

Milieux Continus Midterm 1 (mercredi 5 Novembre 2025)

Exercice 1 Ecoulement potentiel

(2/2/2/2/3/3 soit 14 points)

On considère un écoulement défini par le champ de vitesse $\mathbf{V} = 4x_1 \mathbf{e}_1 - 2x_2^2 \mathbf{e}_2 + x_3^2 \mathbf{e}_3$ sur le domaine $\Omega = \{(x_1, x_2, x_3) / x_1^2 + x_2^2 \leq 4, 0 \leq x_3 \leq 3\}$. On note $\partial\Omega$ la surface du domaine fermé Ω .

1. Dessinez le domaine Ω et montrez que l'écoulement est irrotationnel.
2. Calculer à l'aide du théorème de la divergence le flux Q du champ de vitesse à travers la surface $\partial\Omega$ du domaine fermé Ω , $Q = \int_{\partial\Omega} \vec{V} \cdot \vec{n} \, dS$. Pour calculer l'intégrale triple, on utilisera soit le repère (x,y,z) soit le repère cylindrique (r,θ,z) .
3. Déterminer le potentiel de vitesse ϕ tel que sa valeur en $(1,0,0)$ soit -1 et que $\vec{v} = \vec{\nabla}\phi$.
4. Calculer le vecteur accélération du fluide, $\vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v}$
5. Pour un champ de vitesse quelconque \vec{v} , montrer que $(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v}$ peut aussi s'écrire

$$\frac{1}{2} \vec{\nabla} \vec{v}^2 - \vec{v} \wedge \overrightarrow{\text{rot} \vec{v}}.$$

6. Calculer alors le vecteur accélération du fluide en utilisant la formule

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \frac{1}{2} \vec{\nabla} \vec{v}^2 - \vec{v} \times \overrightarrow{\text{rot} \vec{v}}.$$

BONUS : calculer l'intégrale triple de la question 3 avec l'autre repère possible, (x,y,z) ou (r, θ, z) .

Exercice 2 : Barrage poids

(4/4/4/4 soit 16 points)

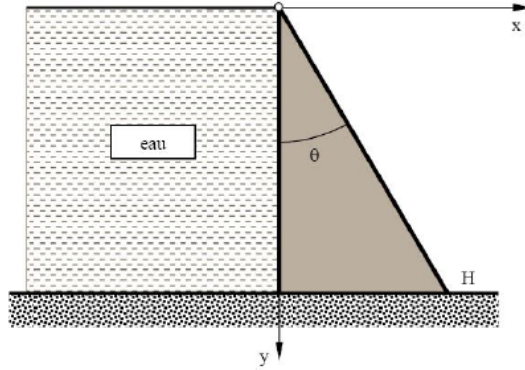
On considère un barrage poids dans une coupe bidimensionnelle (voir figure). La face retenant l'eau est verticale, celle en aval fait un angle $\theta = 45$ degrés avec la gravité. La densité du béton est notée ρ_b , celle de l'eau, ρ_e . Dans le cas où le béton est supposé trois plus dense que l'eau, $\rho_b = 3\rho_e$, le tenseur des contraintes en un point (x,y) du barrage s'écrit en déformation plane :

$$\sigma = -\rho_e g \begin{pmatrix} y & x & 0 \\ x & 2y-x & 0 \\ 0 & 0 & (3y-x)/4 \end{pmatrix}$$

1. Vérifiez que l'équilibre statique dans le barrage est respecté, qu'une pression hydrostatique s'applique bien sur la face $x = 0$ et que la pression est nulle sur la face $x = y \, \text{tg} \, \theta$.
2. Déterminez les trois valeurs propres du tenseur σ lorsqu'on se place sur l'axe $x = 0$. Classez les valeurs propres par ordre décroissant puis dessinez le tri-cercle de Mohr et donnez sa signification.
3. A quel(s) endroit(s) le béton sur l'axe $x = 0$ risque-t-il de plastifier en premier. On utilisera le critère de Tresca qui prédit que la plastification commence aux endroits de cisaillement maximum.

4. Calculer la force de réaction du sol \mathbf{R} sur la paroi inférieure du barrage en $y = H$ pour une longueur L_z de barrage selon l'axe z . On fera apparaître la masse du barrage m_b et sa masse équivalente en eau, m_e .

Bonus : que vaut σ sur la ligne $y = x$ et quel(s) point(s) vont plastifier en premier sur cette ligne ?

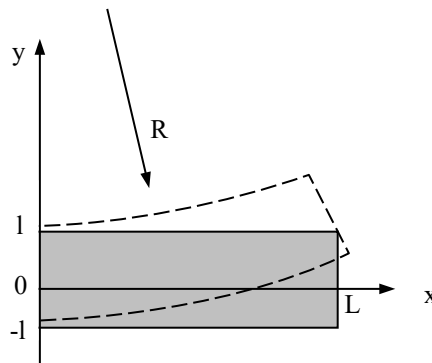


Barrage poids

Exo3. Déformation d'une plaque encastree

(2/2/2/2/2/2/2/3/3 soit 20 points)

On considère la déformation en deux dimensions d'une plaque relativement mince de longueur L , d'épaisseur $2l$ et de largeur L_z . Après déformation, la plaque qui est encastree dans un support sur la paroi $x = 0$ prend la forme d'un arc de cercle de rayon moyen R . Dans ce cas, un point $M(x,y)$ est déplacé en $M'(x',y')$ de coordonnées : $x' = x \left[1 - \frac{y}{R} \right]$ et $y' = y + \frac{x^2}{2R}$.



- 1 Vérifier que la plaque est bien encastree sur la paroi $x = 0$.
- 2 Calculer le tenseur gradient de la déformation \mathbf{L} .
- 3 Calculer le tenseur de Cauchy-Green \mathbf{B} .
- 4 Calculer le tenseur de Green-Lagrange $\boldsymbol{\epsilon}_{GL}$. Sous quelles conditions sur L et l ce tenseur peut-il être considéré de petites déformations dans l'entier de la plaque ?
- 5 Calculer le tenseur linéarisé des déformations $\boldsymbol{\epsilon}$ correspondant aux petites déformations.
- 6 Dans l'approximation des petites déformations, déterminer la ligne neutre définie par $\boldsymbol{\epsilon} = \mathbf{0}$ et détailler les états de déformations (cisaillement, traction, compression) de part et d'autre de cette ligne neutre.
- 7 En supposant un comportement élastique isotrope de coefficients de Lamé μ et λ , le champ de contrainte est alors donné par $\boldsymbol{\sigma} = 2\mu\boldsymbol{\epsilon} + \lambda\text{Tr}(\boldsymbol{\epsilon})\mathbf{I}$. Que vaut alors le tenseur $\boldsymbol{\sigma}$ en 2D ?
- 8 Calculer la densité de force de contact \mathbf{t} sur la paroi $x = 0$
- 9 Calculer la force de réaction totale du support \mathbf{R} sur la paroi $x = 0$.

Corrigé

Exo 1 : écoulement potentiel

1- En renommant les coordonnées (x,y,z), le domaine Ω est un cylindre d'axe Oz, de rayon

$R=2$ et délimité par les plans $z = 0$ et $z = H$. On a donc : $\vec{V} = \begin{pmatrix} 4x \\ -2y^2 \\ z^2 \end{pmatrix}$. Le domaine Ω est le

cylindre de rayon 2 et d'axe z.

2- $\text{rot}\vec{V} = \vec{\nabla} \wedge \begin{pmatrix} 4x \\ -2y^2 \\ z^2 \end{pmatrix} = \vec{0}$ donc l'écoulement est bien **irrotationnel**.

3- Le théorème de la divergence nous permet d'écrire :

$$Q = \int_{\partial\Omega} \vec{V} \cdot \vec{n} \, dS = \int_{\Omega} \text{div}\vec{V} \, d\Omega = \int_{\Omega} (4 - 4y + 2z) \, d\Omega$$

L'intégrale de y sur le volume Ω vaut zéro : le volume étant symétrique par rapport au plan $x = 0$ et la fonction y est impaire. Ainsi

$$Q = \int_{\Omega} (4 - 4y + 2z) \, d\Omega = 4 \int_{\Omega} d\Omega - 4 \int_{\Omega} y \, d\Omega + 2 \int_{\Omega} z \, d\Omega = 4\Omega - 0 + 2 \int_{\Omega} z \, dx \, dy \, dz = 48\pi + 2 \int_0^3 z \, dz \int_S dx \, dy$$

$$Q = 4\Omega + 2 \int_{\Omega} z \, dx \, dy \, dz = 48\pi + 2S \int_0^3 z \, dz = 48\pi + 9S = 48\pi + 36\pi = 84\pi \text{ avec } S \text{ la section du cylindre}$$

La seconde manière est de passer en **coordonnées cylindriques** pour plus facilement définir les paramètres d'intégration :

$$Q = \int_{\Omega} (4 - 4y + 2z) \, d\Omega = \iiint (4 - 4r\sin\theta + 2z) \, r \, dr \, d\theta \, dz \text{ avec } r \text{ variant de } 0 \text{ à } 2, z \text{ de } 0 \text{ à } 3 \text{ et } \theta \text{ de } 0 \text{ à } 2\pi$$

$$Q = 4 \times 3 \times \frac{4}{2} \times 2\pi - 4 \int_0^{2\pi} \int_0^2 4r^2 \sin\theta \, dr \, d\theta \, dz + 2 \times 3 \times 2\pi \int_0^3 z \, dz = 36\pi + 0 + 48\pi = 84\pi$$

4- Déterminer le potentiel de vitesse ϕ tel que sa valeur en (1,0,0) soit -1 et que $\vec{v} = \vec{\nabla}\phi$.

$\vec{V} = \begin{pmatrix} 4x \\ -2y^2 \\ z^2 \end{pmatrix}$, $\text{rot}\vec{V} = \vec{0}$ donc \vec{V} dérive d'un potentiel que l'on obtient par intégration

$$\phi = 2x^2 - \frac{2}{3}y^3 + \frac{z^3}{3} + A, \phi(1,0,0) = 2 + A = -1 \text{ donc } A = -3 \text{ et } \phi = 2x^2 - \frac{2}{3}y^3 + \frac{z^3}{3} - 3$$

5- Calculer le vecteur accélération du fluide. On rappelle la définition du vecteur accélération

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v}$$

L'écoulement est stationnaire donc

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = \begin{pmatrix} v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4x \frac{\partial V_x}{\partial x} - 2y^2 \frac{\partial V_x}{\partial y} + z^2 \frac{\partial V_x}{\partial z} \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16x \\ -2y^2(-4y) \\ z^2(2z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16x \\ 8y^3 \\ 2z^3 \end{pmatrix}$$

6- Pour un champ de vitesse quelconque \vec{v} , montrer que $(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v}$ peut aussi s'écrire $\frac{1}{2} \nabla \vec{v}^2 - \vec{v} \times \overrightarrow{\text{rot}} \vec{v}$. On pourra se contenter de montrer cette relation pour la composante x du vecteur $(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v}$.

$$\frac{1}{2} \nabla \vec{v}^2 - \vec{v} \times \overrightarrow{\text{rot}} \vec{v} = \frac{1}{2} \nabla (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) - \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{\partial v_z}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial z} \\ \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial x} \\ \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial x} - v_y \left(\frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) + v_z \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) \\ \dots\dots \\ \dots\dots \end{pmatrix}$$

$$\frac{1}{2} \nabla \vec{v}^2 - \vec{v} \times \overrightarrow{\text{rot}} \vec{v} = \begin{pmatrix} v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \\ \dots\dots \\ \dots\dots \end{pmatrix} = (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v}$$

7- Calculer alors le vecteur accélération du fluide en utilisant la formule

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \frac{1}{2} \nabla \vec{v}^2 - \vec{v} \times \overrightarrow{\text{rot}} \vec{v}.$$

$$\frac{1}{2} \nabla \vec{v}^2 = \frac{1}{2} \nabla (16x^2 + 4y^4 + z^4) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 32x \\ 16y^3 \\ 4z^3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16x \\ 8y^3 \\ 2z^3 \end{pmatrix}$$

Exercice 2 : Barrage poids

$$\sigma = -\rho_e g \begin{pmatrix} y & x & 0 \\ x & 2y-x & 0 \\ 0 & 0 & (3y-x)/4 \end{pmatrix}$$

1. Equilibre statique du barrage : $\text{div} \sigma + \rho_b g \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} = -\rho_e g \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{pmatrix} + \rho_b g \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ car $\rho_b = 3\rho_e$

Pression hydrostatique sur la face $x = 0$: $t = \sigma \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = -\rho_e g \begin{pmatrix} y & 0 & 0 \\ 0 & 2y & 0 \\ 0 & 0 & v3y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho_e g y \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

Pression nulle sur la face $x = y \text{ tg } \theta = y$: $t = \sigma \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} = -\rho_e g \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} x & x & 0 \\ x & x & 0 \\ 0 & 0 & v2x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

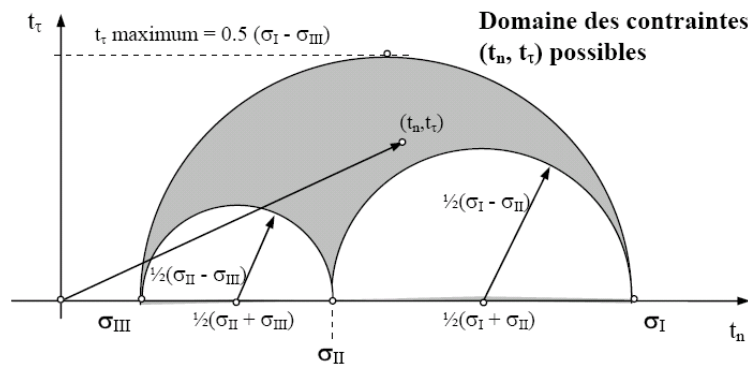
2. Valeurs propres du tenseur σ en $x = 0$. Dans ce cas le tenseur devient automatiquement diagonal dans le repère (xyz) :

$$\sigma = -\rho_e g \begin{pmatrix} y & 0 & 0 \\ 0 & 2y & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3}{4}y \end{pmatrix} \text{ avec } 0 \leq y \leq H$$

Et les 3 valeurs propres apparaissent clairement : elles sont toutes négatives car $y > 0$: le barrage est en compression triaxiale sur l'axe $x = 0$:

$$\sigma' = -\rho_e g \begin{pmatrix} \frac{3}{4}y & 0 & 0 \\ 0 & y & 0 \\ 0 & 0 & 2y \end{pmatrix} \quad \text{car } 0 \leq y \leq H ; \sigma_I = -\frac{3}{4}\rho_e g y, \sigma_{II} = -\rho_e g y \text{ et } \sigma_{III} = -2\rho_e g y$$

Tri-cercle de Mohr et sa signification : les 3 v.p. sont négatives donc t_n est tjrs négatif. La zone grisée correspond aux valeurs possibles (t_n, τ) quand la normale n balaie toutes les directions possibles.



3. On lit sur le tri-cercle de Mohr le cisaillement maximum sur l'axe $x = 0$:

$$t_{\tau}^{\max} = \frac{\sigma_I - \sigma_{III}}{2} = \frac{1}{2} \left(-\frac{3}{4}y + 2y \right) \rho_e g = \frac{5}{8} \rho_e g y \quad \text{qui est max en } y = H \text{ sur l'axe } x = 0$$

le béton risque de plastifier en premier en $(0,H)$ sur l'axe $x = 0$, soit à la base du barrage coté eau.

NB: cela n'est valable que sur l'axe $x = 0$. Dans les autres positions du barrage, il convient de rechercher les valeurs propres, les classer et de calculer le cisaillement maximum.

4. Calculer la force de réaction du sol \mathbf{R} sur la paroi inférieure du barrage en $y = H$ pour une longueur L_z de barrage selon l'axe z . On fera apparaître la masse du barrage m_b et sa masse équivalente en eau, m_e .

$$\vec{t} = \vec{\sigma} \vec{n} = -\rho_e g \begin{pmatrix} H & x & 0 \\ x & 2H-x & 0 \\ 0 & 0 & (3H-x)/4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} = -\rho_e g \begin{pmatrix} x \\ 2H-x \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{et } \vec{R} = \int \vec{t} ds = -\rho_e g L_z \begin{pmatrix} \int_0^H x dx \\ \int_0^H (2H-x) dx \\ 0 \end{pmatrix} = -\rho_e g L_z \begin{pmatrix} H^2/2 \\ 2H^2 - H^2/2 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\vec{R} = -\rho_e g H^2 L_z \begin{pmatrix} 1/2 \\ 3/4 \\ 0 \end{pmatrix} = -\rho_e g H^2 L_z \begin{pmatrix} 1/2 \\ 3/2 \\ 0 \end{pmatrix} = -g \begin{pmatrix} m_e \\ m_b \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{avec } m_b = \rho_b H^2 L_z / 2 = 3\rho_e H^2 L_z / 2$$

Une autre solution bien plus élégante et rapide consiste à considérer les forces agissant sur le barrage :

$$\vec{R} + \vec{F}_{\text{eau}} + m_b \vec{g} = \vec{0}$$

$$\text{avec } \vec{F}_{\text{eau}} = \int \sigma \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ds = -\rho_c g \int \begin{pmatrix} y & 0 & 0 \\ 0 & 2y & 0 \\ 0 & 0 & (3y)/4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} ds = -\rho_c g L_z \int \begin{pmatrix} -y \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} dy = \rho_c g L_z H^2 / 2 \vec{e}_x = m_c g \vec{e}_x$$

car le volume du barrage vaut $H^2 L_z / 2$. Ainsi, $\vec{R} = -m_c g \vec{e}_x - m_b g \vec{e}_y$

Bonus :

$$\sigma = -\rho_c g \begin{pmatrix} y & x & 0 \\ x & 2y-x & 0 \\ 0 & 0 & (3y-x)/4 \end{pmatrix} \text{ avec } 0 \leq x \leq H \text{ et } 0 \leq y \leq H \text{ est à diagonaliser}$$

$$-\rho_c g (3y-x)/4 \text{ est val. propre et les 2 autres vérifient } \begin{vmatrix} y-1 & x \\ x & 2y-x-1 \end{vmatrix} = 0 = 1^2 + 1(x-3y) + 2y^2 - xy - x^2$$

$$\text{valeurs propres} = \frac{3y-x \pm \sqrt{\Delta}}{2} \text{ avec } \Delta = 5x^2 + y^2 - 2xy = 4x^2 + (x-y)^2 \geq 0.$$

Ainsi les 3 val.p. sont $-\rho_c g \frac{3y-x-\sqrt{\Delta}}{2}$, $-\rho_c g \frac{3y-x+\sqrt{\Delta}}{2}$ et $-\rho_c g (3y-x)/4$ à classer

Par ex, sur l'axe $y = x$, $\sqrt{\Delta} = 2x$, et les 3 val.p. sont $-2\rho_c g x \leq -\rho_c g x/2 \leq 0$. et

$$t_\tau^{\max} = \frac{\sigma_I - \sigma_{III}}{2} = \rho_c g x \text{ qui est max en } (H, H).$$

NB: sur l'axe $x = 0$, $t_\tau^{\max} = \frac{5}{8} \rho_c g H$ plastifie après le point (H, H) . Les points en fort cisaillement se situent sur la base du barrage en $y = H$.

Exo.3 : déformation bidimensionnelle d'une plaque encadrée.

$$\text{Le champ de déplacement vaut : } \vec{u} = MM' \begin{pmatrix} -\frac{xy}{R} \\ \frac{x^2}{2R} \end{pmatrix}.$$

1. On a bien $\mathbf{u} = \mathbf{0}$ (u_x et u_y) en $x = 0$ (encastrement).

$$2. \text{ Le tenseur gradient de la déformation } L \text{ vaut : } L = \text{Id} + \text{grad} \vec{u} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{y}{R} & -\frac{x}{R} \\ \frac{x}{R} & 1 \end{pmatrix}$$

$$3. \text{ le tenseur de Cauchy-Green } \mathbf{B} \text{ vaut : } \mathbf{B} = (L^t)L = \begin{pmatrix} \left(\frac{x}{R}\right)^2 + \left(1 - \frac{y}{R}\right)^2 & \frac{xy}{R^2} \\ \frac{xy}{R^2} & 1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2 \end{pmatrix}$$

4. Calculer le tenseur de Green-Lagrange ϵ_{GL} . Sous quelles conditions sur L et l ce tenseur peut-il être considéré de petites déformations dans l'entier de la plaque ?

le tenseur de Green-Lagrange : $\varepsilon_{GL} = \frac{1}{2}(B-I) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \left(\frac{x}{R}\right)^2 + \left(\frac{y}{R}\right)^2 - 2\frac{y}{R} & \frac{xy}{R^2} \\ \frac{xy}{R^2} & \left(\frac{x}{R}\right)^2 \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} -\frac{y}{R} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$

lorsque x et y sont petits devant R (zone proche de l'origine).

Si l'on veut que l'entier de la plaque soit en petite déformation alors

$$\left|\frac{x}{R}\right| < 0.1 \text{ et } \left|\frac{y}{R}\right| < 0.1 \text{ avec } 0 \leq x \leq L \text{ et } |y| \leq 1 \text{ ce qui impose } \frac{L}{R} < 0.1 \text{ et } \frac{1}{R} < 0.1$$

NB: dans ce cas, la composante xx des déformations sera au maximum de

$$\frac{1}{2} \left(\left(\frac{L}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{R}\right)^2 + 2\frac{1}{R} \right) \leq \frac{1}{2} (0.01 + 0.01 + 0.2) = \frac{1}{2} (0.22) = 11\%$$

Si on veut assurer un max de déformation à 10%, il faut imposer L/R et 1/R < 9% car ainsi

$$\frac{1}{2} \left(\left(\frac{L}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{R}\right)^2 + 2\frac{1}{R} \right) \leq \frac{1}{2} (0.0081 + 0.0081 + 0.18) = \frac{1}{2} (0.1962) = 0,0981 < 10\%$$

5. Le tenseur linéarisé des déformations vaut : $\varepsilon_{lin} = \frac{1}{2}(\text{gradu} + (\text{gradu})^t) = \begin{pmatrix} -\frac{y}{R} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$

6. La ligne neutre est donnée par y = 0 avec compression pour y > 0 et traction pour y < 0.

7. Le comportement élastique donne :

$$\sigma = 2\mu\varepsilon + \lambda(\text{Tr}\varepsilon)I = \begin{pmatrix} -(2\mu + \lambda)\frac{y}{R} & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda\frac{y}{R} & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda\frac{y}{R} \end{pmatrix}$$

8. La densité de force de contact sur la paroi x = 0 vaut

$$t = \sigma n \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (2\mu + \lambda)\frac{y}{R} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

9. La force de réaction du support vaut : $\vec{R} = \int_S \vec{t} dS = L_z (2\mu + \lambda) \vec{e}_x \int_{-1}^1 \frac{y}{R} dy = \vec{0}$, globalement, la réaction du support est nulle. Cependant, le support est en traction pour y < 0 et en compression pour y > 0.