

Test 2015/2016 - CO APIGE

Question 1

1.1

Rayon intérieur : 5,45 m

Voussoirs 20 cm

Espace voussoirs/jupe : 5 cm

Épaisseur jupe : 10 cm

Rayon extérieur 6,00 m

1.2

$$\sigma_0 = 100 \times 22 = 2200 \text{ kPa}$$

$$\lambda_e = \frac{c \cdot \cos \varphi}{\sigma_0} + \tan \varphi = \frac{1200 \cdot \cos 40^\circ}{2200} + \tan 40^\circ$$

$$= 1,06 > 1$$

→ on reste dans le domaine élastique.

$$\frac{\sigma_0}{u_{\infty}} = \frac{E}{(1+\nu)R} = \frac{500}{1,3 \times 6} = 64,1 \text{ kPa/mm}$$

$$\rightarrow u_{\infty} = \frac{2200}{64,1} = 34,3 \text{ mm}$$

Voir schéma page 2.

Question 2

2.1 - Convergence au front :  $0,25 \times 34,32 = 8,6 \text{ mm}$

Au contact, soit avec 20 mm de convergence supplémentaire, le taux de confinement vaut :

$$\lambda = \frac{20 + 8,6}{34,3} = 0,83$$

Selon la loi  $\lambda(x)$  non soutenu, cette valeur est atteinte pour  $\frac{x}{R} = 0,825$ , soit  $x = 4,95 \text{ m}$

La jupe frotte donc sur  $12 - 4,95 = 7,05$  m

2.2 Pression fictive de confinement correspondant à  $\lambda = 0,83$  :  $p = (1 - 0,83) \times 2200 = 374$  kPa

Module de rigidité de la jupe :

$$K_j = \frac{p}{u/R} = \frac{E_s \cdot e}{R}$$

$$\Rightarrow \frac{p}{u} = \frac{E_s \cdot e}{R^2} = \frac{200000 \times 0,1}{6^2} = 556 \text{ kPa/mm}$$

Le point d'équilibre s'établit (voir schéma) à :

$$p = 329 \text{ kPa}$$

$u = 29,2$  mm, donc pour une convergence quasi égale à la convergence au contact

On peut donc considérer cette pression d'équilibre sur toute la longueur du contact.

2.3 Dans la jupe :  $\sigma = \frac{p \cdot R}{e} = \frac{0,329 \times 600}{0,100} = 19,7 \text{ MPa}$

2.4 - Frottement total :

$$F = \mu \cdot p \cdot \pi \cdot D \cdot L = 0,31 \times 0,329 \times \pi \times 6 \times 7,05 = 15,3 \text{ kN} \quad (1530 \text{ tonnes})$$

2.5 Module de rigidité des voisines :

$$K_v = \frac{p}{u/R_v} = \frac{E_c \cdot e_v}{R_v}$$

$$\Rightarrow \frac{p}{u} = \frac{E_c \cdot e_v}{R_v^2} = \frac{10000 \times 0,10}{5,65^2} = 125,3 \text{ kPa/mm}$$

Le pont d'équilibre s'établira (voir schéma):

$$p = 220 \text{ kPa}$$

$$u = 30,9 \text{ mm}$$

Contrainte moyenne de compression du béton:

$$\sigma_0 = \frac{0,220 \times 5,65}{0,40} = 3,1 \text{ MPa}$$

### Question 3

3.1. Entunnel non soutenu, le ~~cas~~ de confinement à l'extrémité de la jupe vaut:

$$\lambda(12\text{m}) = 1 - \frac{0,75}{\left(1 + \frac{1}{3} \frac{12}{6}\right)^2} = 0,94$$

$$\text{Avec } u = 0,94 \times 34,3 = 32,39 \text{ mm}$$

Compte tenu de la convergence au front de 8,6 mm, la surcoupe mini pour éviter le contact sera de:

$$32,4 - 8,3 = \underline{24,1 \text{ mm}}$$

3.2. Avec  $p_{of} = 400 \text{ kPa}$ :

$$\lambda_0 = 0,21 \times \left(1 - \frac{400}{2200}\right) = 0,20 \rightarrow u = 6,9 \text{ mm}$$

À la distance  $x = 12 \text{ m}$ , entunnel non soutenu:

$$\lambda = 1 - \frac{0,8}{\left(1 + \frac{1}{3} \frac{12}{6}\right)^2} = 0,91 \rightarrow u = \underline{32,4 \text{ mm}}$$

$$\Delta u = 25,5 \text{ mm}$$

La surcoupe de 20 mm reste donc insuffisante pour éviter le contact.

Au contact, le taux de confinement vaut :

$$n = \frac{20 + 6,9}{34,3} = 0,78$$

$$\text{soit } p = 2200 \times (1 - 0,78) = 475 \text{ hPa}$$

C'est la valeur minimale de confinement autour de la jupe qui permettrait d'éviter le contact.

