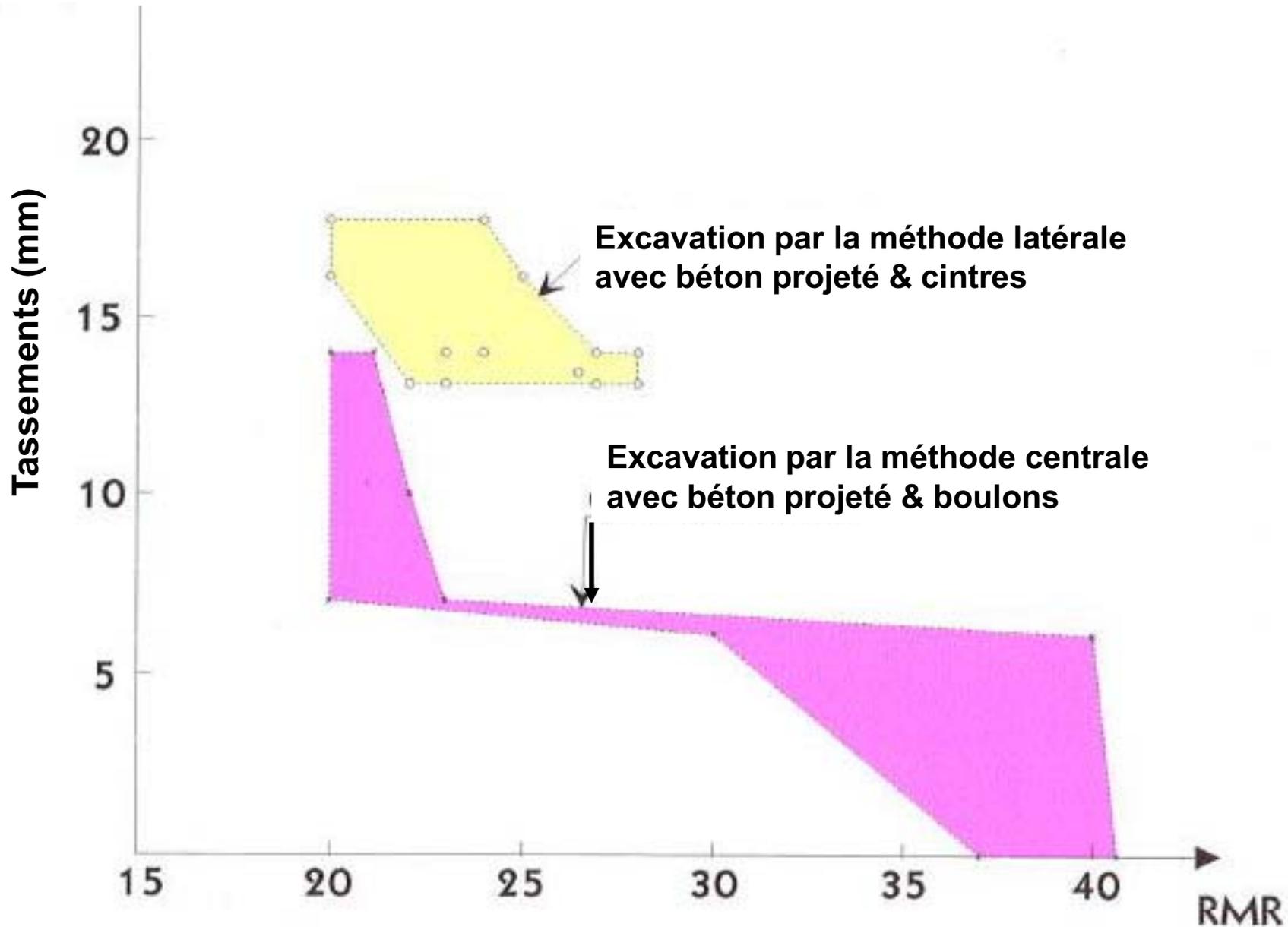
**Exemple de mise en œuvre,
Le métro d'Athènes**







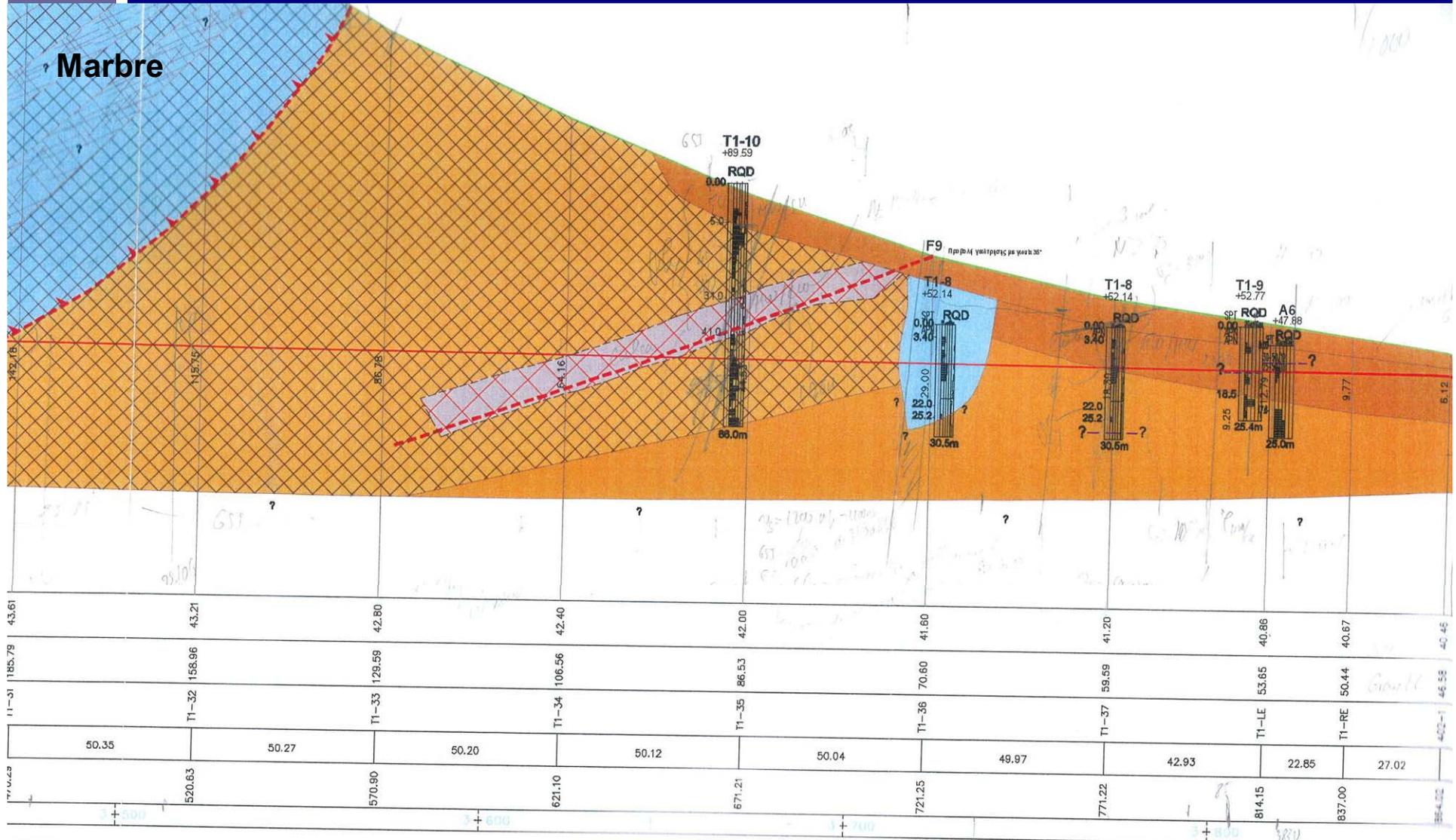




Exemple de mise en œuvre

Tunnel Maliakos – Kleidi

Profil géologique au droit de la tête nord du tunnel T1



Matériau tectonisé de phyllithe

Légèrement altéré, localement altéré

Soutènement temporaire type VII dans les phyllithes, $20 < \text{GSI} < 30$

- 5 cm de béton projeté sur le front si nécessaire
- Enfilage si nécessaire
- Front incliné

- Etape d'excavation 1
- Etape d'excavation 2
- Etape d'excavation 3

Boulons scellés $\Phi=25$ mm, $L=5.0$ m @ 1m^2

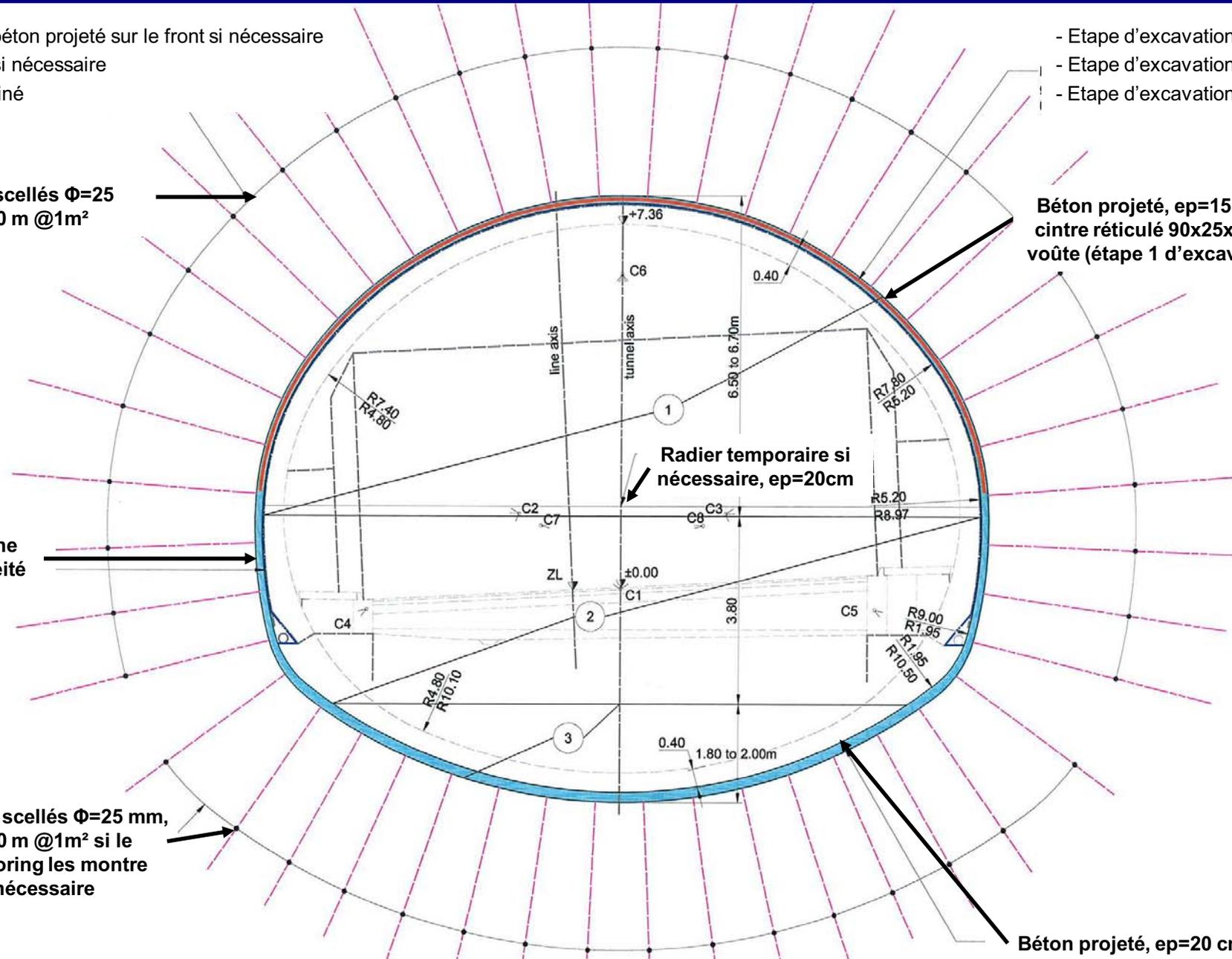
Béton projeté, $ep=15$ cm + cintre réticulé $90 \times 25 \times 30$ en voûte (étape 1 d'excavation)

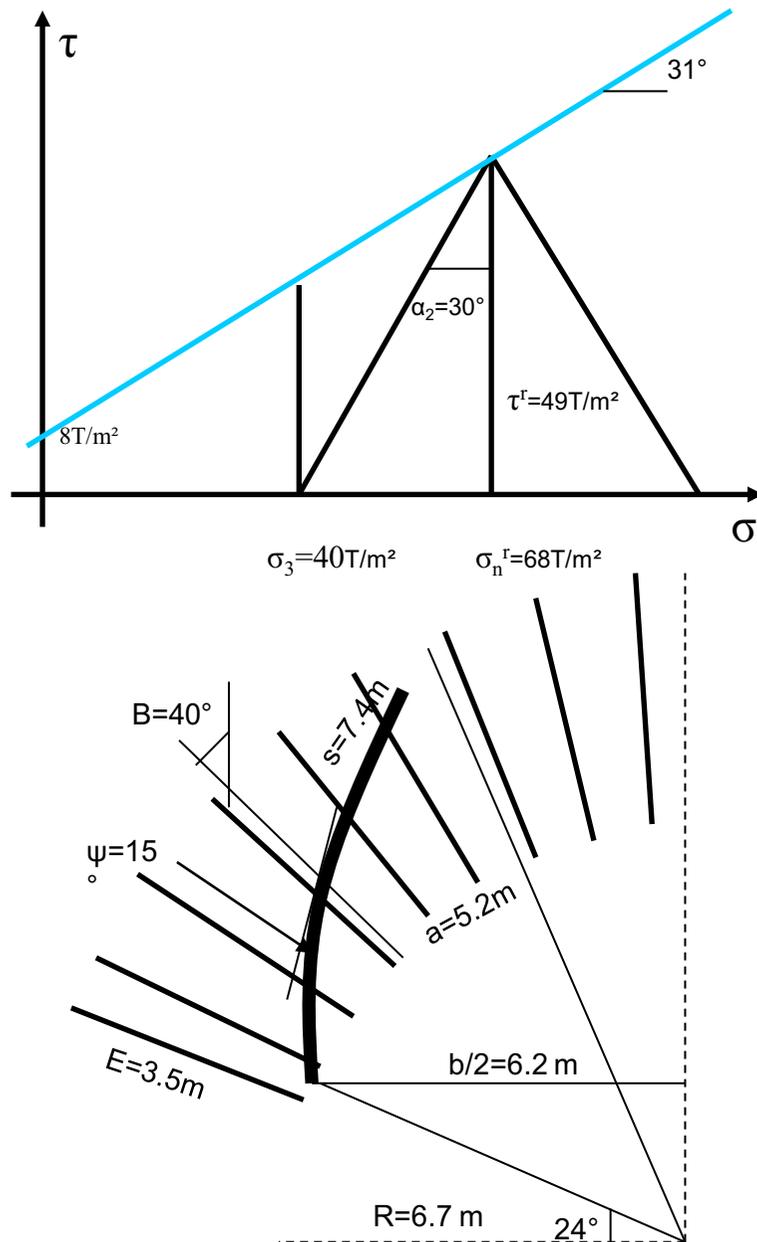
Membrane d'étanchéité

Radier temporaire si nécessaire, $ep=20$ cm

Boulons scellés $\Phi=25$ mm, $L=5.0$ m @ 1m^2 si le monitoring les montre nécessaire

Béton projeté, $ep=20$ cm





- Résistance du parement :

$$p_i^L = p_i^s + p_i^{st} = \frac{d \cdot \tau^s}{\sin(\alpha_s) \cdot b/2} + \frac{F^{st} \cdot \tau^{st}}{\sin(\alpha_s) \cdot b/2} = 20T/m^2$$

↑ Résistance du matériau parement (béton, ...)
↑ Résistance des renforts (cintres, ...)
↑

- Capacité portante de la voûte rocheuse :

$$p_i^r = \frac{s \cdot \tau^R \cdot \cos(\psi)}{b/2} - \frac{s \cdot \sigma_n^R \cdot \sin(\psi)}{b/2} = \frac{7.4 \cdot 49 \cdot \cos(15)}{6.2} - \frac{7.4 \cdot 68 \cdot \sin(15)}{6.2} = 35T/m^2$$

- Résistance des boulons :

$$p_i^A = \frac{a \cdot f^{st} \cdot \sigma_b \cdot \cos(\beta)}{e \cdot b/2} = \frac{20 \cdot 5.2 \cdot \cos(40)}{1.0 \cdot 6.2} = 13T/m^2$$

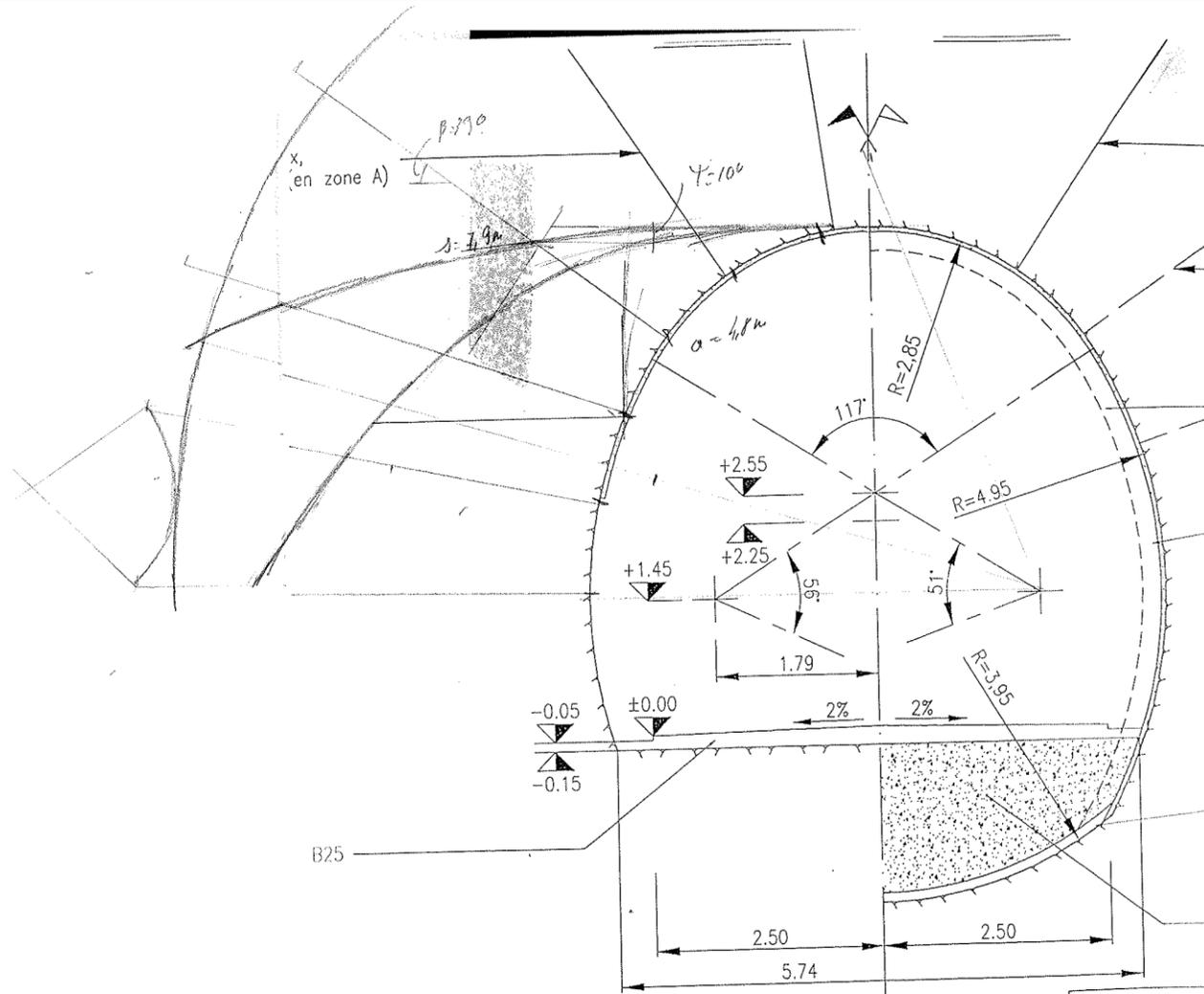
Pression à l'équilibre

- Capacité portante totale :

$$p_i^w = p_i^L + p_i^R + p_i^A = 20 + 35 + 13 = 68T/m^2 > p_{i \min} = 14T/m^2$$



**Exemple de mise en œuvre,
Descenderie du Lyon – Turin**



n
 l = 5 à 25 m
 avancement L > 25 m

Galeries d
 Tronçon ga
 Profils types G:
BE
 Bonnard et

Courbe Convergence – Confinement

