



**MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Concours externe BAC + 3 du CAPET

Cafep-Capet

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : ingénierie des constructions

- 1) Exemple de sujet pour la première épreuve d'admissibilité
- 2) Attendus de l'épreuve
- 3) Extrait de l'arrêté du 17 avril 2025

Les épreuves du concours externe du Capet et Cafep-Capet BAC+ 3 sont déterminées dans [l'arrêté du 17 avril 2025 fixant les modalités d'organisation du concours externe du certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement technique](#), publié au Journal Officiel du 19 avril 2025, qui fixe les modalités d'organisation du concours et décrit le schéma des épreuves.

1) Exemple de sujet pour la première épreuve d'admissibilité

CAPET BAC + 3 Sujet 0

Sommaire

| | Page |
|--|-----------|
| Sommaire | 2 |
| Présentation du support..... | 3 |
| Partie A (à traiter obligatoirement)..... | 4 |
| Partie B (à traiter obligatoirement)..... | 5 |
| Partie C (à traiter obligatoirement)..... | 8 |
| Partie D (choix 1) | 13 |
| Partie E (choix 2)..... | 16 |

Les parties A, B et C sont à traiter obligatoirement par tous les candidats.

Les candidats devront choisir de traiter la partie D (choix 1) ou la partie E (choix 2).

Présentation du support

Gymnase de Villeparisis

Le gymnase, se situe dans la ville de Villeparisis (environ 26 000 habitants), au nord-ouest du département Seine et Marne (Région Ile de France).



Le sujet comporte 5 parties indépendantes :

Partie A : échangeur de ventilation

Partie B : comportement hygrothermique du complexe de toiture

Partie C : évaluation des débits d'eau pluviale en situation exceptionnelle

Partie D : étude d'une chaudière gaz

Partie E : contreventement de versant

Les parties A, B et C sont obligatoires, une partie devra être traitée sur les deux suivantes proposées (partie D ou E).

Partie A (à traiter obligatoirement)

Échangeur de ventilation

Une VMC (Ventilation mécanique contrôlée) double flux doit être installée sur une partie du bâtiment, cette étude consiste en l'étude des caractéristiques et du fonctionnement d'un échangeur air-air.

L'échangeur permet de transférer la chaleur de l'air vicié sortant vers les calories de l'air entrant en mode hiver. L'échangeur retenu pour équiper le bâtiment est un échangeur de type *Recair Sensitive* (figure A1).

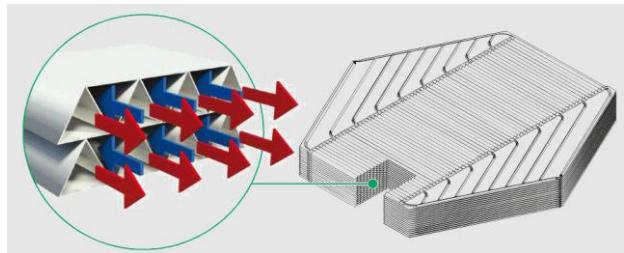
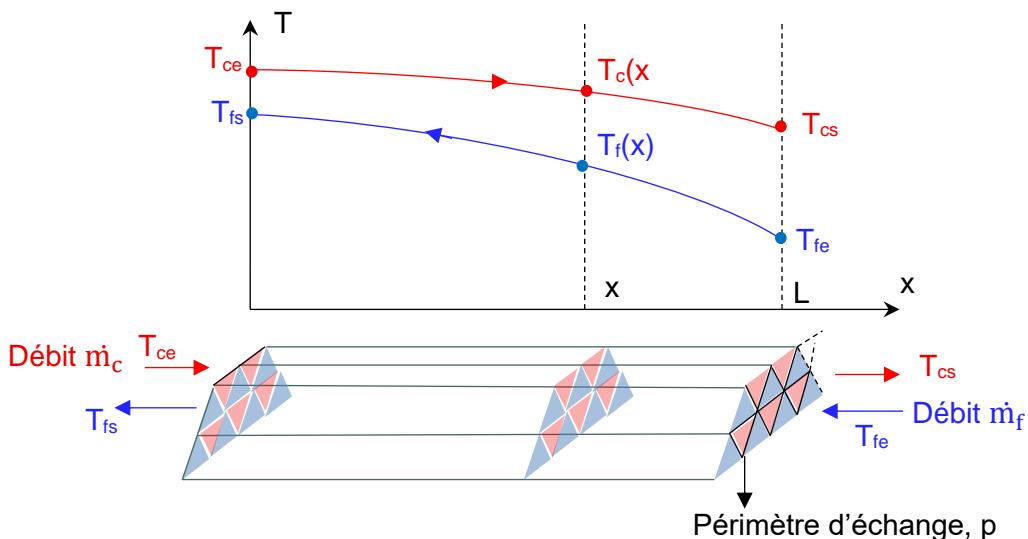


Figure A1 : échangeur type *Recair Sensitive*

Objectif : déterminer les caractéristiques de l'échange thermique le long d'une conduite triangulaire en considérant un échangeur type *Recair Sensitive*.

L'étude porte sur une VMC équilibrée ; les débits de l'air sortant et entrant sont considérés identiques. L'échangeur est modélisé selon le schéma de la figure A2.



Représentation schématique d'une portion de l'échangeur et évolution possible des températures dans un échangeur à contre-courant. À l'équilibre $\dot{m}_f = \dot{m}_c$

Figure A2 : modélisation d'une portion de l'échangeur

D'après le premier principe de la thermodynamique, on considère le modèle suivant :

$$\frac{T_c(x) - T_{ce}}{T_{ce} - T_{fs}} = -\frac{U}{C} \cdot S(x)$$

$$\frac{T_f(x) - T_{fs}}{T_{ce} - T_{fs}} = -\frac{U}{C} \cdot S(x)$$

On donne :

- le coefficient d'échange global $U = 52,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$;
- la capacité thermique massique de l'air sec $C = 1\ 004 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- la température intérieure $T_{ce} = 20^\circ\text{C}$;
- la température extérieure $T_{fe} = 5^\circ\text{C}$;
- la longueur de l'échangeur $L = 20 \text{ cm}$;
- le périmètre d'échange $p = 180 \text{ m}$;
- l'aire d'échange $S(x) = p \cdot x$ où x est une variable représentant la position d'étude le long de l'échangeur.

Hypothèses : le régime est permanent, l'échangeur est adiabatique, le problème est unidirectionnel, les propriétés des fluides (chaud et froid) sont identiques.

Question A1 | Exprimer les températures de sorties T_{cs} et T_{fs} en fonction des données d'entrée.

Question A2 | Donner les équations de $T_c(x)$ et $T_f(x)$ et tracer les courbes pour $T_{ce} = 20^\circ\text{C}$, $T_{fe} = 5^\circ\text{C}$ et donner les températures de sortie T_{cs} et T_{fs} .

Question A3 | Calculer l'efficacité de l'échangeur en fonction de sa longueur. Tracer l'allure de la courbe. Déterminer l'efficacité de l'échangeur dans le cas étudié. Déterminer la longueur de l'échangeur correspondant à une efficacité de 80%.

Les gaines connectées à l'échangeur ont un diamètre de 125 mm. La vitesse moyenne mesurée dans la gaine d'entrée est de $V = 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Question A4 | Calculer les débits volumiques entrant et sortant pour une section de diamètre 125 mm en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

La masse volumique de l'air sec est $\rho_{air} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Les questions suivantes portent sur une période de deux mois d'hiver en admettant que le débit calculé est le débit moyen en hiver et que la température extérieure est de 5°C .

Question A5 | Calculer la puissance totale échangée et l'énergie en kWh potentiellement récupérable.

Le coût du chauffage est de 0,13 €/kWh et le coût moyen de l'électricité est de 0,15 €/kWh.

Question A6 | Calculer le gain net sur la période en considérant que la VMC double flux consomme 200 W de plus qu'une installation qui utiliserait une VMC simple flux.

Partie B (à traiter obligatoirement)

Comportement hygrothermique du complexe de toiture

La maîtrise d'œuvre a décidé de placer un pare-vapeur en toiture du bâtiment. Pour des raisons économiques et environnementales, la possibilité de le retirer est étudiée.

Objectif : déterminer si l'utilisation d'un pare-vapeur en toiture du bâtiment est nécessaire.

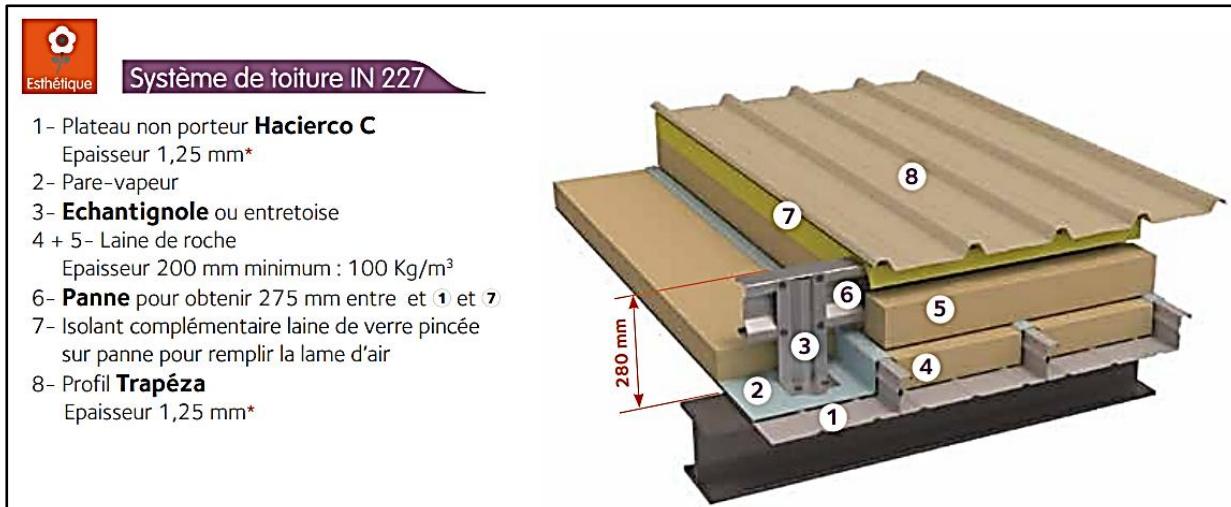
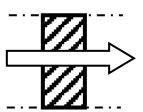
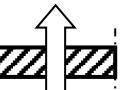
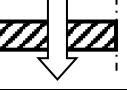


Figure B1 : système de toiture retenu pour la maîtrise d'œuvre

La figure B1 présente le système de toiture retenu par la maîtrise d'œuvre. Les caractéristiques des matériaux retenus sont :

- conductivité thermique de la laine de verre et de la laine de roche $\lambda_L = 0,034 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,
- conductivité thermique de l'acier $\lambda_A = 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

| Paroi donnant sur : | R _{si} m ² .K.W ⁻¹ | R _{se} ⁽²⁾ m ² .K.W ⁻¹ | R _{si} + R _{se} m ² .K.W ⁻¹ |
|--|--|---|--|
| - l'extérieur - un passage ouvert - un local ouvert ⁽¹⁾ | | | |
| Paroi verticale : Flux horizontal  | 0,13 | 0,04 | 0,17 |
| | 0,10 | 0,04 | 0,14 |
| Paroi horizontale :   | 0,17 | 0,04 | 0,21 |

(1) Un local est dit « ouvert » si le rapport de la surface totale de ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à $0,005 \text{ m}^2 / \text{m}^3$. Ce peut être le cas par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.
(2) Si la paroi donne sur un autre local non chauffé, un comble ou un vide sanitaire, R_{si} s'applique des deux côtés.

Figure B2 : résistances thermiques superficielles intérieures (Rsi) et extérieures (Rse)

| Résistance isolant (m ² .K/W) | Entraxe fausse panne (m) | $\psi_{\text{fausse panne}}$ (W/(m.K)) | ψ_{nervure} (W/(m.K)) | χ_{vis} (W/K) | ΔU (W/(m ² .K)) $d \leq 4$ vis/m ² $E_{\text{nervures}} \geq 0,25$ m ⁽¹⁾ |
|---|-----------------------------|---|--------------------------------------|------------------------------|---|
| 2,5 | 2,5 | 0,18 | 0,028 | 0,009 | 0,22 |
| | 3 | | | | 0,21 |
| 3 | 2,5 | 0,19 | 0,019 | 0,008 | 0,18 |
| | 3 | | | | 0,17 |

Si les conditions imposées pour le calcul de ΔU ne sont pas remplies, faire un calcul détaillé avec les ψ et χ .

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre : $\Delta U = 0,22$ W/(m².K).

Figure B3 : extrait des règles TH-BAT – couverture double peau à trame parallèle

Question B1 À l'aide des figures B1 et B2, calculer la résistance thermique de la toiture en négligeant les pannes. À l'aide de la figure B3, moduler la valeur déterminée précédemment à l'aide des règles TH-BAT.

Question B2
DRB1 Calculer le flux traversant la toiture pour une température intérieure de 16°C et extérieure de -6°C. Calculer les températures aux interfaces et compléter le document réponse DRB1. Sur le document réponse DRB1, tracer le profil de température à travers la toiture.

| Température sèche de l'air (°C) | Pression de vapeur saturante (Pa) | Température sèche de l'air (°C) | Pression de vapeur saturante (Pa) | Température sèche de l'air (°C) | Pression de vapeur saturante (Pa) | Température sèche de l'air (°C) | Pression de vapeur saturante (Pa) |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| -8 | 309 | 0 | 611 | 8 | 1 073 | 16 | 1 817 |
| -7 | 337 | 1 | 657 | 9 | 1 148 | 17 | 1 937 |
| -6 | 368 | 2 | 705 | 10 | 1 228 | 18 | 2 063 |
| -5 | 401 | 3 | 758 | 11 | 1 312 | 19 | 2 197 |
| -4 | 437 | 4 | 813 | 12 | 1 402 | 20 | 2 337 |
| -3 | 476 | 5 | 872 | 13 | 1 497 | 21 | 2 486 |
| -2 | 517 | 6 | 934 | 14 | 1 598 | 22 | 2 643 |
| -1 | 562 | 7 | 1 001 | 15 | 1 705 | 23 | 2 809 |

Figure B4 : valeurs des pressions de vapeur saturante

Question B3
DRB2 À l'aide de la figure B4, tracer sur le document réponse DRB2 le profil de pression de vapeur saturante à travers la paroi.

| | |
|-------------------|---|
| Plateau Haciero c | $8,500 \cdot 10^{-9}$ kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹ |
| Laine de roche | $2,925 \cdot 10^{-7}$ kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹ |
| Laine de verre | $2,925 \cdot 10^{-7}$ kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹ |
| Panneau Trapeza | $8,500 \cdot 10^{-9}$ kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹ |

Figure B5 : perméabilité à la vapeur d'eau des produits du bardage

- Question B4** DRB2 | À l'aide de la figure B5, calculer la résistance à la vapeur d'eau du toit pour une humidité relative intérieure de 85% et une humidité extérieure de 40%. Déduire le flux de vapeur. Calculer les pressions de vapeur aux interfaces. Tracer sur le document réponse DRB2 le profil de pression de vapeur dans la toiture.
- Question B5** | Conclure quant à la pertinence de l'utilisation d'un pare vapeur et de son emplacement.

Partie C (à traiter obligatoirement)

Évaluation des débits d'eau pluviale en situation exceptionnelle

La maîtrise d'œuvre se pose la question du débit arrivant dans le réseau d'eau pluvial public auquel sera relié le gymnase dans une situation de pluie exceptionnelle. On se questionne quant au débit d'eau maximum que peut gérer la descente d'eau pluviale et ce que peut recevoir le réseau de la ville.

Objectif : déterminer si la mise en place de solutions spécifiques sont à prévoir pour contrôler les débits dus aux pluies centenales.

L'étude est menée à l'aide de l'équation de Bernoulli décrivant la relation entre les grandeurs physiques pour un conduit reliant un point 1 à un point 2 dans lequel s'écoule un fluide :

$$P_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \rho \cdot \frac{V_2^2}{2} = P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \rho \cdot \frac{V_1^2}{2} - PDC$$

Où :

- P_i est la pression statique du liquide au point i (exprimée en Pa) ;
- ρ est la masse volumique du liquide (exprimée en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ;
- g est la gravité terrestre (exprimée en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) ;
- z_i est l'altitude du conduit au point i (exprimée en m) ;
- V_i est la vitesse du fluide au point i (exprimée $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) ;
- PDC correspond aux pertes de charge le long du conduit (exprimées en Pa).

Question C1

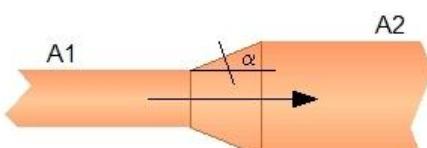
DRC1

À l'aide du modèle de réseau fourni dans le document réponse DRC1, indiquer les hypothèses qui peuvent être formulées et qui rendent la formule de Bernoulli applicable.

Question C2

DRC1

Compléter sur le document réponse DRC1 les valeurs V_1 , P_1 , z_1 , P_2 et z_2 nécessaires pour déterminer V_2 .



A₁ représente la section du conduit avant la perte de charge.

| α en degré | A ₁ /A ₂ | | | | | |
|------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 10 | 0,15 | 0,13 | 0,10 | 0,08 | 0,06 | 0,05 |
| 20 | 0,30 | 0,24 | 0,19 | 0,14 | 0,10 | 0,07 |
| 30 | 0,52 | 0,41 | 0,31 | 0,23 | 0,16 | 0,10 |
| 40 | 0,75 | 0,59 | 0,40 | 0,33 | 0,23 | 0,15 |
| 50 | 0,88 | 0,70 | 0,51 | 0,39 | 0,27 | 0,18 |
| 60 | 0,93 | 0,74 | 0,57 | 0,41 | 0,29 | 0,18 |
| 90 | 0,89 | 0,70 | 0,54 | 0,39 | 0,28 | 0,17 |

A₂ représente la section du conduit après la perte de charge.

Figure C1 : coefficients de pertes de charges dans un conduit

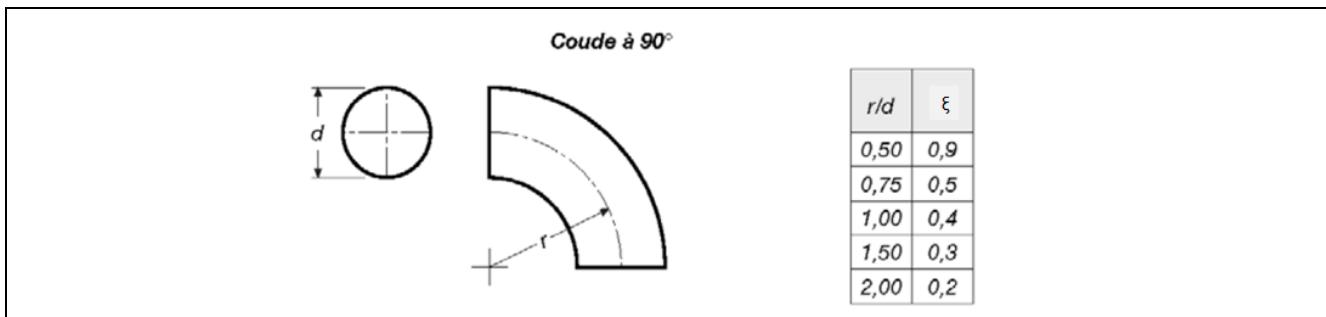


Figure C2 : coefficients de pertes de charges dans un coude

Les pertes de charges sur un conduit tel qu'illusté par la figure C1 sont de plusieurs natures :

- Pertes de charges réparties : $PDC = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2}$ avec $\lambda=0,025$ et où L est la longueur du conduit et D son diamètre ;
- Pertes de charge singulières : $PDC = \xi \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2}$ où ξ est un coefficient dépendant de la forme du conduit.

Le coefficient ξ est déterminé à l'aide des formules suivantes :

- $\xi = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$ pour un élargissement brusque où A1 et A2 sont respectivement les sections du conduit avant et après l'élargissement,
- $\xi = 0,5$ pour un rétrécissement brusque,
- la figure C1 donne les valeurs de ξ pour un élargissement progressif.

Question C3
DRC1

Identifier les pertes de charges présente dans le réseau. Établir le coefficient de pertes de charge pour chacune des pertes de charges singulières.

Dans une première approximation, on considère que la vitesse de fluide à prendre en compte dans les pertes de charge correspond à la vitesse de sortie du fluide à l'extrémité du réseau.

Question C4

À l'aide de la formule de Bernoulli avec perte de charges, déterminer la vitesse et le débit d'eau arrivant dans la buse DN 800. Expliquer la conséquence de ce choix sur le calcul.

La surface d'influence moyenne d'une descente d'eau est de 155,61 m². La pluie centennale de référence est estimée à 57,9 mm sur 3 h.

Question C5

Déterminer le débit associé à la pluie centennale pour une descente d'eau. Comparer la valeur obtenue au débit déterminé à la question C4 et commenter.

Il y a 8 descentes d'eaux pluviales. Le débit limite de rejet dans le réseau d'eau est de 2 l/s/ha pour le terrain complet, d'une surface de 1 734 m².

Question C6

Comparer le débit limite dans le réseau d'eau à celle déterminée précédemment en prenant en compte de manière simplifiée les eaux récupérées sur le terrain.

Question C7 | Présenter des solutions à mettre en place pour contrôler les débits dus aux pluies centennales. Expliquer celle choisie ici par la maîtrise d'œuvre.

Partie D (choix 1)

Étude d'une chaudière gaz

Il est prévu d'équiper la chaufferie de deux chaudières gaz. Cette partie a pour but de démontrer l'intérêt de la récupération de chaleur par condensation.

Objectif : déterminer la quantité de chaleur récupérée annuellement grâce au dispositif à condensation des chaudières.

La figure D1 illustre le principe d'une chaudière gaz à condensation et la figure D2 les données techniques associées à une chaudière installée dans la chaufferie.

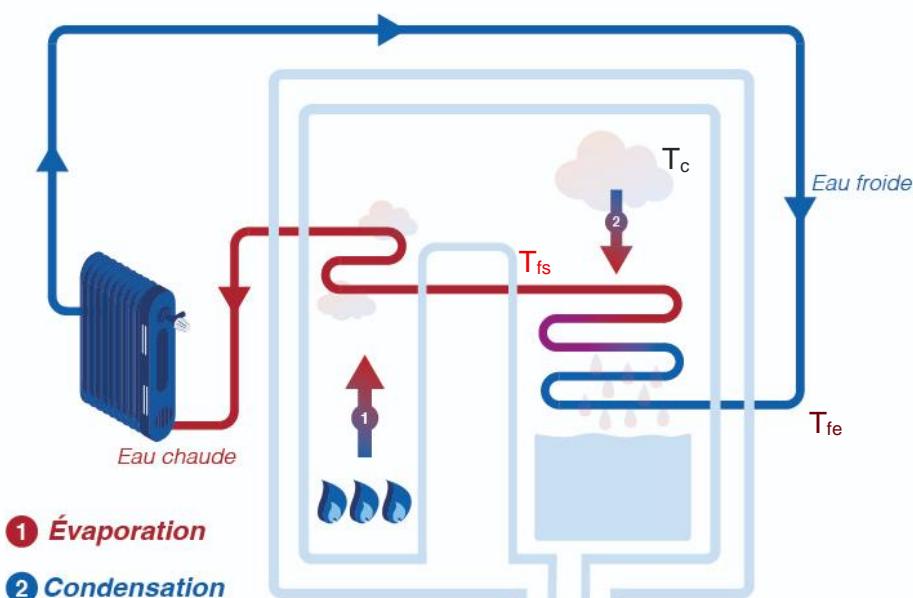


Figure D1 : principe d'un Chaudière à gaz à condensation

| | |
|---------------------------------------|--|
| Rendement théorique | 107% |
| Puissance nominale en condensation | 101,7 kW |
| Débit gaz | 9,15 m ³ /h |
| Irrigation de la chaudière | 4,10 m ³ /h |
| Température de condensation | 104 °C |
| Conductivité thermique tube échangeur | 46 W/m·K ; diamètre 16/14 ; longueur 1 m |
| Température du retour | 55 °C |

Figure D2 : données techniques d'une chaudière gaz à condensation

Question D1

Expliquer le principe d'une chaudière à condensation. Le rendement de la chaudière est de 109%, expliquer ce chiffre en utilisant notamment les notions de Pouvoir calorifique inférieur (PCI) et Pouvoir calorifique supérieur (PCS).

Le PCI du gaz est de $10,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$. La puissance de la chaufferie prevue pour le projet est de 190 kW.

Question D2 | Calculer la puissance fournie par la chaudière. Commenter la valeur trouvée.

L'équation de combustion du gaz est $\text{CH}_4\text{(g)} + 2\text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CO}_2\text{(g)} + 2\text{H}_2\text{O(g)}$ où :

- volume molaire du méthane : $24,47 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- masse molaire du carbone : $12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- masse molaire de l'hydrogène : $1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- masse molaire de l'oxygène : $16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Question D3 | Estimer le volume d'eau condensée sur un cycle de chauffe de 30 minutes. Expliquer les conséquences pour la chaudière.

La chaleur latente de liquéfaction de l'eau est de $0,640 \text{ kWh}\cdot\text{L}^{-1}$.

Question D4 | Calculer le PCS du gaz. Calculer le rendement **PCS** de la chaudière si toute l'eau est condensée.

Le coefficient de convection froid dans le tube de l'échangeur est déterminé à l'aide des relations suivantes :

$$h_f = St_f \cdot \rho \cdot C_p \cdot V \quad \text{avec } St_f = 0,023 \cdot Re^{-0,2} \cdot Pr^{-0,6}$$

Où :

- Re est le nombre de Reynold, $Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$;
- ν est la viscosité cinétique, $\nu = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$;
- d est le diamètre de la canalisation ;
- V est la vitesse du fluide ;
- Pr est le nombre de Prandtl, $Pr = 7,01$;
- ρ est la masse volumique du fluide ;
- C_p est la capacité thermique massique, $C_p = 4\,180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Question D5 | Calculer le coefficient de convection froid h_f à l'intérieur du tube de récupération de chaleur.

On suppose que le transfert de chaleur à travers le tube de la chaudière permet d'utiliser la formule suivante :

où :

- k est le coefficient d'échange ;
- h_c est le coefficient de convection de la paroi extérieure du tube, $h_c = 6\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$;
- e est l'épaisseur du tube de l'échangeur ;
- λ_{tube} est la conductivité thermique du tube ;
- h_f est le coefficient de convection froid dans le tube de l'échangeur.

Question D6 | Déterminer le coefficient d'échange k du système.

Dans les conditions de l'étude, on peut utiliser les équations suivantes :

$$\text{NUT} = \text{Nombre d'unité de transfert} = k \cdot \frac{\Sigma}{q_{tf}}$$
$$E = \text{Efficacité} = 1 - e^{-\text{NUT}} = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_c - T_{fe}}$$

Où :

- q_{tf} est le débit de capacité thermique massique de l'eau dans le tube ;
- Σ est la surface d'échange moyenne ;
- T_{fs} est la température froide sortante ;
- T_{fe} est la température froide entrante ;
- T_c est la température chaude.

On considère que la saison de chauffe dure 150 jours à raison de 5 heures de fonctionnement par jour.

Question D7 | Calculer le NUT du système et l'efficacité du système.

Déduire la température de sortie du récupérateur, et la quantité de chaleur Q récupérée annuellement grâce au dispositif à condensation.

Partie E (choix 2)

Contreventement de versant

Le contreventement du long pan de la structure peut être modélisé par le schéma mécanique illustré figure E1.

Les efforts à l'État Limite Ultime (E.L.U.) estimés sont :

- $\|\overrightarrow{F_{1Sud}}\| = 43,5 \text{ kN}$
- $\|\overrightarrow{F_{3Sud}}\| = 9 \text{ kN}$
- $\|\overrightarrow{F_{2Nord}}\| = 19,5 \text{ kN}$
- $\|\overrightarrow{F_{4Nord}}\| = 3,75 \text{ kN}$

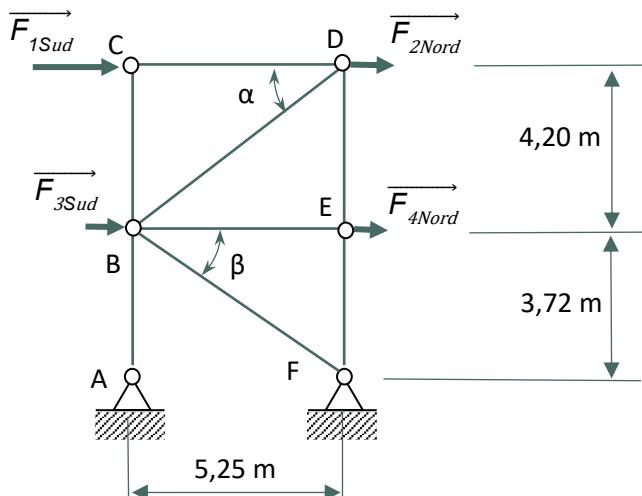


Figure E1 : modélisation de la structure de contreventement

Objectif : déterminer le déplacement aux points D et E de la structure de contreventement.

Étude à l'E.L.U. :

Question E1 | Calculer les actions de la structure sur les ancrages en A et F.

Question E2 | Calculer les efforts dans chaque barre. Donner l'effort dans la diagonale la plus sollicitée.

Étude à l'État Limite de Service (E.L.S.) :

Dans une première approche, il est possible de considérer un rapport de 1,5 entre les efforts à l'E.L.U. et les efforts à l'E.L.S.

Question E3 | En utilisant les résultats précédents, déterminer les efforts dans les barres à l'E.L.S.

Les profils ont les caractéristiques suivantes :

- Poteaux (Barres AB-BC et FE-ED) : HEA 400 en S275.
- $A = 159 \text{ cm}^2 ; I_y = 45\,070 \text{ cm}^4 ; I_z = 8\,564 \text{ cm}^4$.
- Diagonales et butons (Barres BF, BE, BD, CD) : Tubes carrés 120 x 120 x 4 en S275.
- $A = 18,5 \text{ cm}^2 ; I_y = I_z = 402,3 \text{ cm}^4$
- Module d'Young $E = 210\,000 \text{ MPa}$

La condition de déplacement maximal horizontal en tête de poteau est de $H/300$.

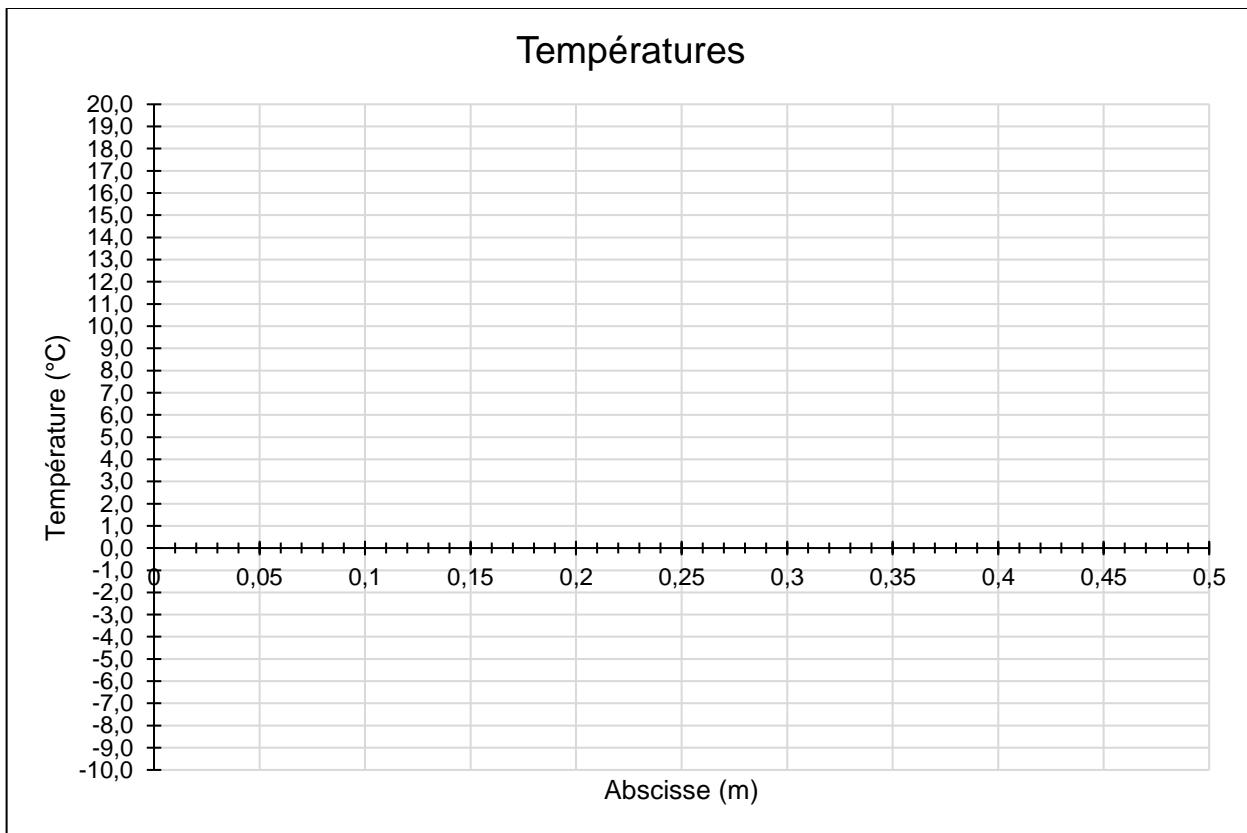
- Question E4** | Calculer l'allongement de la barre BF.
- Question E5** | Calculer le déplacement du point E en considérant uniquement la déformation de la barre BF.
- Question E6** | En établissant les hypothèses nécessaires, calculer le déplacement du point D en tenant compte de la déformation de toutes les barres.
- Question E7** | Comparer les déplacements de D et E. Vérifier géométriquement la cohérence de vos résultats. Conclure.

DOCUMENT RÉPONSE DRB1 (Question B2)

Températures aux interfaces des matériaux

| Matériaux | Resistance Thermique ($\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$) | Abscisse (m) | T (°C) | Pression saturante (Pa) |
|---------------------|--|--------------|--------|-------------------------|
| Ambiance Extérieur | | 0 | | |
| Bac Acier | | | | |
| Laine de Verre | | | | |
| Laine de roche | | | | |
| Plateau acier | | | | |
| Ambiance intérieure | | | | |

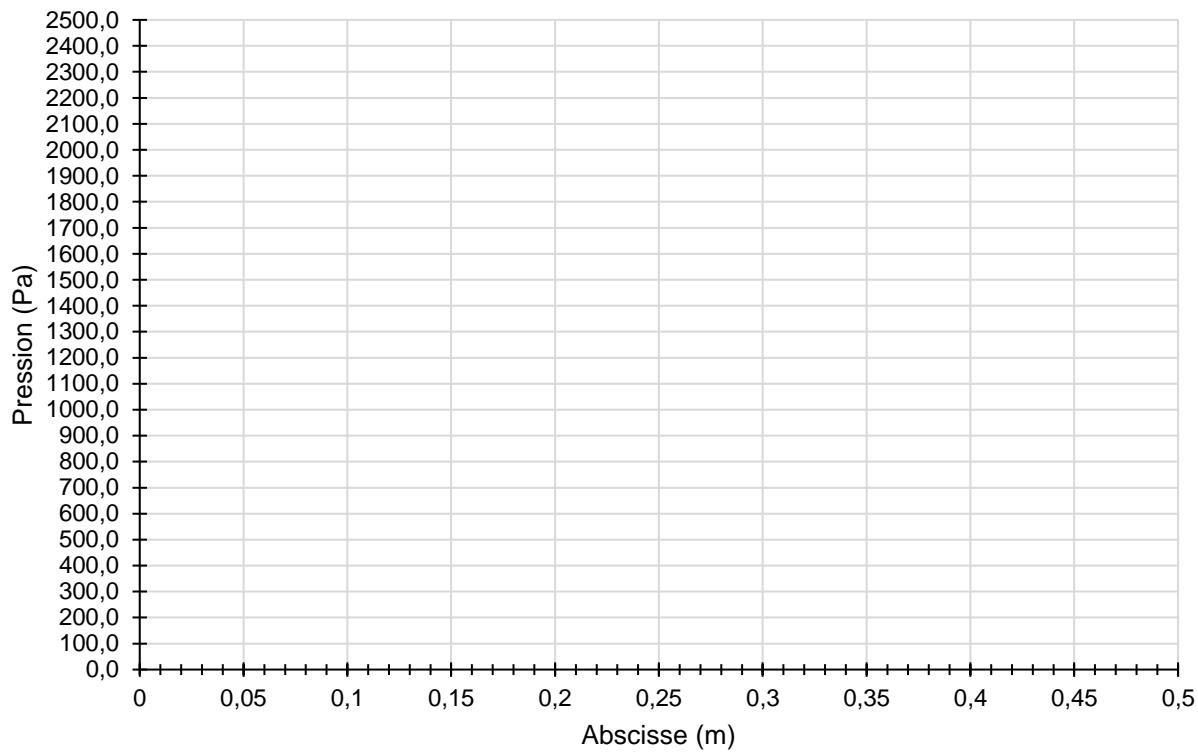
Courbe des températures dans le complexe de toiture



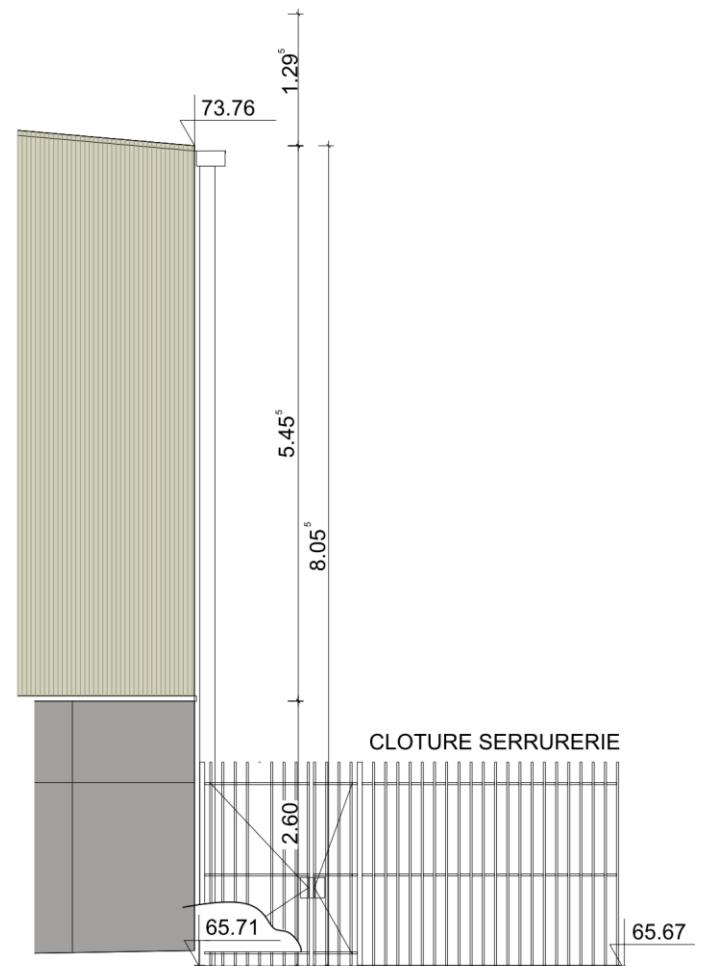
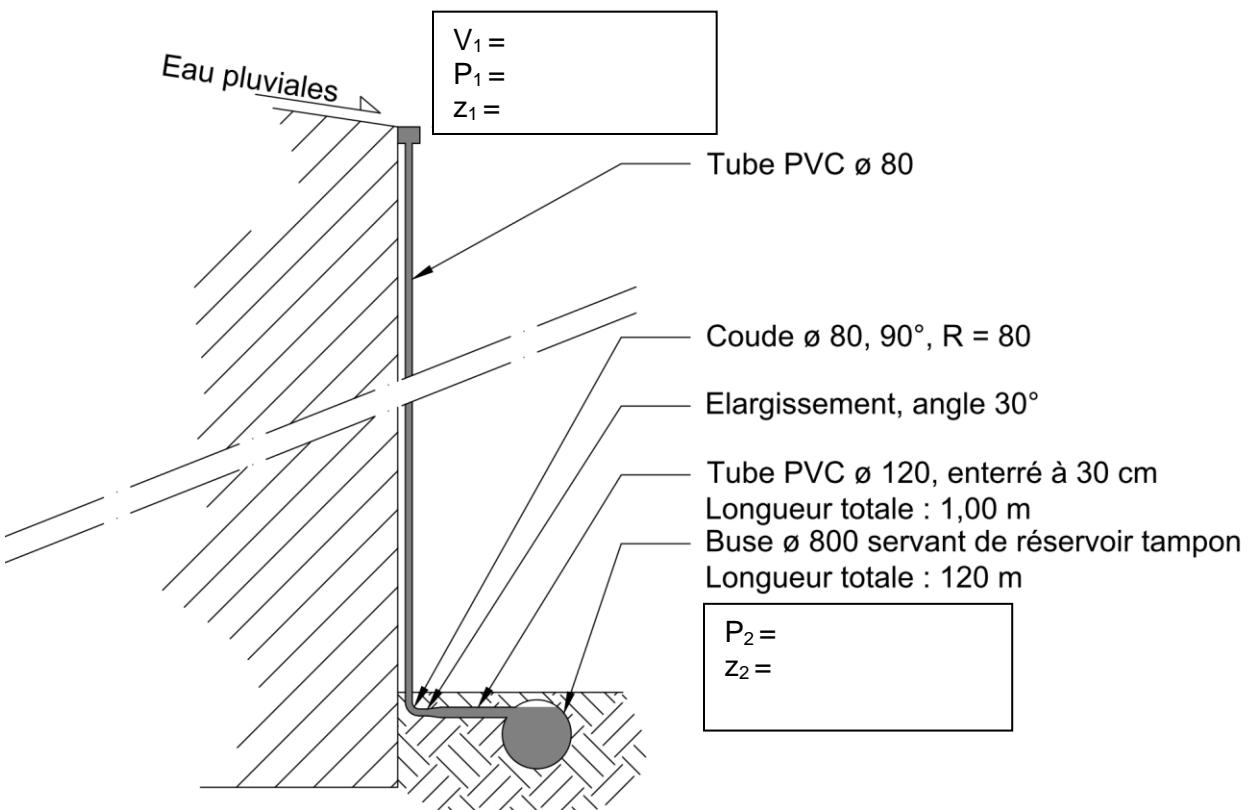
DOCUMENT RÉPONSE DRB2 (Questions B3, B4)

Pressions saturantes et réelles

ÉVOLUTION DES PRESSIONS SATURANTES ET RÉELLES



DOCUMENT RÉPONSE DRC1 (Questions C1, C2)



2) Attendus de l'épreuve (éléments de corrigé)

Conseils aux candidats

Il est demandé aux candidats :

- de rédiger les réponses aux différents exercices sur des feuilles de copie séparées et clairement repérées ;
- de numérotter chaque feuille de copie et indiquer le numéro de la question traitée ;
- de rendre tous les documents réponses, même non complétés ;
- d'utiliser exclusivement les notations indiquées dans le sujet lors de la rédaction des réponses ;
- de justifier clairement les réponses ;
- d'encadrer ou souligner les résultats ;
- de présenter lisiblement les applications numériques, sans omettre les unités, après avoir explicité les expressions littérales des calculs ;
- de formuler les hypothèses nécessaires à la résolution des problèmes posés si celles-ci ne sont pas indiquées dans le sujet.

Partie A (à traiter obligatoirement)

Question A1

$$\text{Pour } x=L ; T_f(x)=T_{fe} \text{ donc } T_{fs} = \frac{T_{fe} + \frac{U}{C} \cdot p \cdot L \cdot T_{ce}}{1 + \frac{U}{C} \cdot p \cdot L}$$

$$\text{De même pour } x = L, T_c(x) = T_{cs} \text{ donc } T_{cs} = T_{ce} - \frac{U}{C} \cdot p \cdot L \cdot (T_{ce} - T_{fs}).$$

Question A2

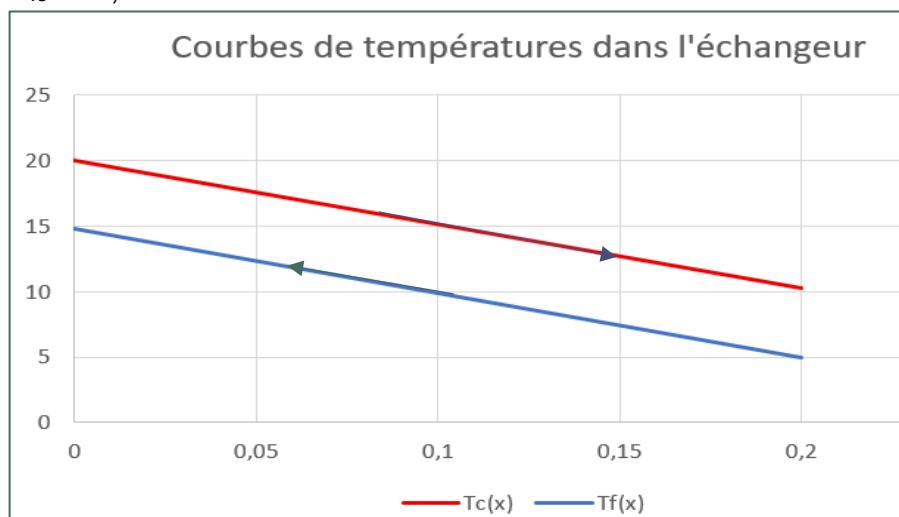
$$T_c(x) = -\frac{U}{C} \cdot p \cdot (T_{ce} - T_{fs}) \cdot x + T_{ce}$$

$$T_f(x) = -\frac{U}{C} \cdot p \cdot (T_{ce} - T_{fs}) \cdot x + T_{fs}$$

$$\text{Coefficient directeur } -\frac{U}{C} \cdot p \cdot (T_{ce} - T_{fs})$$

$$T_{cs} = 10,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{fs} = 14,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Question A3

$$E = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{Max récupérable}}} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{fs} - T_{fe})}{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{ce} - T_{fe})} = \frac{(T_{fs} - T_{fe})}{(T_{ce} - T_{fe})}$$

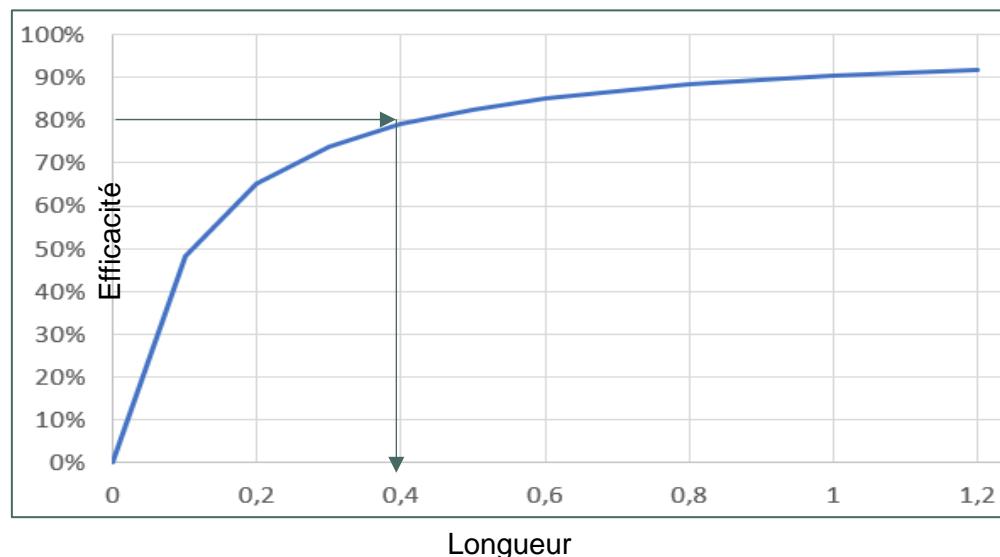
$$E = \frac{\left(\frac{T_{fe} + \frac{U}{C} \cdot p \cdot L \cdot T_{ce}}{1 + \frac{U}{C} \cdot p \cdot L} - T_{fe} \right)}{(T_{ce} - T_{fe})}$$

$$E = \frac{\frac{U \cdot p \cdot L}{1 + \frac{U}{C} \cdot p \cdot L}}{(T_{ce} - T_{fe})}$$

Il s'agit d'une fonction homographique (hyperbole d'asymptote E=100%)

Ici L = 0,2 m donc E= 65%

Pour E = 80, il faudrait L = 0,4 m soit 40 cm.

**Question A4**

$$Q_f = Q_c = A \times V = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times V = 0,098 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 353 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Question A5

$$P_{\text{échangée}} = \dot{m} \times C \times \Delta T = Q \times \rho_{\text{air}} \times C \times (T_{fs} - T_{fe}) = 1\,157 \text{ W}$$

$$\text{Durée} = 60 \text{ jours} \times 24 \text{ h}$$

$$\text{Energie} = P_{\text{échangée}} \times \text{Durée} = 1\,666,6 \text{ kWh}$$

Question A6

$$\text{Surcoût} = 200 \times 60 \times 24 \times 0,15 = 43,20 \text{ €}$$

$$\text{Gain} = 1\,666,6 \times 0,13 = 216,62 \text{ €}$$

$$\text{Gain net} = 173,42 \text{ €}$$

Partie B (à traiter obligatoirement)

Question B1

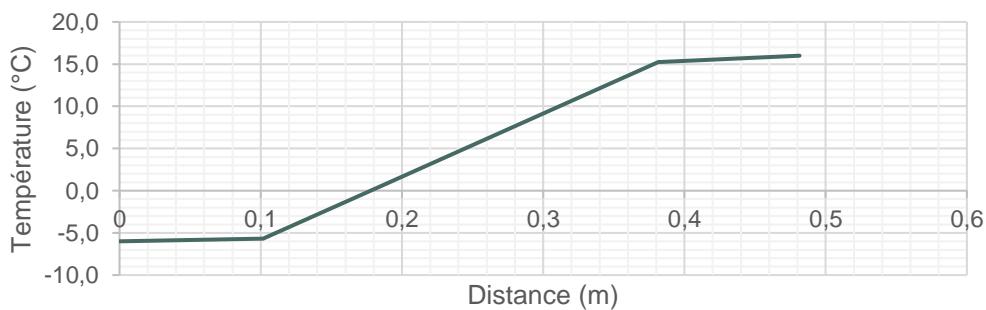
$$\begin{aligned}
 R_{\text{tot}} &= R_{\text{se}} + \frac{0,28 - 0,2}{0,034} + \frac{0,2}{0,034} + R_{\text{si}} = 0,04 + \frac{0,08}{0,034} + \frac{0,20}{0,034} + 0,10 \\
 &= 8,375 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1} \\
 U &= \frac{1}{R_{\text{tot}}} = 0,119 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \\
 U_{\text{corrigé}} &= U + \Delta U = 0,339 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \\
 R_{\text{corrigée}} &= \frac{1}{U_{\text{corrigé}}} = 2,946 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}
 \end{aligned}$$

Question B2

Le flux thermique dans les conditions données est de :

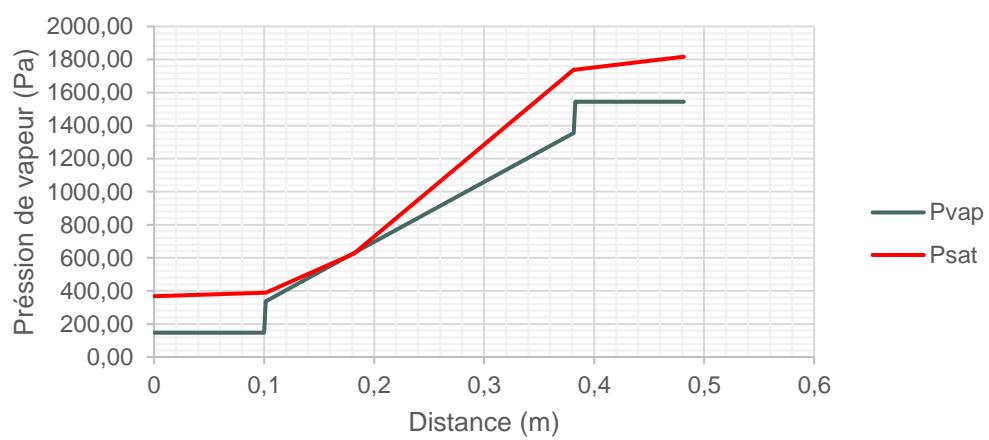
$$\emptyset = \frac{T_{\text{intérieure}} - T_{\text{extérieure}}}{R_{\text{corrigée}}} = 7,47 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

| Abcisse (m) | Température (°C) |
|-------------|------------------|
| 0 | -6,0 |
| 0,1 | -5,7 |
| 0,1015 | -5,7 |
| 0,1815 | 0,3 |
| 0,3815 | 15,3 |
| 0,383 | 15,3 |
| 0,4815 | 16,0 |


Question B3 et B4

$$\begin{aligned}
 \pi_{\text{tot}} &= \pi_{\text{Bac acier}} + \pi_{\text{LV}} + \pi_{\text{LR}} + \pi_{\text{Plateaux}} \\
 &= \frac{0,00125}{8,5 \times 10^{-9}} + \frac{0,08}{2,93 \times 10^{-7}} + \frac{0,08}{2,93 \times 10^{-7}} + \frac{0,00125}{8,5 \times 10^{-9}} \\
 &= 1,3 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}
 \end{aligned}$$

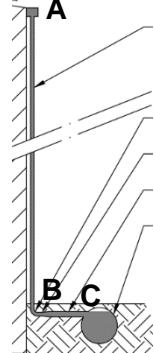
| Distance (m) | Pvap (Pa) | Psat (Pa) |
|--------------|-----------|-----------|
| 0 | 147,20 | 368 |
| 0,1 | 147,20 | 389 |
| 0,1015 | 336,23 | 389 |
| 0,1815 | 629,20 | 625 |
| 0,3815 | 1 355,42 | 1 739 |
| 0,383 | 1 544,45 | 1 739 |
| 0,4815 | 1 544,45 | 1 817 |



Question B5

Le pare vapeur est nécessaire, le risque de condensation existe dans la toiture. Son placement, en amont du complexe d'isolation est pertinent.

Partie C (à traiter obligatoirement)

| | | | | | | | | | |
|------------------------|--|-------------------|---------------|------------|---------------|------------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| Question C1 | <p>Les hypothèses qui peuvent être formulées et qui rendent la formule de Bernoulli applicable sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'étude peut être menée en régime permanent • le fluide est supposé incompressible • les réseaux sont saturés. | | | | | | | | |
| Question C2 | $z_1 = 73,76 \text{ m}$ $P_1 = \text{pression atmosphérique} = 10^5 \text{ Pa}$ $V_1 = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ $z_2 = 65,67 - 0,3 = 65,37 \text{ m}$ $P_2 = \text{pression atmosphérique} = 10^5 \text{ Pa}$ | | | | | | | | |
| Question C3 | <table style="margin-left: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding-right: 20px;">Étranglement en A</td> <td style="padding-right: 20px;">$\xi = 0,500$</td> </tr> <tr> <td>Coude en B</td> <td>$\xi = 0,400$</td> </tr> <tr> <td>Changement de diamètre</td> <td>$\xi = 0,215$</td> </tr> <tr> <td>Ouverture subite en C</td> <td>$\xi = 0,955$</td> </tr> </table> | Étranglement en A | $\xi = 0,500$ | Coude en B | $\xi = 0,400$ | Changement de diamètre | $\xi = 0,215$ | Ouverture subite en C | $\xi = 0,955$ |
| Étranglement en A | $\xi = 0,500$ | | | | | | | | |
| Coude en B | $\xi = 0,400$ | | | | | | | | |
| Changement de diamètre | $\xi = 0,215$ | | | | | | | | |
| Ouverture subite en C | $\xi = 0,955$ | | | | | | | | |
| Question C4 |  $P_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \rho \cdot \frac{V_2^2}{2} = P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \rho \cdot \frac{V_1^2}{2} - PDC$ $P_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot 65,37 + \rho \cdot \frac{V_2^2}{2} = P_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot 73,76 - \rho \cdot 2,071 \cdot \frac{V_2^2}{2}$ $- \rho \cdot \frac{0,025 \cdot 1,00}{0,12} \cdot \frac{V_2^2}{2} - \rho \cdot \frac{0,025 \cdot 8,39}{0,08} \cdot \frac{V_2^2}{2}$ $V_2 = 5,57 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ $Q_2 = 0,0631 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 63,11 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ <p>En prenant la vitesse de sortie du réseau pour le calcul des pertes de charges, on surestime ces dernières et on minimise donc l'estimation du débit. On se place donc dans un cas défavorable.</p> | | | | | | | | |
| Question C5 | $Q_{\text{pluie}} = \frac{57,9 \cdot 10^{-3} \cdot 155,61}{3} = 3,00 \text{ m}^3/\text{h} = 0,83 \text{ l/s}$ <p>Le débit associé à la pluie centenale de référence est inférieur à Q_2, le réseau ne sera donc jamais saturé.</p> | | | | | | | | |
| Question C6 | $Q_{\text{pluie}} = \frac{57,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1734}{3} = 33,47 \text{ m}^3/\text{h} = 9,3 \text{ l/s} > 2 \cdot 0,1734 = 0,34 \text{ l/s}$ <p>Le débit de rejet est trop important, le réseau de la ville ne pourra le supporter.</p> | | | | | | | | |

Question C7

La maîtrise d'œuvre a choisi de créer un réservoir d'eau de 60 m³ par les buses permettant de déphaser le rejet de la pluie dans le réseau de la ville. Un toiture terrasse végétalisée aurait aussi permis de créer un déphasage par l'absorption et le drainage du substrat.

Partie D (choix 1)

| | |
|--------------------|---|
| Question D1 | <p>Une chaudière à condensation est basée sur la récupération de chaleur de la chaleur latente des condensats de combustion par l'intermédiaire d'un condenseur qui préchauffe les fluides de chauffage.</p> <p>Le rendement est défini par le rapport entre l'énergie restituée sous forme de chaleur et l'énergie réellement consommée par la chaudière.</p> <p>Cette définition pour la chaudière gaz étant basée sur le pouvoir calorifique inférieur (PCI), on peut donc obtenir un rendement de plus de 100%.</p> |
| Question D2 | $\text{PCI} \cdot \text{Débit}_{\text{gaz}} = 10,4 \cdot 9,15 = 95,16 \text{ kW}$ <p>Puissance fournie pour une chaudière $95,16 \times 1,07 = 101,82 \text{ kW}$</p> <p>Pour deux chaudières : $203,6 \text{ kW}$</p> <p>Correspond à la puissance des chaudières proposées</p> |
| Question D3 | <p>Consommation de gaz</p> $\text{Débit}_{\text{molaire gaz}} = \frac{9,15 \cdot 1\,000}{24,47} = 373,93 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1}$ <p>Production d'eau</p> $373,93 \cdot 2 = 747,85 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1}$ $747,85 \cdot 18 = 13\,461 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1} = 13,46 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ <p>Soit 6,73L d'eau en une demi-heure. Les chaudières devront être reliées à une évacuation d'eau usée dimensionnée en conséquence.</p> |
| Question D4 | <p>La chaleur latente d'évaporation est : $13,46 \cdot 0,64 = 8,62 \text{ kWh}$</p> $\text{PCS} = 85,16 + 8,62 = 103,78 \text{ kWh}$ $\text{Rendement PCS} = \frac{101,7}{103,8} \times 100 = 98\%$ |
| Question D5 | $St_f = 0,023 \cdot Re^{-0,2} \cdot Pr^{-0,6} = 0,023 \cdot (1,48 \cdot 10^5)^{-0,2} \cdot 7,01^{-0,6} = 6,611 \cdot 10^{-4}$ $h_f = St_f \cdot \rho \cdot C_p \cdot V = 6,611 \cdot 10^{-4} \cdot 1\,000 \cdot 4\,180 \cdot \frac{4 \cdot 4,1}{3600 \cdot \pi \cdot 0,014^2}$ $= 2,044 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2 \text{K}$ |
| Question D6 | $\frac{1}{k} = \frac{1}{h_c} + \frac{e}{\lambda_{\text{tube}}} + \frac{1}{h_f}$ $\frac{1}{k} = \frac{1}{2,44 \cdot 10^4} + \frac{0,001}{46} + \frac{1}{6000}$ $k = 4,21 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2 \text{K}$ |

Question D7

$$NUT = k \cdot \frac{\Sigma}{q_{tf}} = 4,21 \cdot 10^3 \cdot \frac{1 \cdot \pi \cdot \frac{0,016 + 0,014}{2}}{\frac{4,1}{3600} \cdot 1000 \cdot 4180} = 0,042$$

$$E = 1 - e^{-NUT} = 0,0408 = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_c - T_{fe}} = \frac{T_{fs} - 55}{104 - 55}$$

$$T_{fs} = 57^\circ C$$

$$Q_{recupéré} = 1000 \cdot 4180 \cdot \frac{4,1}{3600} \cdot (57 - 55) = 9530 W = 9,53 kW$$

$$Q_{recupéré annuel} = 9,53 \cdot 150 \cdot 5 = 7147 kWh$$

Partie E (choix 2)**Question E1**

$$\alpha = 38,66^\circ$$

$$\beta = 35,32^\circ$$

La barre AB étant bi-articulée :

$$X_A = 0$$

En appliquant le principe fondamental de la dynamique au système complet en F :

- $X_F = -75,8 \text{ kN}$
- $Y_A = -104,1 \text{ kN}$
- $Y_F = 104,1 \text{ kN}$

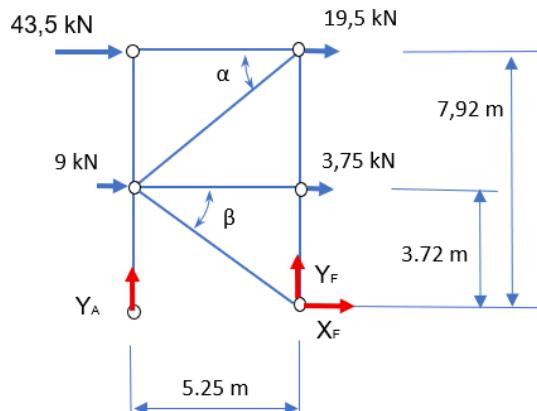
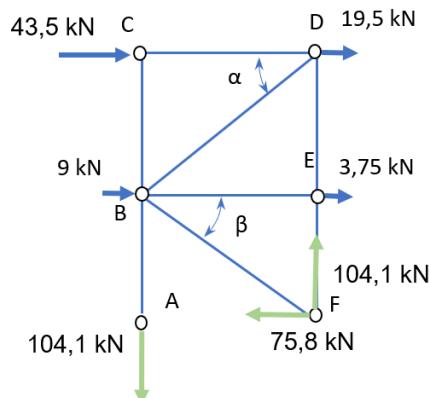


Schéma bilan :

**Question E2**

Équilibre du nœud C : $N_{CD} = -43,5 \text{ kN}$

$$N_{BC} = 0$$

Nœud D :

$$N_{BD} = 80,7 \text{ kN}$$

$$N_{ED} = -50,4 \text{ kN}$$

Nœud E :

$$N_{BE} = 3,8 \text{ kN}$$

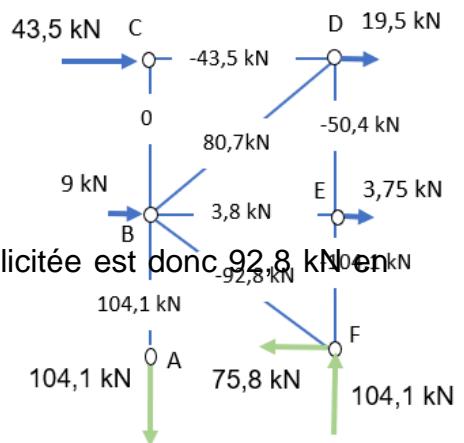
$$N_{EF} = -50,4 \text{ kN}$$

Nœud B :

$$N_{BF} = -92,8 \text{ kN}$$

$$N_{BA} = 104,1 \text{ kN}$$

L'effort normal dans la diagonale la plus sollicitée est donc **-92,8 kN en compression**.



Question E3

En considérant que le comportement de la structure est parfaitement élastique, on obtient les efforts dans les barres à l'E.L.S. en divisant les résultats précédents par 1,5, le bilan est donc :

Équilibre du nœud C : $N_{CD} = -29 \text{ kN}$

$$N_{BC} = 0$$

Nœud D :

$$N_{BD} = 53,8 \text{ kN}$$

$$N_{ED} = -33,6 \text{ kN}$$

Nœud E :

$$N_{BE} = 2,5 \text{ kN}$$

$$N_{EF} = -33,6 \text{ kN}$$

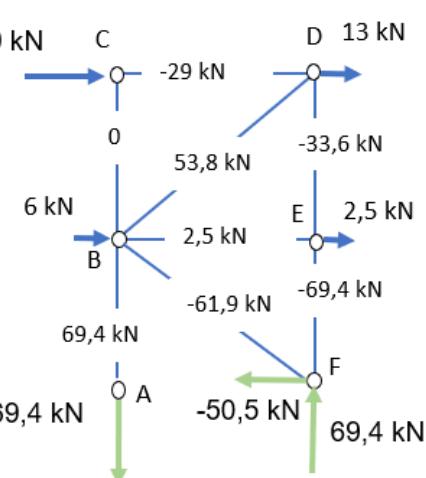
Nœud B :

$$N_{BF} = -61,9 \text{ kN}$$

$$N_{BA} = 69,4 \text{ kN}$$

Équilibre du nœud C : $N_{CD} = -29 \text{ kN}$

$$N_{BC} = 0$$



Question E4

En considérant l'effort normal constant le long de la barre, un modèle de comportement élastique (Loi de Hooke), en considérant que les vérifications en instabilité sont réalisées, la déformation de la barre suivant son axe s'exprime par :

$$\Delta L_{BF} = \frac{N}{E \cdot A} \cdot L_{BF}$$

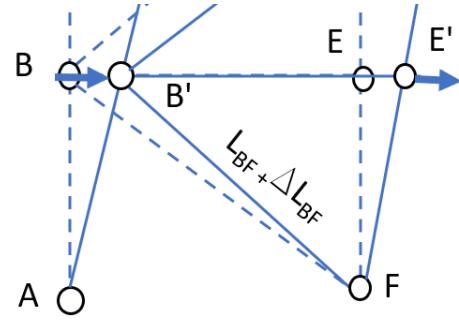
$$\begin{aligned} L_{BF} &= 6,43 \text{ m} \\ \Rightarrow L_{BF} &= -1,025 \text{ mm} \end{aligned}$$

Question E5

On considère le triangle B'EF :
 $[B'E] = 5,249 \text{ m}$

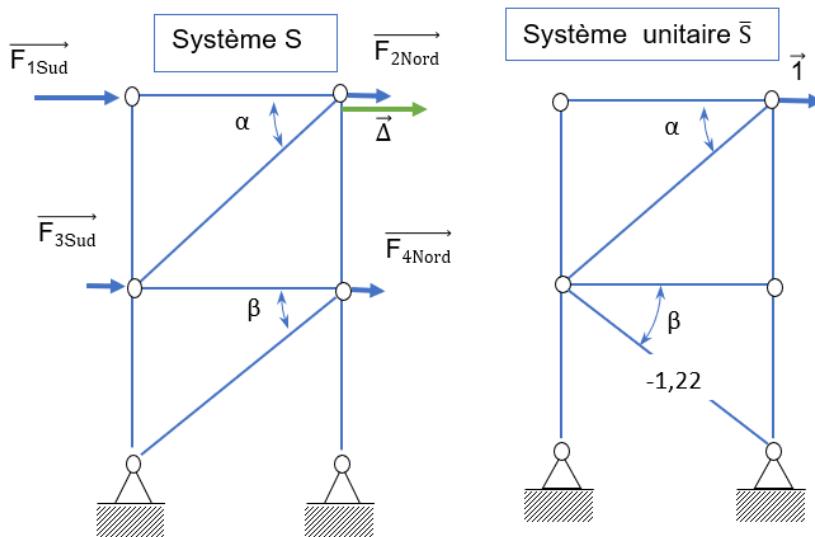
Le déplacement du point B est donc :
 $[BB'] = [BE] - [BB'] = 1,26 \text{ mm}$

Si on considère uniquement la deformation de la barre BF, le déplacement du point E est identique au déplacement du point B, soit :
 $[EE'] = 1,26 \text{ mm}$



Question E6

Par application du principe des travaux virtuels, le théorème de la charge unité peut être appliquée :



Le système en barre bi-articulées avec le chargement considéré et un système chargé virtuellement avec une charge unitaire dans la direction du déplacement point D.

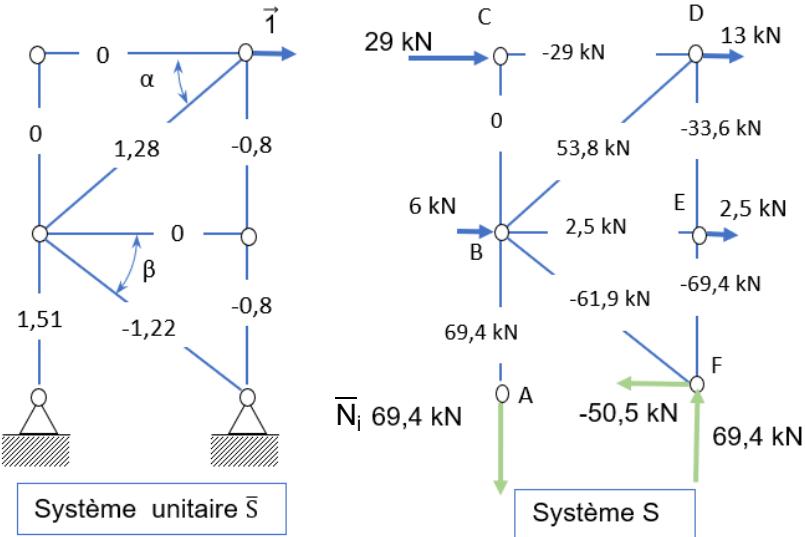
Le déplacement s'exprime par :

$$\Delta = \int \left(\frac{M(x) \cdot \bar{M}(x)}{E \cdot I_{Gz}} + \frac{N(x) \cdot \bar{N}(x)}{E \cdot A} + \frac{V(x) \cdot \bar{V}(x)}{G \cdot A_{V_y}} \right) \cdot dx$$

Ici :

$$\Delta = \int_{\text{structure}} \left(\frac{N(x) \cdot \bar{N}(x)}{E \cdot A} \right) \cdot dx$$

Les efforts dans les barres sont obtenus par l'équilibre des noeuds :



Il est donc possible d'obtenir Δ , le déplacement en D :

| Barres | A_i (cm^2) | L_i (m) | N_i (kN) | \bar{N}_i | $\frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{E \cdot A_i} \cdot L_i$ (mm) |
|--------|-------------------------|-----------|------------|-------------|--|
| AB | 159 | 3,72 | 69,4 | 1,51 | 0,117 |
| BF | 18,5 | 6,43 | -61,9 | -1,22 | 1,250 |
| EF | 159 | 3,72 | -69,4 | -0,8 | 0,062 |
| ED | 159 | 4,2 | -33,6 | -0,8 | 0,034 |
| BD | 18,5 | 6,72 | 53,8 | 1,28 | 1,191 |

$$\Delta = \int_{\text{structure}} \left(\frac{N(x) \cdot \bar{N}(x)}{E \cdot A} \right) \cdot dx = \sum_{i=1}^n \frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{E \cdot A_i} \cdot L_i = 2,65 \text{ mm}$$

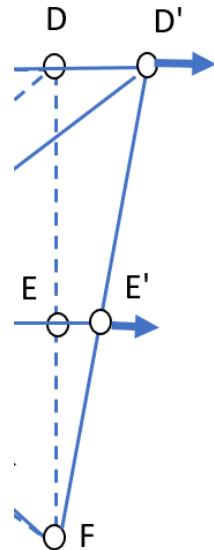
Question E7

En reprenant les résultats de la question 5, il est possible d'obtenir, en ne considérant que les déformations des diagonales, le déplacement de D, en appliquant le théorème de Thalès :

$$[DD'] = 2,67 \text{ mm}$$

L'écart entre les deux résultats, Δ et $[DD']$ est de 0,7%, les butons ne contribuent pas au déplacement du point D et les poteaux, présentant une aire de section importante n'y participent que très faiblement.

Pour le calcul de déplacement d'une palée de long pan, le calcul de la déformation des diagonales peut être suffisant dans le cadre d'un prédimensionnement rapide ou dans le cadre d'une vérification d'ordre de grandeur.



3) Extrait de l'arrêté du 17 avril 2025

Extrait de l'annexe de l'arrêté du 17 avril 2025 fixant les modalités d'organisation du concours externe du certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement technique, publié au Journal Officiel du 19 avril 2025

A. - Epreuves d'admissibilité

1° Première épreuve d'admissibilité.

L'épreuve consiste en l'étude de la modélisation d'un produit.

Elle a pour objectif de vérifier la capacité du candidat à conduire une étude d'un produit pour en caractériser les performances en mobilisant ses connaissances scientifiques et technologiques relevant de l'option du concours.

L'épreuve est constituée de plusieurs parties indépendantes, certaines d'entre elles sont à traiter obligatoirement et d'autres sont au choix du candidat.

Durée : quatre heures.

Coefficient 3.

L'épreuve est notée sur 20. Une note globale égale ou inférieure à 5 est éliminatoire ;