

Approfondissement Energétique des bâtiments et confort

Sujet d'examen 2011
(les documents sont autorisés)

1. Thermique, Conception d'un hôtel à énergie positive (10 points)

Une chaîne hôtelière souhaite construire un hôtel à énergie positive en Ile de France, et vous missionne pour étudier ce projet.

Le bâtiment est un parallélépipède de 20 mètres de long, 12 mètres de large, sur 6 niveaux de hauteur sous plafond 2,5 m (R+5). Il est construit en béton (murs, planchers et toiture terrasse de 20 cm d'épaisseur). L'architecte a placé 40% de baies vitrées sur les 2 façades nord et sud (longueur 20m), mais aucun vitrage sur les 2 pignons (est et ouest, sur la largeur de 12m).

Le rez-de-chaussée est composé d'un accueil et d'un restaurant. Les autres niveaux comportent chacun 10 chambres de 20 m² (soit en moyenne 15 personnes par niveau, on considèrera 80 personnes en tout dans le bâtiment pour tenir compte du rez-de-chaussée) et des parties communes (couloir, rangements, cage d'escalier...). Le terrain est assez vaste tout autour du bâtiment, et bien exposé au soleil.

Les murs sont isolés par l'extérieur avec 10 cm de polystyrène, protégé par un enduit d'un cm d'épaisseur. Le plancher, sur vide sanitaire, est isolé par 10 cm de polystyrène en sous face de la dalle et le toit comporte 10 cm de polyuréthane au dessus du béton. Les baies sont munies de doubles vitrages à basse émissivité et lame d'argon (facteur solaire du vitrage égal à 0,62) comportant 90% de vitrage et 10% de cadre ($U_{baie} = 1,3 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$).

1.1 Evaluation des besoins de chauffage (4 points)

Les locaux sont chauffés à 20°C sur l'ensemble de la saison de chauffe, on considèrera 58 000 degrés-heures (à base 18). Les propriétés des matériaux sont les suivantes :

	béton	polystyrène	polyuréthane	enduit
conductivité en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	1,7	0,04	0,03	0,5

Les ponts thermiques seront négligés sauf au niveau du plancher bas, où il est plus difficile de les annuler complètement : un coefficient de pertes linéiques ψ de 0,1 $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ sera considéré.

Le renouvellement d'air est assuré par ventilation mécanique, un débit de 18 m³/h par personne étant nécessaire pour assurer une qualité de l'air satisfaisante. On tiendra également compte des infiltrations d'air, correspondant à 0,1 vol/h (fuites et ouverture des portes et fenêtres). Une ventilation double flux est mise en œuvre avec un échangeur de 80% d'efficacité. La chaleur volumique de l'air est de 0,34 $\text{Wh.m}^{-3}.\text{K}^{-1}$.

Calculer les besoins de chauffage du bâtiment en utilisant une méthode de bilan annuel, cf. annexe, l'ensoleillement vertical sud annuel étant de 410 kWh/m². Les apports internes ne sont pas les mêmes que pour les logements classiques. On considèrera qu'ils correspondent sur la saison de chauffe à la chaleur dégagée par les occupants (80W par personne, 200 jours de présence sur la saison de chauffe et 10 heures par jour) plus aux trois quarts de la consommation annuelle d'électricité du bâtiment (la saison de chauffe durant environ $\frac{3}{4}$ de l'année). Pour calculer cette consommation annuelle, on se basera sur les hypothèses suivantes :

- une consommation annuelle de 200 kWh par chambre pour l'éclairage et les autres usages (télévision...), plus 5000 kWh pour le rez-de-chaussée et 500 kWh pour les parties communes de chaque autre niveau (éclairage ...),
- une puissance de ventilateur de 0,1 W pour faire circuler 1 m³/h.

1.2 Evaluation des consommations (3 points)

Calculer la consommation d'énergie primaire du bâtiment en supposant :

- une consommation d'eau chaude sanitaire (ecs) de 30 litres par jour et par personne d'eau chaude à 50°C (au lieu de 40 litres en moyenne, grâce à des économiseurs d'eau), l'eau froide étant à 10°C, on considèrera 300 jours de présence par an et une fraction solaire de 50% obtenue par la mise en œuvre du solaire thermique,
- un rendement du système de chauffage/ecs (génération -chaudière gaz-, régulation, distribution et émission inclus) de 90% en moyenne annuelle,
- l'absence de climatisation active,
- un facteur d'équivalence de 2,58 (resp. 1) entre l'électricité (resp. la chaleur) et l'énergie primaire.

Il conviendra d'inclure la consommation d'électricité calculée à la question précédente (la consommation annuelle, et non les $\frac{3}{4}$ considérés pour la seule saison de chauffe).

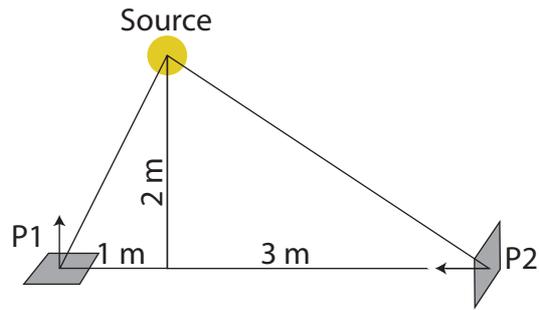
1.3 (3 points) Poser un système d'équations qui permettrait d'évaluer l'évolution de la température dans ce bâtiment, en considérant une maille regroupant l'air, le mobilier et les cloisons (supposées légères, donc à la même température que l'air), une maille au milieu des parois extérieures (on considère alors une température moyenne pour les différentes façades, le plancher bas et la toiture), et une maille au milieu des planchers intermédiaires.

Enoncer de manière qualitative les limites de ce modèle et proposer une méthodologie plus élaborée.

Indiquer de manière qualitative si la rénovation risque de détériorer le confort d'été dans le bâtiment, et proposer des mesures d'amélioration si nécessaire.

2. Ambiance Lumineuse (5 points)

2.1 (2 points) Calculer l'éclairement dû à la source ponctuelle S sur les surfaces considérées en P1 et P2. S est une source isotrope, elle a un flux total de 50000 lm. Bien indiquer toutes les unités !



2.2 (2 points) On doit repeindre une pièce dont toutes les parois ont un facteur de réflexion de 0.3, quel est le facteur de réflexion qui permettra de multiplier par 6 l'éclairement indirect dû aux réflexions multiples ?

2.3 (1 point) Définir le facteur de lumière du jour FJ en un point du plan utile d'une pièce. Quelles sont les valeurs de FJ pour lesquelles on peut dire que l'endroit d'un local est (a) sombre, (b) clair ? Pour quel type de ciel est-il le plus souvent calculé ou mesuré ? Donner les caractéristiques de ce ciel.

3 Mécanique des fluides (5 points)

Etude d'un système de ventilation naturelle avec conduit

On se propose d'étudier le fonctionnement d'un bâtiment ventilé de manière naturelle. La figure suivante présente l'enveloppe du bâtiment (R+1) dont le système de ventilation est composé de 2 grilles d'entrée d'air situées en façade (points 1 et 2), de 2 bouches d'extraction connectées à 2 gaines circulaires amenant l'air en partie haute du bâtiment vers un extracteur statique dont le sommet est situé au point 3.

L'objectif de cet exercice est de déterminer les débits de ventilation des deux niveaux (RDC et R+1) dans les conditions suivantes :

- le vent est constant et de vitesse égale à 5 m/s sur toute la hauteur de la façade
- la température extérieure est constante et égale à $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$
- la température intérieure est constante et égale à $\theta_i = 20^\circ\text{C}$

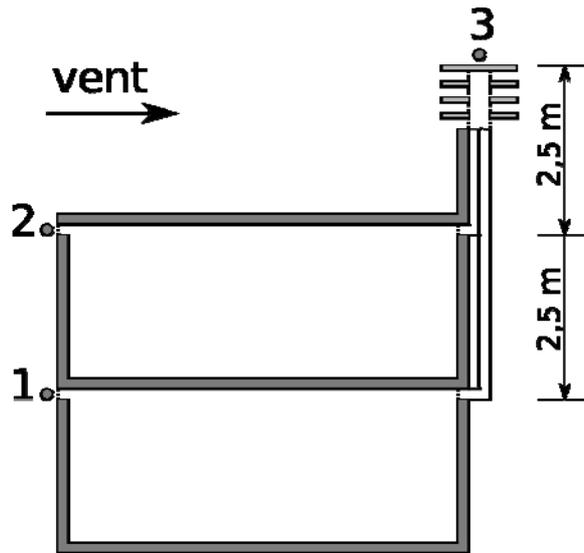


Schéma de principe

3.1 En supposant que l'air sort du bâtiment à la température intérieure déterminer les écarts de pression ΔP_t entre les nœuds 1 et 3 et entre les nœuds 2 et 3 dus à la poussée thermique. On rappelle que $\Delta P_t = (\rho_0 - \rho_i) \cdot g \cdot \Delta z$

Données : $\rho_0 = 1,293 \text{ kg/m}^3$, $\rho_i = 1,205 \text{ kg/m}^3$ et $g = 9,81$.

3.2 Le bâtiment étant soumis à un vent constant et homogène déterminer les écarts de pression ΔP_v entre les nœuds 1 et 3 et les nœuds 2 et 3 dus aux effets du vent. On rappelle que la pression due au vent en un point de la façade est déterminée par : $\Delta P_v = C_p \cdot \rho_0 \cdot \frac{V^2}{2}$ avec C_p le coefficient de pression et V la vitesse du vent au point considéré.

Données : C_p à l'entrée : 0,5 ; C_p au niveau de l'extracteur : -0,6.

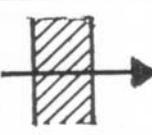
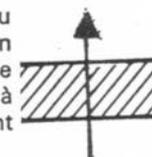
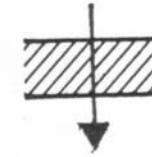
3.3 Considérons que la totalité des forces motrices ($\Delta P_t + \Delta P_v$) est dissipée par les pertes de charges induites par les éléments traversés par l'air pour chacun des niveaux à savoir : une grille d'entrée d'air, une bouche d'extraction, la gaine verticale et l'extracteur statique. Les autres pertes de charge seront négligées. Déterminer alors le débit de ventilation pour chacun des niveaux de ce bâtiment.

Données : grilles d'entrée d'air et bouches d'extraction : Aire $A = 100 \text{ cm}^2$, coefficient de perte de charge $\xi = 2,77$; gaines verticales : diamètre $D = 100 \text{ mm}$, coefficient de pertes de charge linéiques : $\lambda = 0,026$; extracteur statique : diamètre $D = 200 \text{ mm}$, coefficient de perte de charge $\xi = 2,5$. On rappelle que les pertes de charge linéiques ΔP_l et singulières ΔP_s s'expriment par : $\Delta P_l = \lambda \frac{L}{D} \rho \frac{V^2}{2}$ et $\Delta P_s = \xi \frac{1}{2} \rho V^2$ avec L la longueur de la conduite (m) et V la vitesse de l'air (m/s).

3.4 En supposant que la grille d'entrée d'air et la bouche d'extraction ont une aire identique, quelle doit être cette aire pour que le débit de ventilation du RDC atteigne $120 \text{ m}^3/\text{h}$ dans les mêmes conditions.

Annexe : exemple de méthode de bilan annuel

Résistances thermiques superficielles

	Paroi en contact avec : — l'extérieur, — un passage ouvert, — un local ouvert.			Paroi en contact avec : — un autre local, chauffé ou non chauffé, — un comble, — un vide sanitaire.		
	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h'_i}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h'_i}$
Paroi verticale ou faisant avec le plan horizontal un angle supérieur à 60° 	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
Paroi horizontale ou faisant avec le plan horizontal un angle égal ou inférieur à 60°, flux ascendant (toiture) 	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
flux descendant (plancher bas) 	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Surface sud équivalente d'un m² de vitrage selon son orientation et son inclinaison :

Inclinaison de la paroi sur l'horizontale, en degrés	Orientation de la paroi				
	SSE à SSO	SSE à ESE et SSO à OSO	ESE à ENE et OSO à ONO	ENE à NNE et ONO à NNO	NNE à NNO
De 85 à 90	1	0,85	0,55	0,30	0,20
De 70 à 84	1,15	0,95	0,60	0,35	0,20
De 55 à 69	1,20	1,05	0,65	0,35	0,25
De 40 à 54	1,20	1,05	0,75	0,40	0,30
De 25 à 39	1,15	1,00	0,75	0,50	0,40
De 10 à 24	1,00	0,95	0,80	0,65	0,55
De 0 à 9	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

$X = (\text{apports solaires} + \text{apports internes}) / \text{déperditions}$

$F = (X - X^p) / (1 - X^p)$

Murs et planchers lourds : $p = 3.6$	Planchers lourds et murs légers : $p = 2.9$	Planchers légers et murs lourds : $p=2.5$	Planchers et murs légers : $p=2.1$
--------------------------------------	---	---	------------------------------------

Besoins de chauffage = Déperditions x (1 - F)