

SESSION 2009

**CONCOURS EXTERNE
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGRÉGÉS**

Section : GÉNIE CIVIL

**ÉPREUVE DE MODÉLISATION
DES MATÉRIAUX ET DES OUVRAGES**

Durée : 6 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Cette épreuve est constituée de deux sujets indépendants :

- **modélisation des matériaux et patrimoine ;**
- **modélisation mécanique des ouvrages.**

Il est demandé aux candidats de traiter les deux sujets sur des copies séparées.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

Epreuve de modélisation des matériaux et des ouvrages**Sujet : matériaux et patrimoine****Introduction**

Le sujet proposé comprend deux parties indépendantes :

Dans une première partie (partie A), on se propose de réaliser un entretien structurel d'un itinéraire de route départementale. Dans le cadre de l'agenda 21 du Conseil Général, cet entretien a été choisi en grave émulsion.

La seconde partie (Partie B) porte sur l'étude des propriétés du bois à partir d'observations à différentes échelles et de la prise en compte de son anisotropie. Les moyens de limiter les effets du retrait y sont également abordés.

Les deux parties peuvent être traitées de manière indépendante. Pour chaque question, en complément des résultats de calculs proprement dits, il conviendra de justifier les choix effectués et calculs réalisés et de commenter si besoin les résultats obtenus.

Partie A – Formulation d'une grave émulsion pour l'entretien structurel d'une route départementale**A.1. Structure existante et choix de la technique de rechargement**

La route départementale à entretenir est une chaussée souple dont le corps de chaussée est constitué de multicouches d'enduits et de deux couches de GNT.

A.1.1) Expliquer à quoi correspond le matériau GNT.

A.1.2) Décrire les principaux modes de dégradation de ce type de chaussées souples

Dans le cadre de son agenda 21, le conseil Général a choisi d'effectuer le rechargement structurel de la chaussée en grave-émulsion.

A.1.3) Expliquer ce qu'est une émulsion de bitume (faire un schéma). Quels types d'additifs permettent la mise en émulsion du bitume ?

A.1.4) Décrire les différences essentielles existant entre une grave émulsion et un enrobé à chaud. En quoi le matériau grave émulsion plus que l'enrobé à chaud peut-il être considéré comme intéressant dans un contexte de développement durable ?

A.2. Formulation de la grave émulsion

La composition du mélange est donnée dans le tableau A.1 ci – dessous. La teneur en bitume résiduel est exprimée en masse par rapport à la masse totale du mélange sans eau.

| Fraction granulaire | % | MVR(g/cm ³) | Teneur en eau (%) |
|---------------------|-----|-------------------------|-------------------|
| 0/2 | 36 | 2,728 | 2,3 |
| 2/4 | 15 | 2,723 | 1 |
| 4/10 | 22 | 2,724 | 0,5 |
| 10/14 | 27 | 2,721 | 0,2 |
| | | | |
| Eau totale | 7 | | |
| Bitume résiduel | 4,2 | 1,03 | |

Tableau A.1 : composition de la grave émulsion

A.2.1) L'émulsion utilisée est une émulsion cationique dosée à 60% de bitume. Calculer la teneur en émulsion à introduire dans le mélange pour obtenir la teneur en bitume résiduel visée.

A.2.2) Le bitume de base de l'émulsion est un bitume 70/100. Expliciter cette dénomination.

A.2.3) Au moment de la fabrication du mélange, une mesure de teneur en eau est réalisée sur chacune des fractions granulaires en stock à la centrale. Le résultat des essais est indiqué dans le tableau A.1. Les fractions granulaires sont stockées à l'extérieur dans des conditions identiques. Pourquoi la fraction 0/2 possède-t-elle la teneur en eau la plus élevée ?

A.2.4) Sachant que la teneur en eau totale visée du mélange est de 7%, calculer le pourcentage d'eau d'apport nécessaire pour fabriquer la formule.

A.2.5) Calculer la masse volumique réelle du mélange granulaire.

A.2.6) Calculer la masse volumique réelle de la grave émulsion (cette valeur est calculée sur la base d'une teneur en eau nulle)

A.2.7) Un contrôle de chantier est effectué juste après la mise en œuvre du matériau.

La teneur en eau du mélange en place est de 7,45%.

Une mesure de densité en place au gammadensimètre conduit à une valeur de masse volumique apparente de 2,308 g/cm³.

Calculer la teneur en vides du matériau en place. Vous paraît-elle représentative de ce type de matériau ?

A.2.8) Un suivi de chantier est réalisé au cours des mois qui suivent la mise en œuvre. Les mesures de teneur en eau et de densité apparente obtenues sont consignées dans le tableau A.2.

Calculer pour chaque étape du suivi la teneur en vide du matériau.

| Date du suivi | MVA(g/cm ³) | Teneur en eau (%) |
|---------------|-------------------------|-------------------|
| T = 3 mois | 2,245 | 3,5 |
| T = 6 mois | 2,251 | 1,4 |
| T = 1 an | 2,255 | 0,5 |

Tableau A.2 : suivi dans le temps des masses volumiques apparentes et teneurs en eau

A.2.9) Comment évolue la teneur en vide avec le temps. Ce résultat vous paraît-il cohérent ? Commentez.

A.3. Caractérisation mécanique de la grave-émulsion

A.3.1) Dans le but de vérifier le module du matériau mis en place, le maître d'ouvrage demande la réalisation d'un prélèvement d'un bloc de matériau sur la chaussée et la réalisation d'un essai de module complexe selon la norme EN 12697-26 annexe A en flexion deux points sur éprouvettes trapézoïdales. Pensez-vous qu'il soit possible d'effectuer ce prélèvement juste après la mise en œuvre ? Justifiez votre réponse.

A.3.2) Les éprouvettes trapézoïdales extraites du bloc de grave émulsion ont les caractéristiques géométriques indiquées figure A.1. Elles sont soumises à une force F appliquée en tête de l'éprouvette. On notera D le déplacement en tête de l'éprouvette. Exprimer les valeurs de contrainte et déformation maximales σ_{max} et ϵ_{max} subies par l'éprouvette à partir des caractéristiques géométriques des éprouvettes. On négligera le poids propre de l'éprouvette.

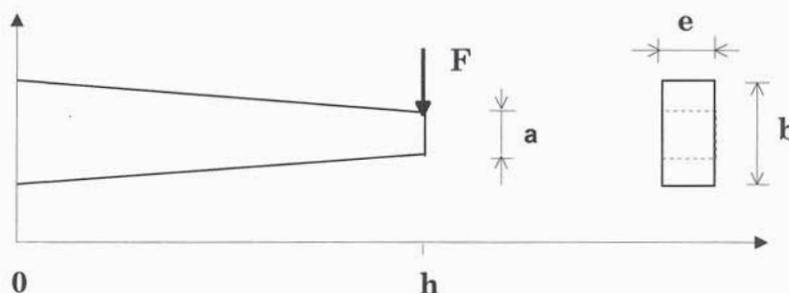


Figure A.1 : Caractéristiques géométriques des éprouvettes trapézoïdales

A.3.4) La valeur de module complexe à 15°C, 10Hz est de 2000 MPa. Que peut-on dire de cette valeur par rapport à celles usuellement rencontrées pour les enrobés à chaud ?

A.3.5) En regard des propriétés observées de la grave émulsion, précisez-en les limites d'utilisation.

Partie B – Etude des propriétés du bois

B.1) Propriétés mécaniques du bois

Dans cette partie, le bois, de type résineux, est considéré sec, c'est-à-dire à une teneur en eau inférieure à 15%.

B.1.1) Décrire la microstructure du bois résineux à partir de la micrographie jointe (Figure B.1). Expliquer pourquoi le bois a un comportement anisotrope.

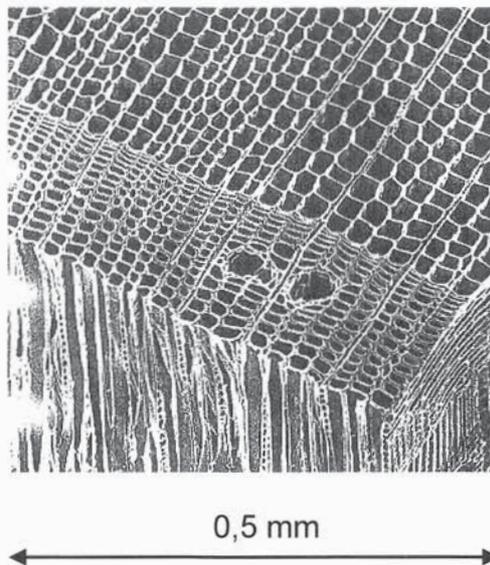


Figure B.1. Coupe transversale des cellules d'un résineux

B.1.2) Donner sur une figure l'allure des courbes de comportement en contrainte – déformation du bois en compression longitudinale et en traction longitudinale. Commenter ces courbes en termes de module, de ductilité et de résistance maximale. Expliciter les mécanismes en jeu à la rupture à partir de l'observation à l'échelle microscopique.

B.1.3) La résistance moyenne en traction du bois sans défaut est supérieure à celle en compression. Donner les raisons qui expliquent que les résistances de calcul données dans les règlements sont dans l'ordre inverse.

B.2) le bois et l'eau

Les variations dimensionnelles du bois massif sont proportionnelles à sa teneur en eau w , pour $0 < w < 30\%$. Au-delà d'une teneur en eau de 30%, les déformations n'évoluent plus. Le tableau B.1 donne des coefficients de retrait d'un bois résineux.

B.2.1) La figure B.2 montre une coupe d'un tronc qui s'est fissuré. Montrer que ces fissures sont liées au retrait du bois.



Figure B.2. Coupe d'un tronc après mise en équilibre avec le milieu ambiant

| Direction | Longitudinale α_l | Radiale α_r | Orthoradiale α_t |
|---|--------------------------|--------------------|-------------------------|
| Coefficient de retrait en $[10^{-3}]$ par % de variation d'humidité du bois | 0,4 | 1,7 | 2,7 |

Tableau B.1. Coefficients de retrait du bois

B.2.2) Les panneaux ou les poutres de type lamibois peuvent être à plis croisés. Donner l'expression de la déformation de retrait, dans le sens transversal, d'un panneau comportant un nombre n_l de plis dont les fibres sont orientés dans le sens longitudinal et un nombre n_t de plis dont les fibres sont orientées dans le sens transversal, en fonction de n_l , de n_t , du module de déformation longitudinale du bois, E_l , du module de déformation transversale, E_t , du retrait longitudinal, ε_l et du retrait transversal, ε_t . On considère que les plis sont d'épaisseurs identiques, e . Un dessin présentera la configuration.

B.2.3) Le lamibois est un type de bois lamellé collé dont les lamelles sont disposées verticalement (Fig. B.3). Calculer le retrait suivant la direction verticale d'une poutre en lamibois de hauteur 50 cm et d'épaisseur 12 cm sous une variation de 5% d'humidité du bois. Les lamelles, d'une épaisseur de 3 mm, sont à plis croisés. 3 plis sur 4 ont les fibres dans le sens longitudinal de la poutre, le 4^{ème} étant disposé perpendiculairement aux 3 premiers. On prendra $E_l = 12 \text{ GPa}$, $E_t = 0,8 \text{ GPa}$, α_l et α_t seront pris dans le tableau B.1.

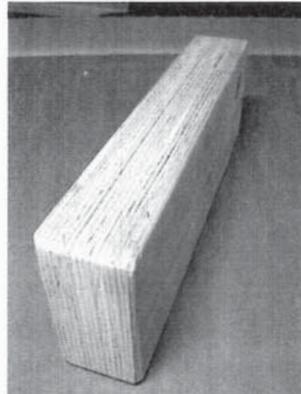


Figure B.3. Élément de poutre en lamibois

B.2.4) Comparer la valeur obtenue précédemment avec le retrait transversal d'une poutre en bois lamellé collé courante de mêmes dimensions que précédemment et subissant la même variation d'humidité. On prendra comme coefficient de retrait celle du retrait radial du tableau B.1.

B.2.5) Citer 2 autres moyens de diminuer les retraits des éléments en bois exposés en ambiance extérieure.

B.3) Durabilité du bois

B.3.1) Un concepteur projette un ouvrage d'art dont le tablier est en bois, mais sans avoir recours à des bois traités chimiquement. Quelle doit être sa démarche dans le choix des bois de structure vis-à-vis de leur durabilité. On suppose qu'il n'y a pas de risque de dégradation lié aux termites.

B.3.2) Citer une essence de bois résineux, ainsi que la partie du bois concernée, permettant d'obtenir des éléments structuraux massifs naturellement durables en situation correspondant à la classe d'emploi 3, c'est-à-dire en situation d'humidification fréquente, sans être en contact avec le sol.

Etude modélisation des ouvrages : avant projet de pont canal.

Le projet Seine Nord Europe (SNE) consiste à construire un canal fluvial à grand gabarit reliant le bassin de la Seine et de l'Oise au Bassin du Nord de la France et au-delà à l'Europe du Nord. Sa réalisation implique de nombreux franchissements de cours d'eau. Le plus emblématique est celui de la vallée de la Somme qui se fera en pont-canal, à une hauteur de 25 m. Pour ce franchissement, différentes variantes ont été étudiées et comparées. Elles reposent sur les matériaux du tablier et l'espacement des piles ou la possibilité d'installer un arc portant sur 120 m. La longueur totale de l'ouvrage sera de 1 330 m, avec deux portions de 25 m à chaque extrémité et 1 280 m au dessus de la Somme, supportés par 33 fûts de 2 piles tous les 40 m. Le tablier d'une largeur de 35 m, nécessitera une emprise au sol de 45 m.

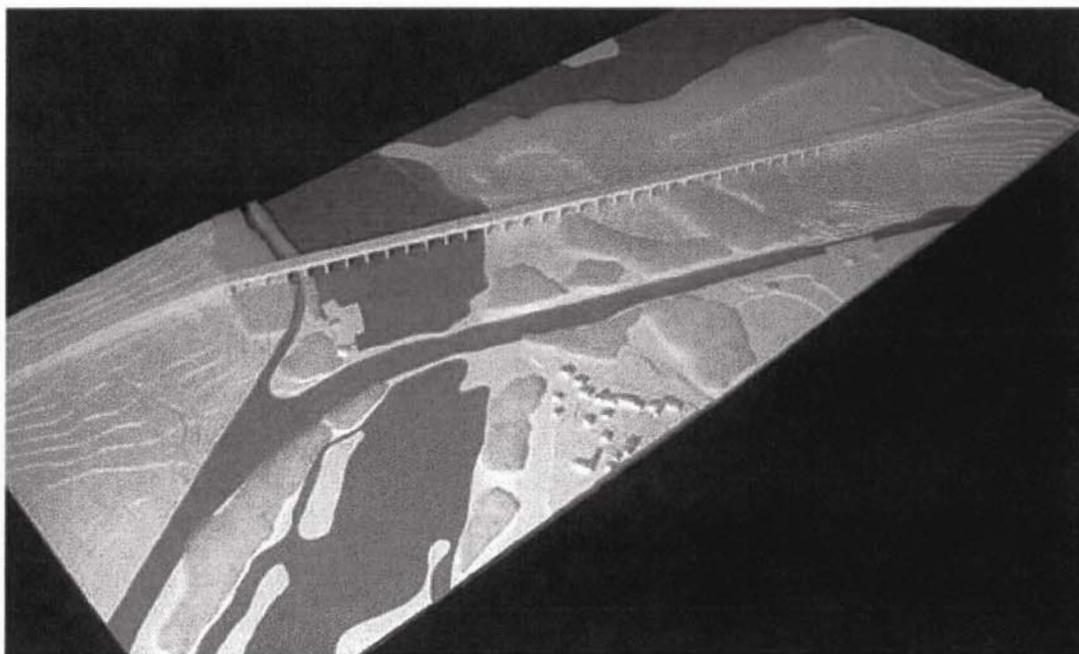


Figure 1 : Projet de pont canal (issu du dossier d'enquête publique Natura 2000)

| Description | |
|---|---------|
| Longueur | 1 330 m |
| Largeur tablier | 35 m |
| Emprise au sol | 45 m |
| Portée courante (espacement entre les piles) 40 m | 40 m |
| Nombre de fûts (2 piles/ ligne d'appui) | 33 |
| Espacement transversal entre les piles 32 m | 32 m |

Tableau 1 : Synthèse des caractéristiques techniques du pont-canal

Partie 1 : Mécanique des fluides

1. Vidange de l'ouvrage

Pour des raisons d'entretien, le pont canal doit pouvoir être vidangé en moins de 24h. Des canalisations en acier galvanisé de diamètre $D=20\text{cm}$ sont prévues à cet effet en partie aval de l'ouvrage. L'eau est évacuée à l'air libre vers la Somme située en contrebas. La Figure 2 représente le dispositif de façon schématique :

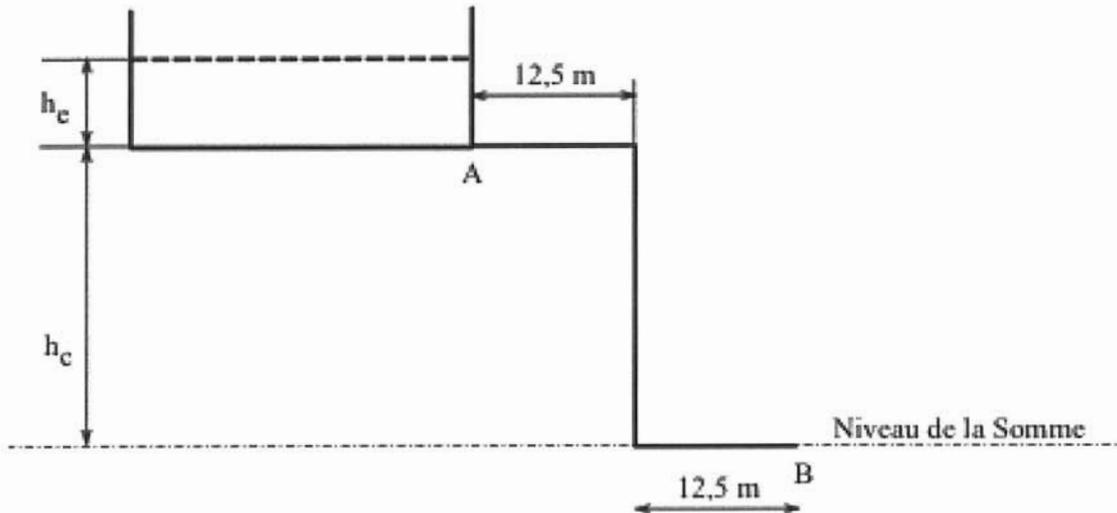


Figure 2 : Schéma du système de vidange du canal

Le canal est situé à une hauteur $h_c=25\text{ m}$ au dessus du niveau de la Somme et a une largeur $b=26,6\text{ m}$. La hauteur d'eau normale dans le canal est $h_e=4,5\text{ m}$. Les canalisations d'évacuation du canal sont représentées par le parcours AB.

- Déterminer l'expression de la pression au point A. Faire l'application numérique.
- Considérant que les seules pertes de charges prises en compte sur le tronçon AB sont les pertes de charge linéiques caractérisées par un coefficient constant $\lambda=0,019$, déterminer l'expression de la vitesse maximale de l'eau dans la conduite. Faire l'application numérique.
- Considérant le pont canal d'une longueur de 1330 m comme un réservoir horizontal, déterminer le nombre de canalisations nécessaires pour assurer une vidange totale du pont canal en moins de 24h.

2. Etude d'un écoulement

Un ouvrage en béton en forme de dièdre d'angle α , vient recueillir l'eau évacuée du canal en aval du point B (Figure 2) avant son déversement dans la Somme. Dans cette partie, le fluide est considéré comme un fluide parfait incompressible.

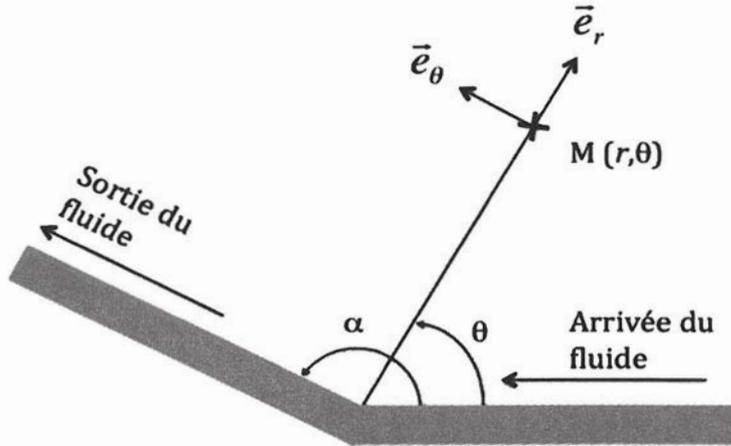


Figure 3 : Dispositif en dièdre recueillant l'eau évacuée

L'écoulement est supposé irrotationnel et permanent. L'espace est repéré par les coordonnées cylindriques (r, θ, z) . Le fluide s'écoule de la zone définie par $\theta=0$ vers la zone définie par $\theta=\alpha$ (Figure 3).

On donne l'expression du Laplacien en coordonnées cylindriques :

$$\Delta\varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}$$

On suppose que le potentiel des vitesses peut être mis sous la forme $\varphi(r, \theta) = f(r)g(\theta)$ où f est une fonction uniquement de r et g une fonction uniquement de θ . Enfin, on raisonnera dans un plan $z = \text{cte}$.

- a) Etablir, à partir des hypothèses proposées par l'énoncé, une équation différentielle satisfaite par φ . Déduire celle satisfaite par f et g . Mettre cette équation sous la forme :

$$\frac{d^2g}{d\theta^2} + \Omega^2 g = 0$$

- b) Quelles sont, a priori, toutes les formes possibles de la fonction $g(\theta)$?
 c) Le fluide étant parfait, quelles sont les conditions aux limites pour la fonction $g(\theta)$? En déduire la seule forme acceptable pour la fonction $g(\theta)$.
 d) Chercher f sous la forme $f(r) = Cr^n$ et donner l'expression de n en fonction de α .
 e) En déduire le champ des vitesses à l'intérieur du dièdre. Montrer que le module de la vitesse est indépendant de θ .
 f) Déterminer l'équation des lignes de courant. Tracer l'allure de ces lignes pour $\alpha = 3\pi/2$. Les trajectoires des particules sont-elles différentes des lignes de courant ? Pourquoi ?
 g) Comment évolue le module de la vitesse d'une particule fluide le long d'une ligne de courant pour les dièdres d'angles $\alpha < \pi$, $\alpha = \pi$ et $\alpha > \pi$? Vers quelle valeur tend ce module au voisinage de l'arête ? Selon vous, que se passe-t-il dans la réalité ?

3. Alimentation du canal

Pour palier les chutes éventuelles de débit dans le canal, une installation de pompage approvisionne le canal à partir d'eau de la Somme. Son principe est présenté sur la figure 4. Les valeurs des hauteurs h_c et h_e sont identiques à celles de la partie précédente.

L'installation est réalisée au moyen de canalisations en acier galvanisé de rugosité $\varepsilon=0,15$ mm et de diamètre 600 mm. La pompe située sur le tronçon BC permet d'acheminer l'eau jusqu'au canal avec un débit maximum de $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

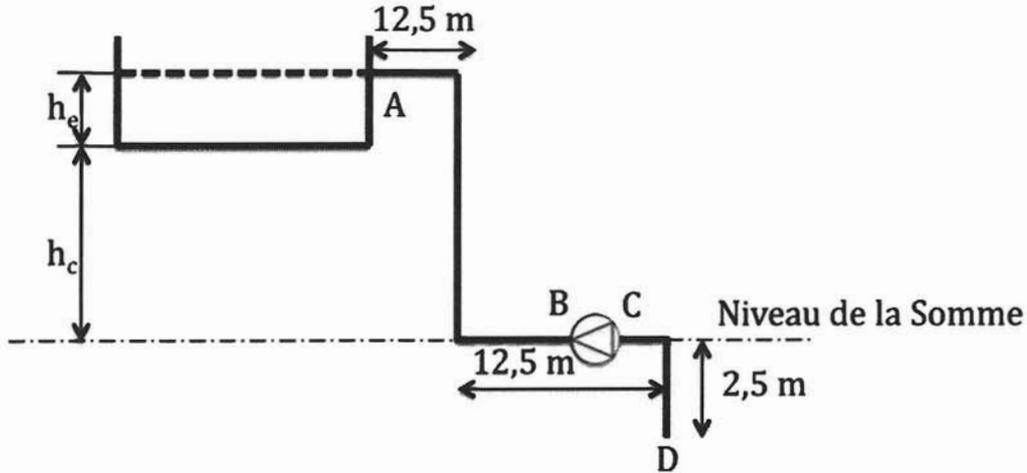


Figure 4 : Installation de pompage

- a) Déterminer le coefficient de perte de charge linéique λ à partir de la relation de Colebrook :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,75} D + \frac{2,51}{\text{Re}} \sqrt{\lambda} \right)$$

avec : ε la rugosité, D le diamètre de la conduite et Re le nombre de Reynolds.
En déduire les pertes de charge linéiques sur le tronçon AD.

- b) Déterminer les pertes de charges singulières sur l'ensemble de l'installation (tronçon AD). Les coefficients ζ de pertes de charge singulières sont donnés dans le Tableau 2. Les autres pertes de charge singulières sont négligées.

| Configuration | ζ |
|-------------------------|---------|
| Coude à 90° | 1,5 |
| Augmentation de section | 1 |

Tableau 2 : Coefficients de pertes de charge singulières

Le document joint présente la courbe de fonctionnement d'une pompe disponible dans le commerce.

- c) Déterminer le nombre de pompes nécessaires pour assurer le fonctionnement de cette installation. Préciser la réponse au moyen d'un schéma de principe.
d) Déterminer le point de fonctionnement de l'installation (**utiliser le document réponse**). Conclure et préciser éventuellement les modifications à apporter à l'installation pour assurer le débit souhaité.

Partie 2 : Mécanique des solides

Le tablier continu sur l'ensemble de l'ouvrage est constitué d'une peau métallique de 12 mm d'épaisseur, renforcé par des augets espacés de 0,80m, reposant directement sur 8 poutres métalliques en T inversé longitudinales de 2 m de hauteur, d'entraxe 4 m et de portée 40m appuyées elles même sur les lignes d'appui par l'intermédiaire d'appareils. Des poutres en T inversés transversales de hauteur 1,5m sont disposées tous les 4m. Les âmes des poutres en T (longitudinales et transversales) ont une épaisseur de 25mm, Les semelles ont une épaisseur de 60mm et une largeur de 0,8m (figure 5).

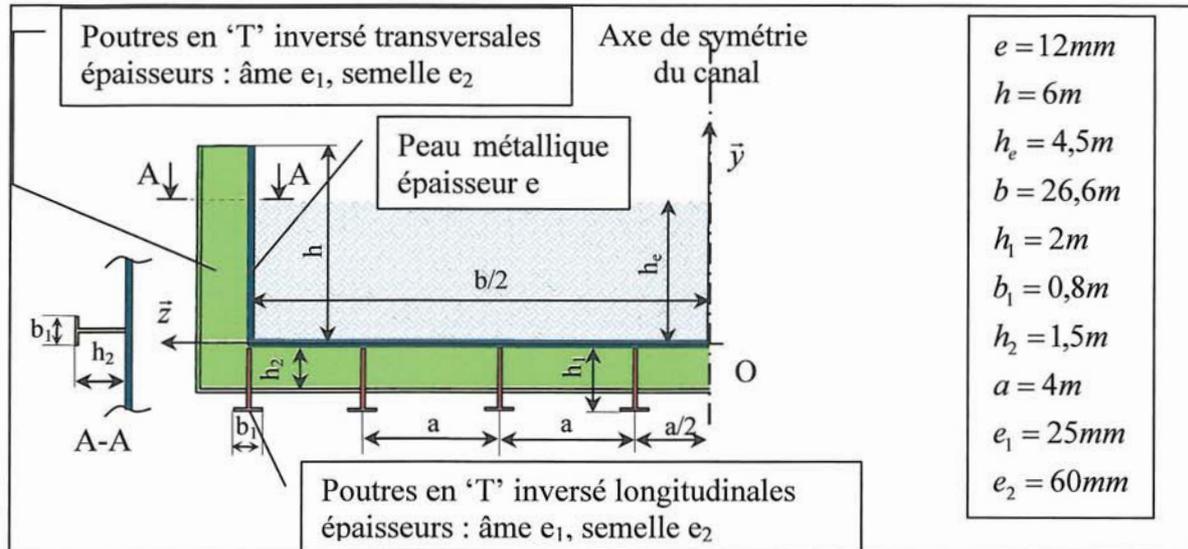


Figure 5 : Schéma de la demi-section transversale du tablier

L'ouvrage est donc une poutre droite continue composée de 34 travées. La première et la dernière travée ont une portée de $L_0=25\text{m}$, les autres travées ont une portée de $L=40\text{m}$.

1. Charges permanentes :

- a) Calculer la masse linéique du tablier. La masse des poutres en T transversales sera répartie sur la longueur. La masse volumique de l'acier est $\rho_a = 7800\text{kg/m}^3$.
- b) Calculer la masse linéique de l'eau pour une hauteur d'eau h_e et en déduire la charge linéique q appliquée sur le tablier. (On n'utilisera pas de coefficient multiplicateur pour les charges).

2. Caractéristiques de la section :

On ne tiendra pas compte ici de la participation des poutres en T transversales, la section considérée est donc composée de 8 poutres en T longitudinales et de la peau métallique en forme de U.

- a) Calculer les coordonnées du centre de gravité G de la section dans le repère (O, \vec{y}, \vec{z}) .
- b) Calculer son inertie I_{Gz} par rapport à l'axe Gz .

3. Calcul d'une travée courante :

On se place dans le cas d'une poutre continue à travées égales de longueur L , d'inertie I_{Gz} sur une infinité d'appuis chargée par une charge linéique q (figure 6).

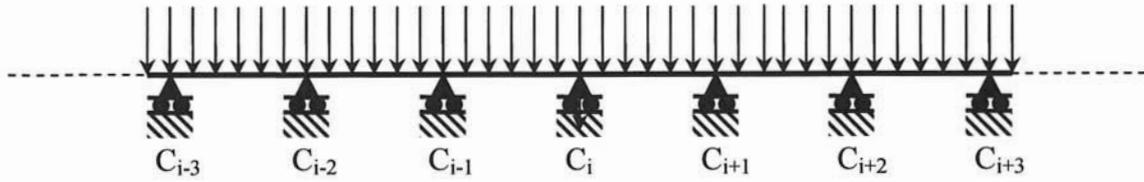


Figure 6 : Poutre continue

On s'intéresse à la travée comprise entre les appuis C_i et C_{i+1} .

- La poutre étant de longueur infinie, donner les conditions limites à appliquer en C_i et C_{i+1} pour prendre en compte une condition de périodicité. (Ces conditions correspondent également à des conditions de symétrie en C_i et C_{i+1}).
- Tracer le schéma mécanique correspondant.
- Calculer les actions de liaison.
- Tracer les diagrammes de l'effort tranchant et du moment fléchissant.
- Calculer les contraintes maximales (traction) et minimale (compression) dans la travée.

4. Dilatation thermique :

Le tablier continu d'une longueur $L_t=1330\text{m}$ peut subir une élévation de température moyenne de $\Theta_m=5^\circ\text{C}$, le coefficient de dilatation thermique de l'acier est $\alpha_a=1,1 \cdot 10^{-5}^\circ\text{C}^{-1}$.

- Calculer l'allongement correspondant du tablier.
- Déduire le déplacement maxi sur appuis en considérant que l'appui central est fixe.

5. Calcul des appareils d'appuis :

On considère que les appareils d'appuis sont constitués de cylindres en élastomère de rayon R , de hauteur h et d'axe vertical noté ici \bar{x} (figure 7). Ils sont sollicités par une charge axiale P due au poids propre du tablier et par un effort tranchant V_y dû à la dilatation thermique du tablier :

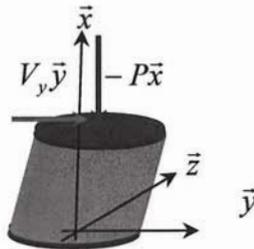


Figure 7 : Appareil d'appui

- Module d'élasticité longitudinal $E = 3\text{MPa}$
- Coefficient de Poisson $\nu = 0,5$

5.1. Calcul sous l'action de V_y seule.

On donne la fonction de contraintes $\varphi(y, z) = \frac{V_y}{8I_z(1+\nu)} \left[(1+2\nu) \left(y^2 z - \frac{z^3}{3} \right) + (3+2\nu) R^2 z \right]$

avec $I_z = \frac{\pi R^4}{4}$ et V_y l'effort tranchant.

Les contraintes de cisaillement dérivent de la fonction de contrainte par les relations suivantes :

$$\sigma_{xy} = \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \frac{V_y}{2I_z} \left(\frac{\nu}{1+\nu} z^2 - y^2 \right), \quad \sigma_{xz} = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}$$

- Calculer le moment fléchissant et exprimer la contrainte résultante σ_{xx} en fonction de V_y .
- Calculer les contraintes σ_{xy} et σ_{xz} à partir de la fonction de contraintes.
- Montrer que les contraintes obtenues vérifient les équations d'équilibre.
- Calculer la contrainte de cisaillement maximale $\sigma_{xy_{Max}}$ en fonction de V_y .
- Si $u_y(x)$ est le déplacement du point de l'axe du cylindre d'abscisse x en projection sur l'axe \bar{y} , on donne :

$$\frac{du_y}{dx} = k_y \frac{V_y}{GA} \quad \text{où } G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad A \text{ est l'aire de la section et } k_y = \frac{8\nu^2 + 14\nu + 7}{6(1+\nu)^2} \text{ le coefficient de section réduite.}$$

Calculer la raideur tangentielle $K_T = \frac{V_y}{u_y(h) - u_y(0)}$ de l'appareil d'appui.

- Calculer la valeur de $\sigma_{xy_{Max}}$ pour $u_y(h) - u_y(0) = 1 \text{ cm}$

5.2. Calcul sous l'action de P seul.

Les faces supérieures et inférieures sont collées sur des plaques métalliques supposées rigides. Compte tenu de la présence des plaques sur les faces, la déformée de l'appareil d'appui sous l'action d'une charge normale se fait en tonneau (figure 8).

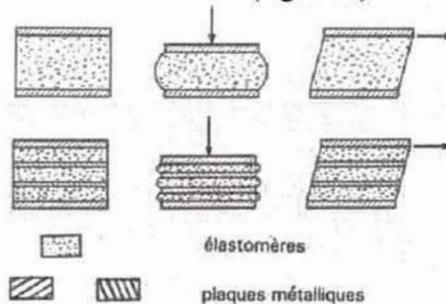


Figure 8 : Déformée d'un cylindre en élastomère feuilleté (d'après G. Gallas).

La raideur en compression s'écrit selon Lindley :

$$K_N = E(1 + 2k\Phi^2) \frac{A}{h} \quad \text{avec :}$$

- A : aire de la section.
- $k=0,57$: coefficient lié au matériau.
- $\Phi = \frac{R}{2h}$: coefficient de forme.

- Calculer la valeur de K_N pour l'appareil sans feuillet intermédiaire.
- On place un feuillet intermédiaire à mi-hauteur de l'appareil. Ce feuillet est considéré infiniment rigide et on négligera son épaisseur.

Calculer la raideur K_{N1} de l'appareil d'appui correspondant ainsi que le ratio $\frac{K_{N1}}{K_N}$.

- Conclure sur l'intérêt de positionner des feuillets dans les appareils d'appuis.

Partie 3 : Modélisation

On se propose maintenant de modéliser de manière numérique le comportement en service de la structure décrite précédemment. La méthode préconisée est la méthode des éléments finis.

1. Généralités

Pourquoi, de manière générale, réaliser une modélisation numérique ? Quel intérêt par rapport à une approche analytique traditionnelle MMC-RDM ?

Quel est l'intérêt de l'approche analytique traditionnelle par rapport à l'approche numérique ?

2. Modélisation simple de la structure « pont sans modélisation des fondations »

Vous convenez d'une modélisation avec des éléments linéiques. Proposer un modèle 2D simple à l'échelle globale en justifiant vos choix : type d'éléments, principe de détermination des caractéristiques géométriques et mécaniques des éléments, critères adoptés pour la détermination du maillage, conditions aux limites, forces. Quel résultat peut-on raisonnablement exploiter avec un tel modèle ? Que peut apporter une telle modélisation par rapport au calcul analytique de la question 3 de la partie 2 ?

En considérant toujours des éléments linéiques, proposer un principe de modélisation 3D plus réaliste. Préciser dans ce cas comment seront définis les efforts et les liaisons sur ces éléments.

Vous convenez à présent d'une modélisation avec des éléments surfaciques. Proposer un modèle 3D simple à l'échelle globale. Que peut apporter une telle modélisation par rapport à la précédente traitant des éléments linéiques ?

On prendra compte des symétries pour simplifier le modèle. Spécifier alors les conditions aux limites particulières.

Dire pourquoi un modèle global avec des éléments volumiques n'est pas envisageable.

3. Modélisation simple avec les fondations

Les fondations (piles) sont maintenant modélisées. Afin de simplifier la configuration, le sol n'est pas représenté. Quel type d'élément simple utiliser pour représenter ces fondations ? Comment, de manière générale, prendre en compte le frottement latéral, la résistance de pointe et la réaction du sol ?

4. Modélisation du comportement dynamique

Sans faire un calcul dynamique temporel, comment, à l'aide de la MEF, s'assurer que les actions dynamiques liées au vent n'ont aucune incidence sur la stabilité de la structure.

5. Analyse des résultats

Toujours d'une manière générale, indiquer comment valider vos résultats (prendre en compte les questions de la partie 2) ? Comment assurer que la discrétisation de votre modèle est suffisante ?

6. Modélisation plus réaliste de la structure « pont et appuis »

Dans votre modèle composé d'éléments surfaciques vous souhaitez prendre en compte explicitement les poutres transversales et longitudinales. Comment modéliser ces raidisseurs ? Proposer 2 procédures en donnant le principe de fonctionnement.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

NOM : _____

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

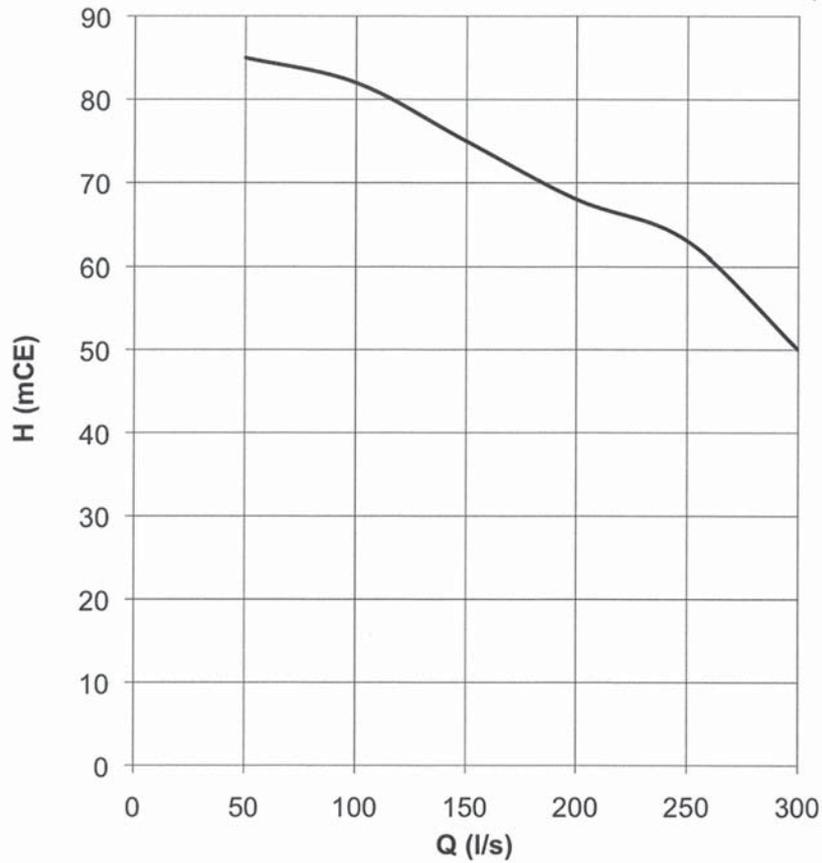
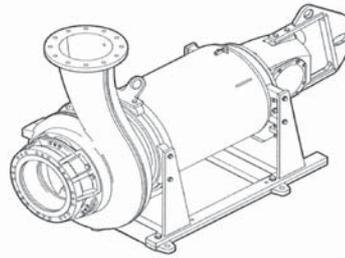
Prénoms : _____ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GCI 1

Courbe caractéristique d'une pompe

(document réponse)



(D)