



MEC 4240

Éléments de Mécanique du bâtiment

Examen Périodique

Durée : 08:30 à 10:20
Pondération : 35 % de la note globale
Documents : Toute documentation est permise, calculatrices non-programmables seulement

Lisez attentivement les questions. Soyez brefs et précis dans vos réponses

Question 1 (5 points)

La Figure 1 représente un système de ventilation à volume variable (VAV) qui alimente deux salles de classe de 100 m² chacune. La température d'alimentation est constante (14 °C).

Les conditions de design sont 30 °C à l'extérieur et 24 °C dans les salles. Les gains internes sont de 12 W/m² pour l'éclairage et 120 W/personne pour les occupants (30 occupants par salle de classe). Dans les conditions de design chaque salle de classe reçoit des gains solaires de 10 kW. En outre, le coefficient de déperdition à travers les murs est égal à 200 W/K pour chaque salle.

Le ventilateur requiert une puissance électrique de 5 kW dans les conditions de design (80 % sont convertis en chaleur dans l'air ventilé). La machine frigorifique fournit de l'eau glacée à 7 °C et rejette de la chaleur à la tour de refroidissement à 35 °C. Son COP est égal à 36 % du COP de Carnot.

$$c_{p_{\text{air}}} = 1.012 \text{ kJ/kg-K}, \rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

- 1.1.** En supposant un système avec 100 % de recirculation ($\dot{m}_{\text{neuf}} = 0$), calculez la puissance électrique demandée par le compresseur de la machine frigorifique dans les conditions de design. **(2 pt)**
- 1.2.** En supposant que le système fournit 36 m³/h d'air neuf à chaque occupant dans les conditions de design, calculez la fraction d'air neuf dans le débit total ($\dot{m}_{\text{neuf}}/\dot{m}_{\text{total}}$) **(1.5 pt)**
- 1.3.** En conservant la fraction d'air neuf calculée en 1.2., calculez le débit d'air neuf en m³/h par occupant dans chaque salle de classe, dans les conditions suivantes : **(1.5 pt)**
 - Les gains solaires sont de 6 kW dans la salle A et de 2 kW dans la salle B, et la température ambiante est de 24°C. Les autres conditions sont celles de design
 - La régulation de débit maintient la température de design (24°C) dans chaque salle

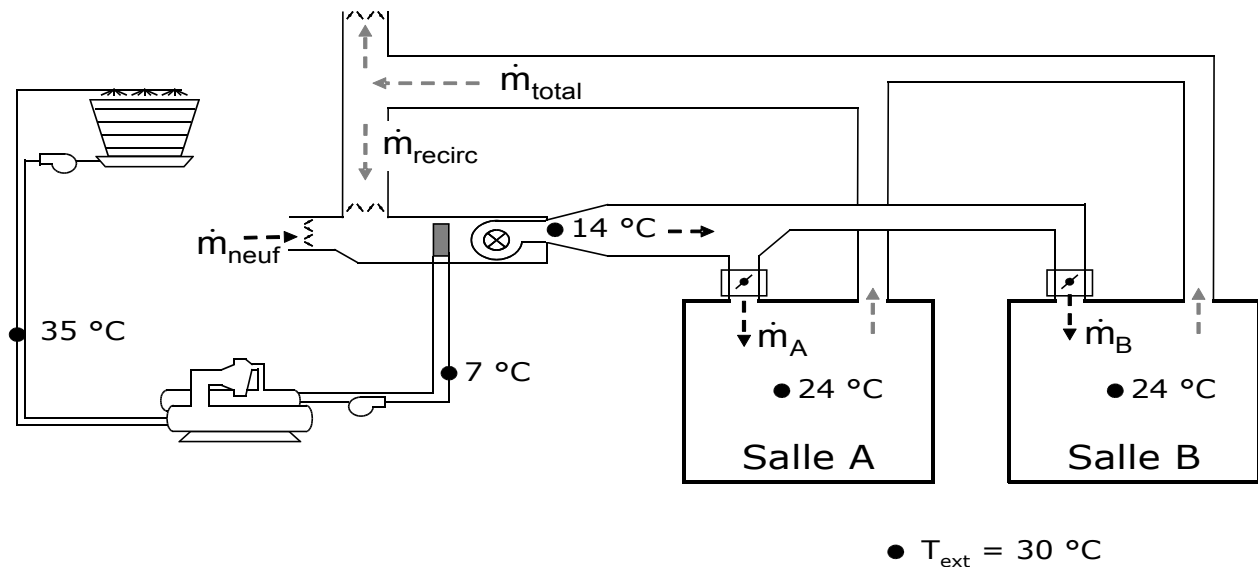


Figure 1 : système à débit variable alimentant 2 salles de classes

Question 2 (5 points)

La Figure 2 représente un immeuble à appartements situé au coin de deux rues à Montréal. Chaque appartement fait 3 m de hauteur. Le côté Sud-Est du bâtiment fait face à un parc où les arbres atteignent une hauteur de 15 m, tandis que le côté Sud-Ouest fait face à une zone de stationnement (pas d'obstacles à l'ensoleillement). Les deux rues ont la même largeur (15 m).

Pour ce problème, on considérera que Montréal est situé à 45° de latitude Nord et 75° de longitude Ouest. Le fuseau horaire (heure d'hiver) est UTC-5 h, et l'heure d'été est en application entre le 1^{er} dimanche d'avril et le dernier dimanche d'octobre .

- 2.1. Dans un premier temps, on considère les appartements situés côté Sud-Est et Sud-Ouest au 6^{ème} étage (SE-6 et SO-6). Sachant que les occupants se lèvent à 7 heures et se couchent à 23 heures, calculer le temps pendant lequel ils profiteront d'un ensoleillement direct dans chacun des appartements, le jour du solstice d'été. Une précision de l'ordre du quart d'heure est suffisante. **(2 pt)**
- 2.2. On considère à présent les appartements situés au rez-de-chaussée (SE-1 et SO-1). On demande de calculer le rayonnement total incident sur la façade de chaque appartement à 09 h 38 min (heure solaire) le jour de l'équinoxe de printemps. Les valeurs de rayonnement mesurées à cet instant sont 900 W/m² pour le direct normal ($C_N G_{DN}$) et 100 W/m² pour le diffus horizontal (G_{dH}). On considère que seul le rayonnement direct est affecté par l'ombrage. Les arbres interceptent la totalité du rayonnement direct qui les traverse lorsqu'ils sont couverts de feuilles (de fin avril à fin octobre) et la moitié du rayonnement direct lorsqu'ils n'ont pas de feuilles. L'albédo est égal à 0.2 **(3 pt)**

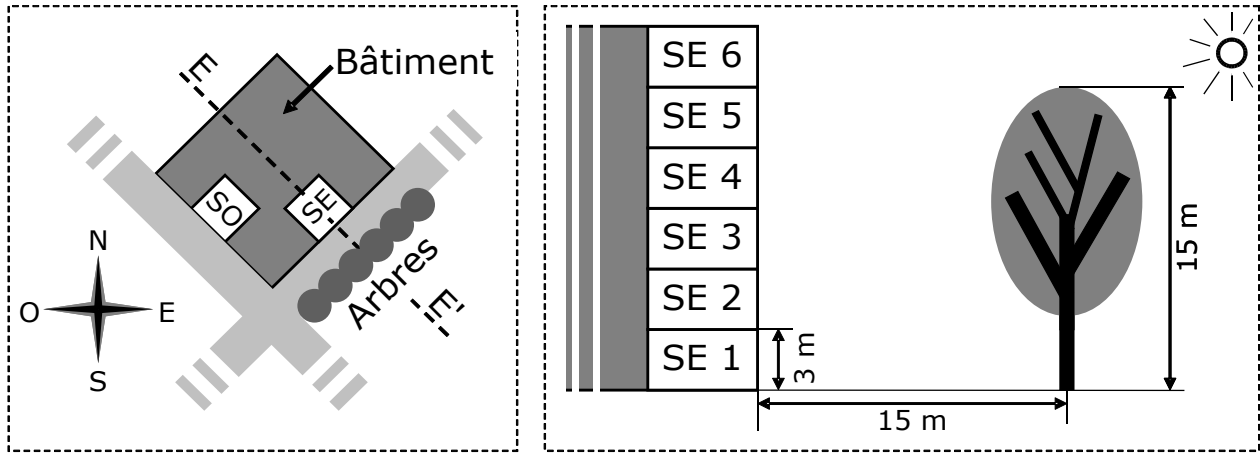


Figure 2 : Vue en plan du bâtiment (à gauche) et coupe EE' (à droite)

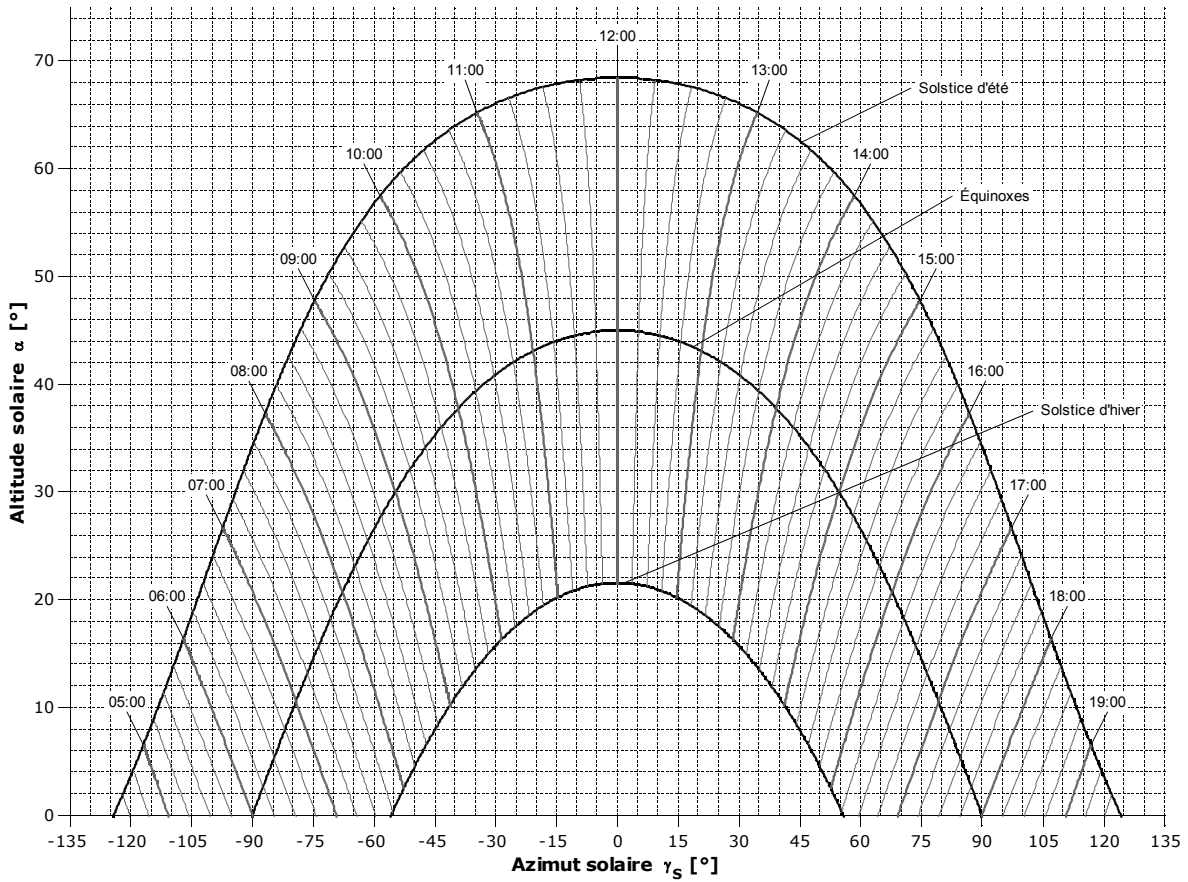


Figure 3 : Diagramme solaire pour une latitude de 45°

Question 3 (5 points)

La Figure 4 représente une coupe à travers un mur composite. Les dimensions et matériaux sont donnés dans la figure. À l'intérieur du bâtiment, la température est de 21 °C et l'humidité relative est de 50%. À l'extérieur, la température est de 0°C et l'humidité relative est de 90%.

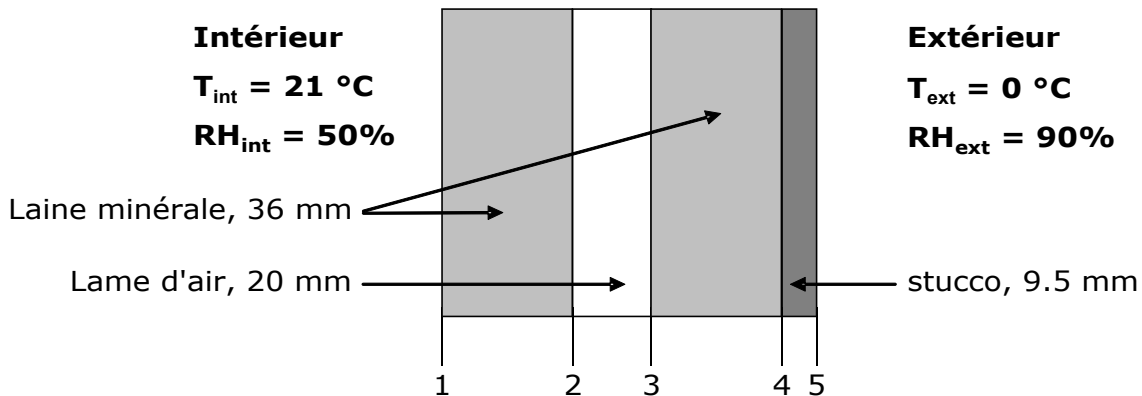


Figure 4 : coupe dans un mur composite

Notes :

- On prendra toutes les propriétés thermiques des matériaux, ainsi que les résistances des lames d'air et films intérieur/extérieur dans le Tableau aux pages 55/56 des notes de cours.
- Les propriétés de transmission de vapeur sont données à la page A-15 des notes de cours. Attention aux points suivants lors de l'utilisation de ce tableau :
 - On prendra les propriétés du plâtre posé sur des lattes de bois pour le revêtement en stucco
 - Si une valeur est présentée pour la méthode de mesure par "wet cup", on lui donnera priorité sur les autres valeurs fournies

- 3.1.** Calculez le flux de chaleur (en W/m^2) et le transfert de vapeur d'eau (en $ng/s\cdot m^2$) à travers le mur. **(0.5 pt)**
- 3.2.** Calculer le profil de température et de pression de vapeur aux dans le mur (donnez les valeurs aux interfaces 1 à 6 représentées à la Figure 4. Y a-t-il condensation dans le mur, et si oui, dans quelle couche ? **(2 pt)**
- 3.3.** On se propose d'ajouter un film d'aluminium d'un côté de la lame d'air (couche 3-4). Évaluez son effet sur les déperditions thermiques à travers le mur, par rapport à la valeur trouvée en 3.1. (en %). **(0.5 pt)**
- 3.4.** On suppose que le film réfléchissant a une perméance à la vapeur d'eau nulle. Placez ce film du côté qui minimisera les risques de condensation. Y-a-t-il à présent condensation dans le mur (et si oui, dans quelle couche) ? **(2 pt)**

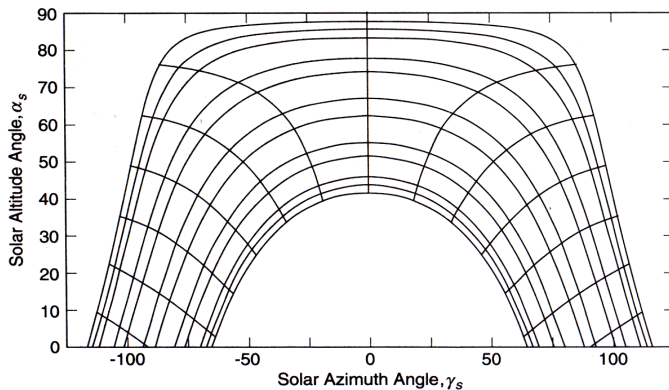
Question 4 (5 points)

Choix multiple : Bonne réponse = + 1 pt, mauvaise réponse = -1 pt, pas de réponse = 0 pt

Présentez vos réponses de la façon suivante:

Question 4 – 4.1 : Réponse X
 4.2 : Réponse X (où X est A, B ou C)
 Etc.

4.1. La figure suivante montre le trajet apparent du soleil pour un endroit donné. Quelle est la latitude de cet endroit?



Réponse A : 25 ° Nord

Réponse B : 45 ° Nord

Réponse C : 60° Sud

4.2. Un groupe de ventilation fournit un air à une température sèche de 25°C et avec une humidité relative de 50 %. Parmi les 3 conditions extérieures suivantes, quelle est celle qui causera la plus grande dépense d'énergie **pour humidifier ou déshumidifier l'air**?

- **Réponse A :** Température sèche = 10 °C, Humidité relative = 100 %
- **Réponse B :** Température sèche = 25 °C, Humidité relative = 70 %
- **Réponse C :** Température sèche = 30 °C, Humidité relative = 40 %

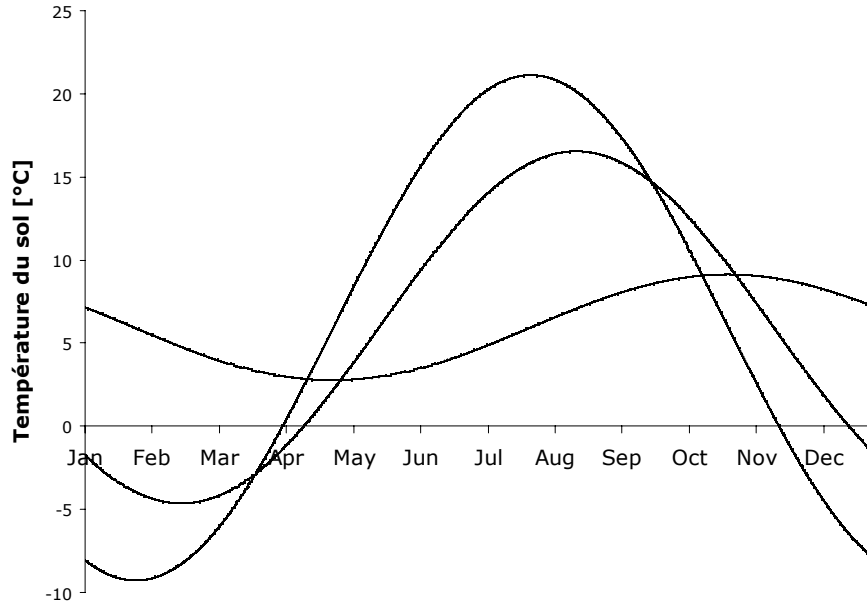
4.3. Soit un bâtiment avec les caractéristiques suivantes :

- Surface de plancher : 360 m²
- Classe d'inertie thermique : très lourde (1 MJ/K par m² de plancher)
- Débit de ventilation : 3000 m³/h ($\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$, $C_p = 1 \text{ kJ/kg-K}$)
- Gains internes et solaires négligeables

Ce bâtiment (ventilé) est maintenu à une température de 21°C par une température extérieure de -12.33°C par un système de chauffage qui fournit une puissance de 66.66 kW. Subitement, le système de chauffage et la ventilation s'arrêtent. Après combien de temps la température dans le bâtiment descendra-t-elle sous 0 °C ?

- **Réponse A :** 21 heures
- **Réponse B :** 63 heures
- **Réponse C :** 100 heures

- 4.4.** La figure suivante montre la température dans le sol pour 3 profondeurs différentes (que vous devez être capable d'identifier) : 10 cm, 1 m et 4 m. Le 15 septembre, dans quel sens va le flux de chaleur entre 1 m et 4 m de profondeur ?



- **Réponse A** : vers le bas
- **Réponse B** : vers le haut
- **Réponse C** : il n'y a pas de flux de chaleur à cette période

- 4.5.** On a les variables suivantes pour un même bâtiment chauffé par une chaudière au gaz :

- \dot{Q}_{design} : charge de design (chauffage), en kW
- Q_{annuel} : besoins annuels net en chauffage, en MJ
- $Q_{primaire, annuel}$: consommation annuelle de gaz pour le chauffage, en MJ

Une seule des propositions suivantes est vraie de manière certaine :

- **Réponse A** : $\dot{Q}_{design} * 8760 * 3.6 \geq Q_{annuel} \leq Q_{primaire, annuel}$
- **Réponse B** : $Q_{annuel} = \dot{Q}_{design} * 8760 \leq Q_{primaire, annuel}$
- **Réponse C** : $\frac{Q_{annuel}}{8760} \leq \dot{Q}_{design} * 3.6 \leq Q_{primaire, annuel} * 0.9$