

BANQUE D'ÉPREUVES DUT-BTS

- SESSION 2008 -

ÉPREUVE DE GÉNIE CIVIL ET PHYSIQUE DU BÂTIMENT

CODE ÉPREUVE : BE-CIVI

L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimantes et sans document d'accompagnement, est autorisé, une seule étant admise sur la table ou le poste de travail.

DURÉE : 2h30

Rappel préliminaire :

Vous ne devez pas répondre au hasard. Pour chaque item les points obtenus sont toujours négatifs quand la réponse est mauvaise. En cas d'abstention le nombre de points est toujours nul. Un ensemble de bonnes réponses à une question permet d'obtenir des points supplémentaires sous forme de « bonus ».

Attention : certains items peuvent comporter des affirmations multiples, la réponse ne doit être jugée vraie (V) que si toutes les affirmations vous paraissent correctes.

QUESTION 1

Béton de structure

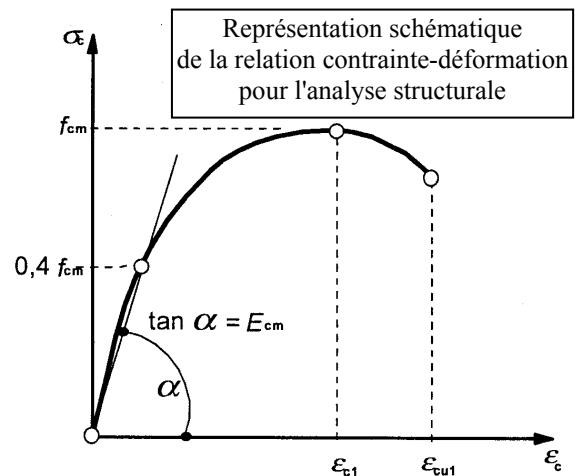
Dans la Section 3 de l'Eurocode 2 (NF EN 1992-1-1 : calcul des structures en béton) nous trouvons les caractéristiques mécaniques attribuables au matériau béton ainsi que les corrélations qui ont pu être établies entre elle.

Nous allons nous intéresser aux caractéristiques de base, qu'il est nécessaire de connaître pour pouvoir aborder l'étude d'un ouvrage en béton armé ou béton précontraint.



Quelques extraits de cet Eurocode :

- ◊ Les classes de résistance du béton sont basées sur la résistance caractéristique mesurée sur cylindre ou sur cube, déterminée à 28 jours...
- ◊ Relation entre la résistance caractéristique f_{ck} (fractile 5%) et la résistance moyenne f_{cm} en compression du béton à 28 jours : $f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa}$
- ◊ Pour une température moyenne de 20°C, la résistance en compression du béton à différents âges t peut être estimée à l'aide de l'expression $f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$ où le coefficient $\beta_{cc}(t)$ dépend de l'âge t du béton et du type de ciment.
- ◊ Le module d'élasticité du béton E_{cm} (module sécant sur la courbe $\sigma_c-\epsilon_c$ entre $\sigma_c = 0$ et $0,4 f_{cm}$) peut être approximativement obtenu, pour les bétons de granulats silico-calcaires, à partir de la relation : $E_{cm} = 22 (f_{cm}/10)$ avec f_{cm} en MPa et E_{cm} en GPa
- ◊ La déformation totale de retrait ϵ_{cs} se compose de la déformation due au retrait de dessiccation et de la déformation due au retrait endogène.

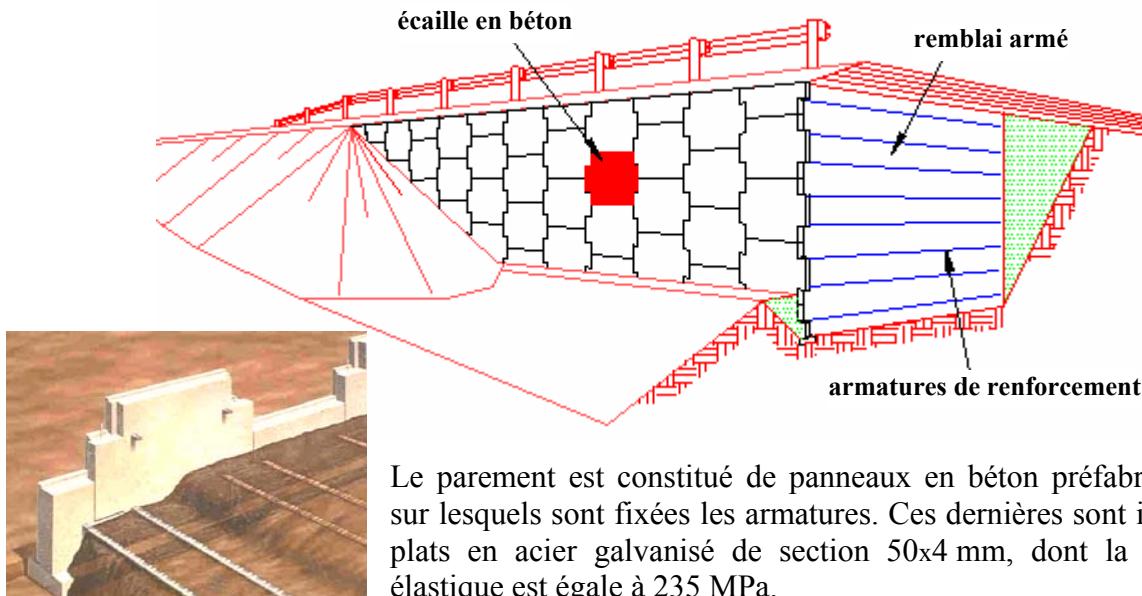


- (A)** Pour la classe de résistance C40/50, la valeur 40 est basée sur la résistance caractéristique mesurée sur éprouvettes cubiques.
- (B)** Un projet pour lequel un béton de classe de résistance C40/50 est prescrit signifie que les calculs de structure seront établis en prenant 40 MPa pour la valeur caractéristique de la résistance en compression.
- (C)** Dans des conditions normales de conservation, quel que soit le ciment utilisé (certifié NF EN), sans ajout d'adjuvant, pour t supérieur à 28 jours nous obtiendrons toujours $\beta_{cc}(t)$ supérieur à 1.
- (D)** Le fluage du béton se traduit par une diminution de son module d'élasticité, d'autant plus sensible si des charges sont appliquées dès les premiers jours de maturité du matériau.
- (E)** La déformation due au retrait de dessiccation se développe essentiellement au cours des premières heures de durcissement du béton.
-

QUESTION 2

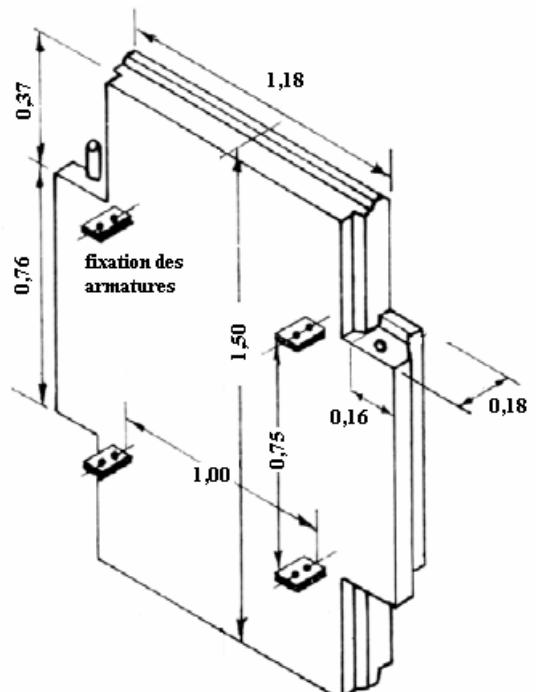
Remblai en Terre Armée™ – 1^{ère} partie, solution technique

Le principe de la terre armée consiste à exploiter les caractéristiques mécaniques d'un matériau composite basé sur le frottement entre le remblai et les armatures qui lui sont incorporées. Cette technique est exploitée par *Terre Armée Internationale*, appartenant au Groupe Freyssinet. Nous allons en examiner quelques aspects, dans son application en soutènement de massif comme le montre le schéma de principe ci-dessous.



Le parement est constitué de panneaux en béton préfabriqués, sur lesquels sont fixées les armatures. Ces dernières sont ici des plats en acier galvanisé de section 50x4 mm, dont la limite élastique est égale à 235 MPa.

- (A)** La tenue à la corrosion de l'armature sera plus longue dans un terrain à faible pH (un pH de 5 par exemple) et à faible résistivité électrique.
- (B)** Le matériau de remblai doit comporter une faible proportion d'éléments très fins (moins de 15% d'éléments inférieurs à 80 µ).
- (C)** Le poids d'une écaille en béton armé, dont les dimensions sont données ci-contre, est inférieur à 10 kN.
- (D)** A niveau d'un *lit d'armatures* (dans un plan horizontal contenant une série de plats métalliques), la section d'acier est supérieure à 260 mm²/ml.
- (E)** Si la contrainte dans ces armatures, en partie courante, ne doit pas dépasser 50% de leur limite élastique, on en déduit qu'au niveau de chaque lit l'effort limite en traction sera de 35 kN/ml.

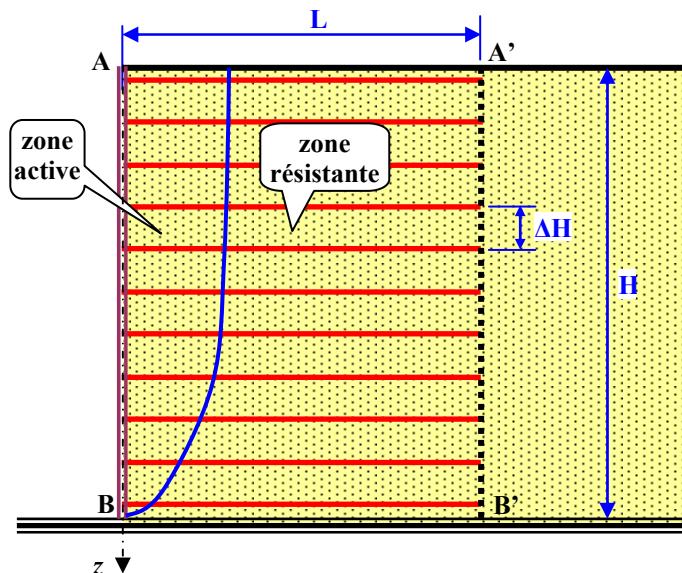


QUESTION 3

Remblai en Terre ArméeTM – 2^{ème} partie, stabilité

Il s'agit d'étudier la transmission des actions mécaniques dans un massif de hauteur H , représenté ci-contre en « 2D ». Nous ne sommes pas en présence d'eau et aucune surcharge ne sera prise en compte au niveau supérieur du massif.

Les armatures ont pour longueur $L = 0,8H$; elles comportent une partie en *zone active* où le sol est en équilibre limite de poussée (il "entraîne" l'armature), et une partie en *zone résistante* où le sol "retient" l'armature.



En tout point situé à une profondeur z , la poussée exercée par le sol situé à l'arrière de l'écran fictif ($A'B'$) qui délimite le massif armé, est égale à $K_a \gamma z$. On considère une « tranche de massif » de largeur 1 m dans la direction perpendiculaire au plan d'étude.

Autres données d'étude :

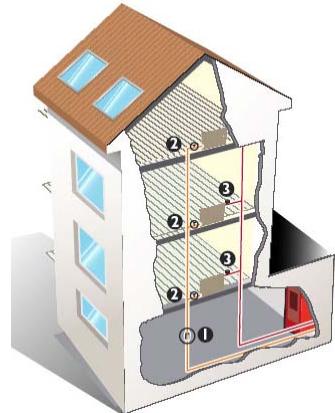
- distance verticale entre les lits d'armatures $\Delta H = 0,75$ m (fixation aux écailles en béton selon les dispositions représentées dans la question précédente)
- poids volumique du remblai $\gamma = 18$ kN/m³
- angle de frottement interne du remblai $\varphi = 36^\circ$
- coefficient de poussée du sol dans la "zone active" $K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$
- coefficient de poussée du sol à l'arrière de ($A'B'$) $K = 0,41$

- (A)** Si P est la résultante des efforts de poussée sur la face ($A'B'$), alors $P/H^2 = 3,69$ kPa.
- (B)** En considérant que la résultante P est inclinée d'un angle $\delta = 2\varphi/3$ par rapport à l'horizontale et en supposant une répartition uniforme des contraintes tangentielles sur la base du massif armé (BB'), il n'y aura pas de glissement pour $H = 8$ m si la résistance au cisaillement du sol d'assise est égale à 35 kPa.
- (C)** Dans le cas où $H = 8$ m, le poids du sol dans la « tranche de massif armé » est inférieur à 900 kN.
- (D)** Dans la *zone active* le remblai étant en équilibre limite de poussée, l'effort transmis par mètre linéaire de parement à un lit d'armatures situé à la profondeur z , est égal à $K_a \cdot \gamma \cdot z \cdot \Delta H$.
- (E)** Dans le cas de lits d'armatures constitués de plats en acier galvanisé de section 50x4 mm, au pied d'un remblai de 8 m de hauteur (en B), la contrainte de traction dans une armature ne dépasse pas 115 MPa.

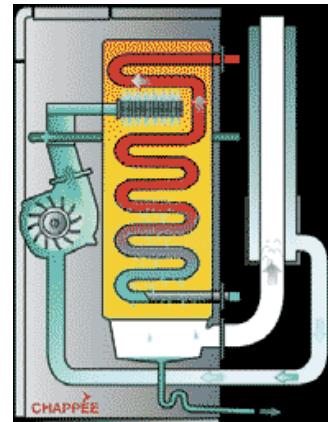
QUESTION 4

Combustibles - technologies de chauffage

Divers combustibles peuvent être utilisés dans une chaufferie, ainsi que différentes technologies de générateurs, dont la conception prend aujourd’hui de plus en plus en compte les aspects environnementaux. Le pouvoir calorifique d’un combustible est la quantité de chaleur (énergie thermique exprimée en MJ/m³) qui serait dégagée par la combustion complète d’un mètre cube de gaz (à la pression atmosphérique et à température initiale de 0°C). Si la mesure est effectuée après avoir ramené à l’état liquide l’eau formée pendant la combustion, on parle de pouvoir calorifique supérieur (PCS).



- (A) Le bois, le fioul domestique, le charbon... produisent des gaz à effets de serre (CO₂ par exemple) lors de leur combustion dans le foyer d'une chaudière. Le gaz naturel est considéré comme « écologique » car il n'en produit pas lors de sa combustion.
- (B) Pour transporter de la chaleur dans un réseau urbain, on emploie souvent de la vapeur d'eau à la place de l'eau liquide, afin de réduire la taille (le diamètre) des canalisations : on utilise ainsi la chaleur de changement de phase de l'eau (dans les échangeurs des *sous-stations*).
- (C) Dans une chaudière à condensation, on récupère la chaleur de condensation de l'eau présente dans les fumées ce qui permet d'obtenir des rendements sur PCI (pouvoir calorifique inférieur) supérieurs à 100%.
- (D) Dans une chaudière à condensation les problèmes de corrosion sont pris en compte, au niveau de la conception de la chaudière et des échangeurs, par l'utilisation d'aciers spéciaux. En effet, la plupart des fiouls comportent du soufre qui réagit dans les fumées pour former des composés corrosifs (acide sulfureux...).
- (E) Les chaudières gaz à veilleuse comportent une veilleuse permanente qui consomme du gaz mais qui facilite la mise en route. Ce type de chaudière est encore autorisé dans la réglementation française *RT2005*.



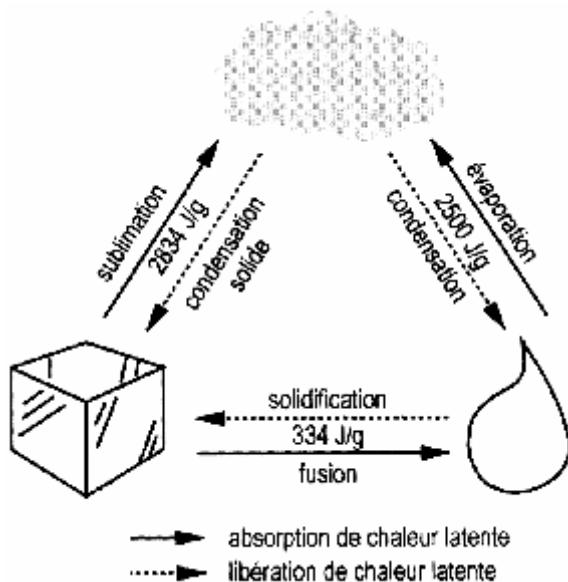
QUESTION 5

Propriétés thermodynamiques de l'eau

Le dimensionnement des systèmes de chauffage et de climatisation s'appuie sur les lois de transferts thermiques et exploitent de nombreuses propriétés thermodynamiques de l'eau, par exemple, la chaleur massique qui permet de caractériser la quantité de chaleur en jeu lorsqu'on chauffe un fluide (sans changement de phase).

Rappelons quelques données :

- $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ Joules}$
- $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
- constante des gaz parfaits
 $R = 8,31 \text{ J/(mol.K)}$
- $T(\text{K}) = \theta(\text{C}) + 273,15$



Pour des températures proches de 300 K :

- la chaleur massique de l'eau liquide vaut 4180 J/(kg.K)
- la chaleur latente (changement de phase liquide-vapeur) de l'eau vaut 2500 kJ/kg
- la masse volumique de l'eau liquide vaut 1 kg/dm^3
- la masse molaire de l'eau est 18 g/mol
- loi des gaz parfaits : $p.V = n.R.T$ (n étant le nombre de moles dans le volume V)

- (A) La quantité de chaleur nécessaire pour réchauffer 1 litre d'eau liquide de 20°C à 30°C est de 10 kcal.
- (B) Ayant porté 2 litres d'eau à 100°C , pour faire évaporer totalement cette quantité, il suffit de lui fournir 1 Mcal.
- (C) Avec 52 kJ nous pourrons chauffer et évaporer une mole d'eau initialement à 20°C ; plus de 85% de cette énergie étant nécessaire pour la phase évaporation.
- (D) Une chaudière à vapeur de puissance utile 60 MW permet de vaporiser 25 kg d'eau par seconde (eau considérée à 100°C).
- (E) Une canalisation de chauffage de volume 3 m^3 , contenant 5 kg de vapeur d'eau (supposée être un gaz parfait) à une température de 120°C , doit être maintenue à une pression de 0,3 MPa.

QUESTION 6

Fonctionnement d'une centrale de traitement d'air (CTA)

On veut climatiser un bâtiment en hiver, pour cela étudions le fonctionnement d'une CTA.

Cette centrale assure l'aération, le chauffage ou le refroidissement du local, elle permet l'humidification de l'air ainsi que le contrôle de l'hygrométrie.

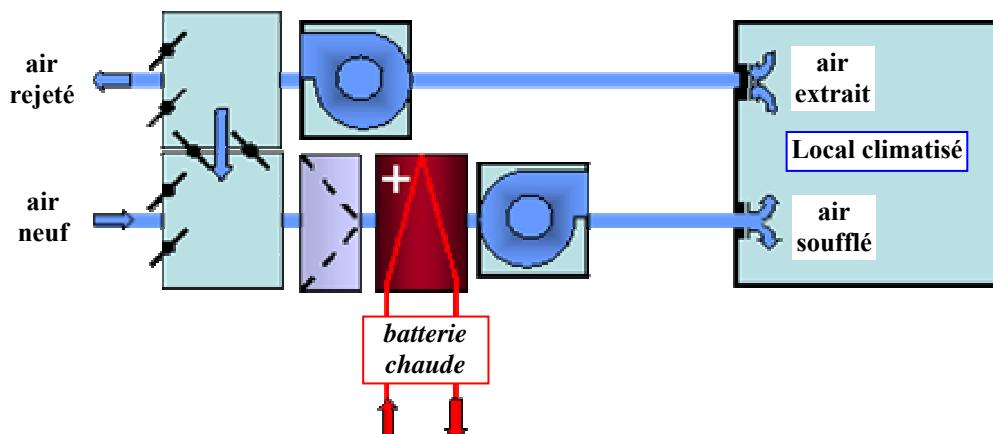
Le "caisson de mélange" permet les réglages des débits d'air neuf, d'air rejeté et d'air recyclé.



Paramètres pris en compte :

- Consignes pour le local à traiter : température intérieure θ_i ; taux d'humidité relative φ_i .
- Caractéristiques de l'air extérieur : température θ_e ; taux d'humidité relative φ_e .

Schéma de fonctionnement :



Rappel de quelques définitions et notations utilisées :

- Humidité relative de l'air $\varphi = P_v/P_{vs}$ (peut s'exprimer en %, parfois notée HR)
où P_v est la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air,
 P_{vs} est la pression de vapeur saturante, que l'on déduit de la température de l'air à partir de la relation :

$$P_{vs} = 611 \exp(0,07252 \theta - 0,0002881 \theta^2)$$
 obtenue en [Pa] avec θ en [$^{\circ}\text{C}$])
- Humidité spécifique de l'air $w = \text{masse de vapeur d'eau} / \text{masse d'air sec}$, que l'on déduit de la pression partielle de vapeur d'eau à partir de la relation :

$$w = 0,622 P_v / (P_{atm} - P_v)$$

Données d'étude :

- Pression atmosphérique $P_{atm} = 101\,325 \text{ Pa}$.
- Chaleur massique de l'air (ici pour l'air soufflé dans le local) $C_p = 1006 \text{ J/(kg.K)}$.

- Chaleur latente de l'eau (égale à la variation d'enthalpie lors du changement d'état liquide-vapeur) égale à 2500 kJ/kg.
- Pour le local, conditions souhaitées : $\theta_i = 19^\circ\text{C}$; $\varphi_i = 50\%$.
- Conditions extérieures de référence : $\theta_e = -6^\circ\text{C}$; $\varphi_e = 90\%$.
- Débit d'air neuf (air extérieur admis dans la CTA) : 1,8 kg/s.
- Débit d'air soufflé (entrant dans le local traité) : 5,3 kg/s.

Dans ces conditions de fonctionnement :

- (A)** Le débit d'air recyclé (qui est mélangé à l'air neuf) est de 3,5 kg/s.
- (B)** Dans le *mélangeur*, le calcul au prorata des débits entrants nous donne pour « l'air de mélange » une température comprise entre 10 et 11°C, et une humidité spécifique entre $5 \cdot 10^{-3}$ et $6 \cdot 10^{-3}$.
- (C)** D'après les calculs qui précèdent, on obtient pour « l'air de mélange » une humidité relative inférieure à 65%.
-

Le *bilan des charges* réalisé pour ce local par le bureau d'études nous donne, sous ce régime de fonctionnement :

- les déperditions sensibles, soit 98 kW ;
- les apports, soit 7 kW (correspondant à l'humidité dégagée par le process et les occupants).

Ces résultats nous permettront d'obtenir les propriétés de l'air soufflé dans le local.

- (D)** Sachant que les déperditions instantanées sont en relation avec le débit d'air et le différentiel de température entre l'air entrant et l'air extrait, l'air soufflé doit être à une température supérieure à 35°C.
- (E)** Après détermination de l'humidité spécifique équivalente aux 7 kW d'apports, on calculera la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air soufflé, ce qui nous permettra de conclure que l'humidité relative dans cet air doit être inférieure à 15%.
-

QUESTION 7

Fonctionnement d'une centrale de traitement d'air (suite)

Nous nous intéressons au même local que dans la question précédente.

Données d'étude conservées :

- Conditions souhaitées à l'intérieur du local : $\theta_i = 19^\circ\text{C}$; $\varphi_i = 50\%$.
- Conditions extérieures de référence : $\theta_e = -6^\circ\text{C}$; $\varphi_e = 90\%$.
- Débit d'air neuf (air extérieur admis dans la CTA) : 1,8 kg/s.
- Débit d'air soufflé (entrant dans le local traité) : 5,3 kg/s.

On suppose maintenant que :

- la température de l'air soufflé est de $37,4^\circ\text{C}$;
- l'humidité spécifique de l'air soufflé est égale à 0,0063 kg d'eau / kg d'air sec ;
- la température de l'air mélangé est de $10,5^\circ\text{C}$;
- l'humidité spécifique de l'air mélangé est égale à 0,0052 kg d'eau / kg d'air sec.

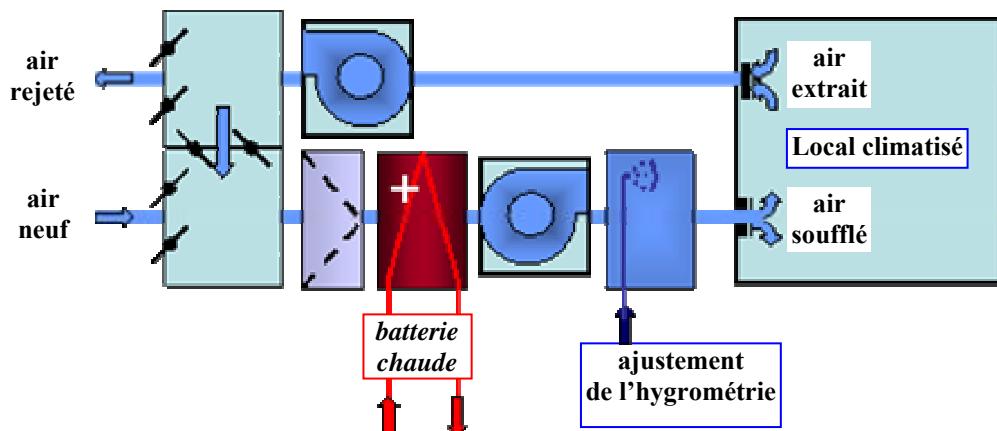
Pour obtenir l'air soufflé souhaité, on choisit une centrale de traitement d'air constituée d'une *batterie chaude* suivie d'un humidificateur à vapeur.

Notons qu'au passage de la *batterie chaude* l'humidité spécifique de l'air n'est pas modifiée, et qu'ensuite l'humidificateur à vapeur augmentera l'humidité spécifique sans modifier la température obtenue à la sortie de la batterie.

Rappelons que l'enthalpie de l'air humide est une fonction d'état dont la variation permet de connaître l'énergie mise en jeu, en relation avec la température de l'air et son humidité spécifique. Elle est déterminée en [kJ/kg d'air] à partir de l'expression :

$$h = 1,006 \theta + w (2500 + 1,83 \theta) \quad \text{avec } \theta \text{ en } [^\circ\text{C}]$$

Nouveau schéma de fonctionnement :



Dans ces conditions, nous allons pouvoir préciser la puissance nécessaire pour les appareils, ainsi que l'apport d'eau introduit par l'humidificateur.

- (A) Connaissant le débit d'air soufflé, on en déduit que la puissance de la batterie chaude doit être supérieure à 140 kW.

- (B)** L'enthalpie de l'air à la sortie de la batterie chaude est inférieure à 50 kJ/kg d'air.
- (C)** L'enthalpie de l'air au soufflage est supérieure à 50 kJ/kg d'air.
- (D)** La puissance de l'humidificateur sera environ égale à 5% de la puissance de la batterie chaude.
- (E)** Le débit de l'eau vaporisée au sein de l'humidificateur sera d'au moins 5 g/s.
-

QUESTION 8

Poutre en flexion – 1^{ère} partie

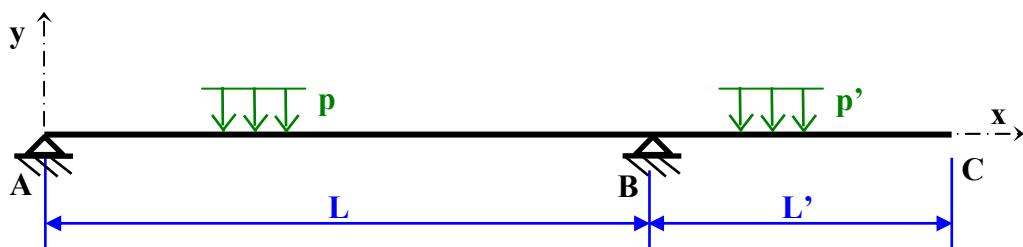
Considérons une poutre sur deux appuis simples, de portée L entre appuis, comportant un porte à faux L' . Cette poutre est soumise à une charge linéique uniforme, de taux p sur la partie AB, p' sur la partie BC.

Diverses configurations pourront être étudiées, pour cela nous utiliserons les paramètres :

$$a = L'/L ; b = p'/p ; P = pL$$

Domaine d'étude : $0 \leq a \leq 0,5$; $0 \leq b \leq 2$.

Les actions d'appui auront pour composantes Y_A et Y_B dans le repère [x ; y].



- (A) A l'équilibre on obtient $Y_B = 0,5P(1 + 2ab + a^2b)$.
- (B) Dans notre domaine d'étude la valeur maximum du rapport entre les actions d'appui (Y_B/Y_A) est égale à 7.
- (C) La valeur absolue de l'effort tranchant en B, juste après l'appui (à l'abscisse $x = L+\varepsilon$ avec $\varepsilon \rightarrow 0$) est égale à Pab .
- (D) Dans le cas où $b = 2$ nous aurons le même effort tranchant en valeur absolue de part et d'autre de l'appui B (pour $x = L-\varepsilon$ et pour $x = L+\varepsilon$ avec $\varepsilon \rightarrow 0$) à condition que $a = [1-(0,5)^{0,5}]$.
- (E) Entre A et B, l'abscisse de la section pour laquelle l'effort tranchant est nul sera toujours comprise entre $0,2L$ et $0,5L$ (quand $0 < a \leq 0,5$ et $0 < b \leq 2$).

QUESTION 9

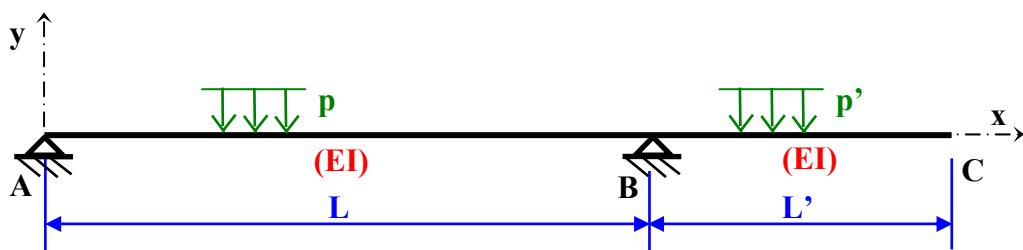
Poutre en flexion – 2^{ème} partie

Considérons la même poutre que dans la question précédente, dans le cas où $L' = L/2$ (pour $a = 0,5$).

Cette poutre, de raideur en flexion constante (**EI**), est encore soumise à une charge linéique uniforme, de taux p sur la partie AB, p' sur la partie BC ($b = p'/p$ et $P = pL$).

Domaine d'étude : $0 \leq b \leq 2$.

Les actions d'appui auront pour composantes Y_A et Y_B dans le repère [x ; y].



Rappelons que d'après la théorie des poutres, dans le plan (x ; y) défini sur le modèle ci-dessus, la déformée sous moment de flexion est régie par les équations différentielles suivantes :

- $d^2M_{(x)}/dx^2 = -p_{(x)}$ avec sur (AB) : $p_{(x)} = p$ et sur (BC) : $p_{(x)} = p'$.
- (EI) $d^2v_{(x)}/dx^2 = M_{(x)}$; où $v_{(x)}$ est le déplacement suivant l'axe y (algébrique), sous l'effet du chargement, d'un point de la ligne moyenne situé à la distance x de l'origine.

- (A)** Le moment fléchissant au droit de l'appui B est égal à $-bPL/8$.
- (B)** Le moment fléchissant maximum entre A et B sera divisé par quatre si b passe de la valeur **0** à la valeur **2**.
- (C)** La zone de moment fléchissant négatif s'étend jusqu'à la distance $(bL/3)$ mesurée à partir de l'appui B.

Pour la suite de cette étude, nous traitons le cas où $b = 2$ ($p' = 2p$).

- (D)** La déformée de cette poutre présentera un point d'inflexion au milieu de AB.
- (E)** Au droit de l'appui A, la rotation de section sera nulle.

- FIN -