

Examen Final

ER42 : Bases des connaissances pour la thermique des bâtiments

*Durée : 2h00**Documents et appareils électroniques interdits**Calculatrice autorisée*

Attention, chaque calcul devra être détaillé (expression littérale + application numérique). Un résultat seul, même juste n'accordera pas tous les points.

**LE SUJET EST À RENDRE À L'INTERIEUR DE VOTRE COPIE D'EXAMEN – NE DÉTACHEZ PAS
LES FEUILLES**

Nom :	Prénom :	Signature :

Composition du sujet (/40 points) :

Exercice 1 : QCM (/12 pts).....	3
Exercice 2 : Ventilation (/7 pts)	6
Exercice 3 : Isolation thermique d'une toiture terrasse (/14 pts).....	7
Exercice 4 : Analyse (/ 7 pts).....	9
Annexes	10

Barème à titre indicatif

Exercice 1 : QCM (/12 pts)**Barème :****1 réponse juste = 0,5 point****1 réponse fausse = - 1 point****Absence de réponse = 0 point****Certaines questions peuvent comporter plusieurs réponses**

1. Que signifie le C de VMC : ventilation mécanique ...

☐ Corrigée☐ Calculée☐ Contrôlée2. Une VMC **simple-flux** comporte :☐ Des entrées d'air☐ Des bouches d'extraction☐ Des bouches de soufflage3. Une VMC **double-flux** comporte :☐ Des entrées d'air☐ Des bouches d'extraction☐ Des bouches de soufflage4. Une VMC simple flux hygroréglable de type A comporte :☐ Des entrées d'air autoréglables☐ Des bouches d'extraction autoréglables☐ Des entrées d'air naturelles☐ Des entrées d'air hygroréglables☐ Des bouches d'extraction hygroréglables☐ Des bouches d'extraction naturelles5. Une VMC simple flux hygroréglable de type B comporte :☐ Des entrées d'air autoréglables☐ Des bouches d'extraction autoréglables☐ Des entrées d'air naturelles☐ Des entrées d'air hygroréglables☐ Des bouches d'extraction hygroréglables☐ Des bouches d'extraction naturelles

6. Dans le cas d'un logement comportant une ventilation, les portes intérieures doivent être :

☐ Calfeutrées☐ Détalonnées☐ Ouvertes en permanence

7. Quels sont les risques d'une VMC surdimensionnée ?

- ☐ Bruit ☐ Mauvaises odeurs ☐ Consommation d'énergie excessive ☐ Mauvaise qualité de l'air intérieur

8. Les PAC munies d'un module de réversibilité ont l'avantage de pouvoir être utilisées de manière à alimenter un plancher chauffant en eau froide pour faire du rafraîchissement l'été :

- ☐ vrai ☐ faux

9. Une PAC avec un COP de 4 signifie que :

- ☐ Elle consomme 4 kWh d'électricité pour produire 1 kWh de chaleur
☐ Elle produit 4 kWh de chaleur pour 1 kWh d'électricité consommée
☐ Elle fonctionne uniquement 4 heures par jour
☐ Elle a une puissance de 4 kW

10. Une PAC air/eau récupère la chaleur :

- ☐ Dans une nappe phréatique ☐ Dans l'air extérieur ☐ Dans le sol

11. Quelle est la particularité d'une VMC double flux par rapport à une VMC simple flux ?

- ☐ Elle utilise deux réseaux d'air : insufflation et extraction
☐ Elle ne possède aucun ventilateur
☐ Elle extrait un flux 2 fois supérieur à la simple flux

12. Quel système de génération de chauffage est le plus adapté pour être conforme à la RE2020 parmi cette liste :

- ☐ Chaudière gaz à condensation ☐ Chaudière fioul ☐ Chaudière à granulés de bois

13. Les pompes à chaleurs sont déconseillées dans les maisons devant respecter la RE2020

- ☐ Vrai ☐ Faux

14. Quel(s) facteur(s) peut/peuvent réduire les performances d'une PAC ?

- ☐ Une bonne isolation du logement
- ☐ Un entretien régulier
- ☐ Une température extérieure très basse
- ☐ Un réglage inadapté de la température de chauffage

15. Quelle affirmation est correcte parmi les suivantes :

- ☐ Le plancher chauffant composé de tuyaux en multicouche a comme inconvénient de devoir vérifier la présence de boues et de prévoir un remplacement de l'eau si besoin
- ☐ Le plancher chauffant composé de tuyaux en multicouche a comme avantage de posséder une barrière anti-oxygène
- ☐ Le plancher chauffant composé de tuyaux PER a comme avantage de posséder une barrière anti-oxygène

16. Qu'est-ce que l'indicateur Bbio évalue dans la RE2020 ?

- ☐ La consommation électrique des équipements
- ☐ L'étiquette énergétique des systèmes de chauffage et de ventilation
- ☐ Le confort d'été
- ☐ Le besoin bioclimatique du bâtiment

17. Le Bbio prend notamment en compte :

- ☐ L'orientation, l'isolation et les pertes par renouvellement d'air du bâtiment
- ☐ La marque des équipements installés
- ☐ La couleur des matériaux
- ☐ Le puissance des équipements

Exercice 2 : Ventilation (/7 pts)

1. Compléter le schéma suivant d'un échangeur d'une VMC double-flux en indiquant le nom correspondant aux chiffres 1 à 4 : (Répondre sur votre copie d'examen)

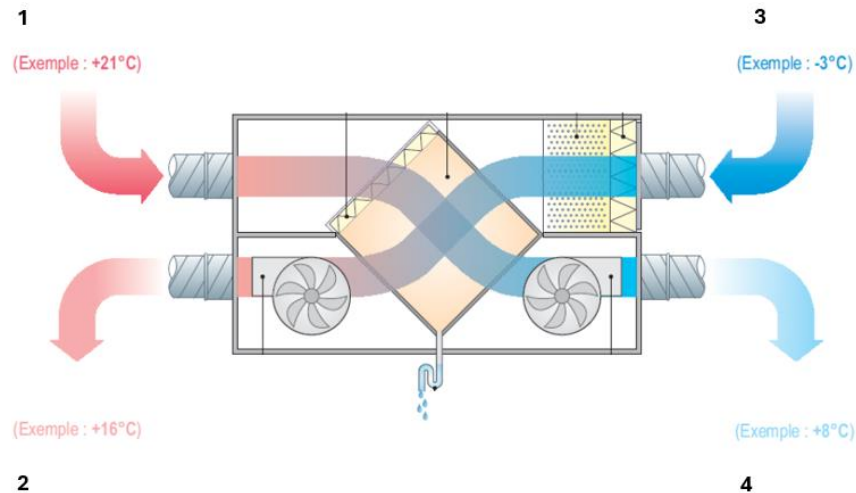


Figure n°1 : Schéma d'un échangeur de VMC double-flux

2. Le plan ci-dessous comporte des indications sur les éléments d'une VMC simple-flux. La position des différents éléments est-elle correcte ? Si non, corrigez sur le plan et expliquez pourquoi (Répondre sur votre copie d'examen)

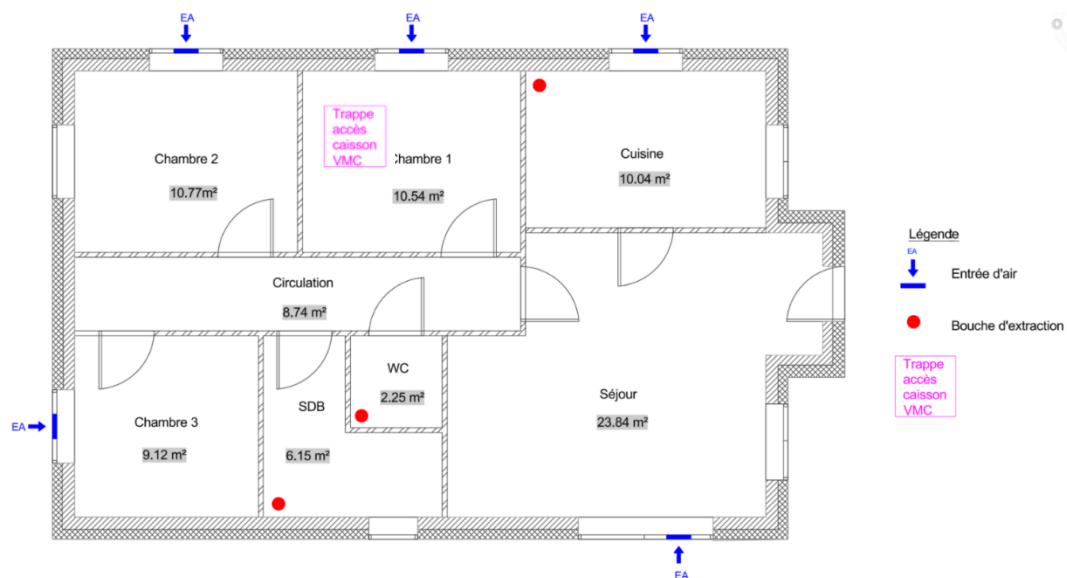


Figure n°2 : Vue en plan d'une maison individuelle

3. Dimensionner les bouches d'extractions pour une VMC Simple Flux autoréglable.

Exercice 3 : Isolation thermique d'une toiture terrasse (/14 pts)

La toiture terrasse étudiée dans cet exercice est composée des éléments suivants :

- Tôles d'acier nervurées → on néglige leurs résistances thermiques
- Isolation : polystyrène extrudé (XPS)
- Étanchéité : membrane bitumeuse → on néglige sa résistance thermique

On négligera les pertes par les ponts thermiques.

I. Comportement de la toiture terrasse lors de fortes chaleurs

Le bâtiment concerné est maintenu à une température de **22°C** grâce à un système de climatisation. Vous devez calculer la quantité de chaleur qui traverse la toiture pendant une période de forte chaleur.

Données numériques :

Résistance thermique surfacique du polystyrène extrudé : $r_{XPS} = 5,40 \text{ m}^2\text{K/W}$

Résistances thermiques surfaciques superficielles respectivement intérieure et extérieure : $r_{si} = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ et : $r_{se} = 0,07 \text{ m}^2\text{K/W}$

Température extérieure : $T_{ext} = 35^\circ\text{C}$

Surface totale de la toiture : $S_{toiture} = 960 \text{ m}^2$

Questions :

1. Expliquer pourquoi la résistance thermique des tôles en acier est négligeable.
2. Exprimer et montrer que le coefficient de transmission thermique surfacique de la toiture $U_{toiture} = 0,179 \text{ W/m}^2.\text{K}$
3. Indiquer dans quel sens s'effectue le transfert thermique.
4. Exprimer et montrer que le flux thermique surfacique $\phi_{toiture} = 2,33 \text{ W/m}^2$.
5. Exprimer et calculer le flux thermique total $\Phi_{toiture}$ qui traverse la toiture.
6. On considère une période de canicule qui dure 10 jours, à la température moyenne de 35°C. Une canicule désigne un épisode de températures très élevées, de jour comme de nuit, sur une période prolongée (au moins 3 jours).

Exprimer la quantité de chaleur Q (en kWh) qui va pénétrer à l'intérieur du bâtiment. Calculer sa valeur.

II. Réduction du facteur solaire à l'aide de membranes réfléchissante

La membrane de toiture est un matériau d'étanchéité utilisé pour protéger les bâtiments contre les intempéries. Elle se pose sur la surface du toit pour empêcher l'infiltration d'eau, de neige ou de vent, jouant un rôle clé dans la protection du bâtiment contre les dégradations liées aux intempéries. Les membranes d'étanchéité « classiques » peuvent être en bitume élastomère, en PVC, en EPDM ... souvent de couleur sombre.

Depuis quelques années, il existe des membranes d'étanchéité de couleur blanche) qui possèdent une forte réflectivité, de l'ordre de 80% et plus. Cela signifie qu'elles renvoient 80% de l'énergie solaire reçue. Un fabricant affirme « Grâce à ces membranes, en plein été, pour un même confort, on peut réaliser une économie de résistance thermique surfacique de $4,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ sur l'isolant ».

Le **facteur solaire** d'une paroi (S_p) est le rapport entre l'énergie due au rayonnement solaire transmise et l'énergie reçue par la paroi. Il peut se calculer à l'aide de l'expression suivante :

$$S_p = \frac{\alpha_p \cdot U_p}{h_e}$$

Avec :

- α_p : coefficient d'absorption de la toiture vis-à-vis du rayonnement solaire (valeur comprise entre 0 et 1)
- U_p : coefficient de transmission thermique de la toiture
- h_e : coefficient de transmission convectif extérieur

Données numériques :

- Membrane classique : $S_{pc} = 0,011$
- Membrane réfléchissante : $\alpha_p = 0,2$; $U_p = 0,18 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$; $h_e = 13,5 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$

Questions :

1. Donner la relation entre la résistance thermique surfacique et la conductivité thermique d'un matériau.
2. L'épaisseur d'isolation sous toiture est de **18 cm**. Montrer que la conductivité de l'isolant est de $\lambda_{XPS} = 0,033 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$
3. Calculer l'épaisseur d'isolation en polystyrène extrudé nécessaire avec l'utilisation d'une membrane à forte réflectivité.
4. Le fabricant affirme également « que la quantité d'énergie qui traverse la toiture munie de membranes réfléchissantes est environ 4 fois plus faible que celle traversant la toiture munie de membranes classique ». Vérifier cette affirmation.

L'été, lors des périodes de canicule, la température à la surface des membranes classiques peut atteindre jusqu'à 80°C, alors qu'elle est de 40°C à la surface des membranes réfléchissantes, prises dans les mêmes conditions.

5. Proposer une explication à cette différence de comportement.
6. Pensez-vous que réduire au maximum l'épaisseur d'isolation est une bonne idée ? Justifier.

Exercice 4 : Analyse (/ 7 pts)

1. Un mur composé de béton, isolé par l'intérieur avec de la laine de verre ($\lambda_{LV} = 0,032 \text{ W/mK}$) modélisé sur le logiciel Ubakus. En vous basant sur le résultat obtenu à l'aide du logiciel (figure n°3 ci-dessous) et à l'aide de vos connaissances :
 - Expliquez pourquoi le mur a des problèmes de condensation
 - Proposez une meilleure solution d'isolation, tout en gardant la structure du mur en béton



Figure n°3 : Résultat de l'étude d'un mur béton isolé en ITI sur le logiciel Ubakus

2. L'étude thermique RE2020 d'une maison individuelle montre que celle-ci ne respecte pas le seuil réglementaire pour l'indicateur DH, avec $DH > DH_{max} = 1250$. Les vitrages sont de type 4/16/4 avec lame d'argon et l'isolation est déjà optimisée, notamment avec un $R = 12,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ en toiture.

Proposez plusieurs solutions techniques générales permettant de réduire la valeur de l'indicateur DH. Justifiez vos choix (5 propositions attendues).

Annexes

Nombre de pièces principales du logement	Débits à extraire pouvant être atteints simultanément ou non (m³/h)						
	global	Cuisine		salle de bains ou de douches commune ou non avec les WC	autres salles d'eau	WC	
	mini	mini	maxi			unique	multiples
1	35	20	75	15	15	15	15
2	60	30	90	15	15	15	15
3	75	45	105	30	15	15	15
4	90	45	120	30	15	30	15
5	105	45	135	30	15	30	15
6	120	45	135	30	15	30	15
7	135	45	135	30	15	30	15

Figure n°4 : Débits à extraire selon l'arrêté du 24 mars 1982

Nombre de pièces principales	Débit total maximal extrait en m³/h	Somme des modules dans chaque pièce principale (Différence de pression maximale de 20 Pa)	
		Séjour	Autre pièce principale
1	90	90	-
	105	90	-
2	120	60	30
3	150	60	30
4	180	45	30
5	210	45	30
6	210	45	22
7	225	45	22

Figure n°5 : Dimensionnement de cas courants d'entrées d'air : somme des modules des entrées d'air en fonction du nombre de pièces principales et du débit extrait maximal

Confort d'été : Indicateur DH

La RE 2020 met en place deux seuils d'inconfort, basés sur l'indicateur DH en °C.h :

- ▶ **Seuil haut : DH_max**, au-delà, le bâtiment est non réglementaire : inconfort excessif ;
- ▶ **Seuil bas : 350 °C.h**, en-deçà, le bâtiment est jugé confortable en période caniculaire ;
- ▶ **Entre ces 2 seuils** le bâtiment respecte l'exigence réglementaire mais pour inciter à l'atteinte du seuil bas avec des leviers passifs, un forfait de refroidissement est ajouté aux consommations d'énergie.



Figure n° 6 : Le confort d'été en RE2020 - Extrait du guide RE2020 du CEREMA