EXERCICES : **ELECTROTHERMIE**

**Problème n°1 :** *étude d’un ballon* d'un ballon d'eau chaude sanitaire de 300 L élevant la température de l'eau de 15°C à 65°C

1. Déterminez la valeur de la masse d'eau à chauffer,
2. Déterminer la valeur de l'énergie thermique acquise par l'eau.

*Données : valeur de la chaleur massique de l'eau : 4,19 kJ.kg-1.K-1*

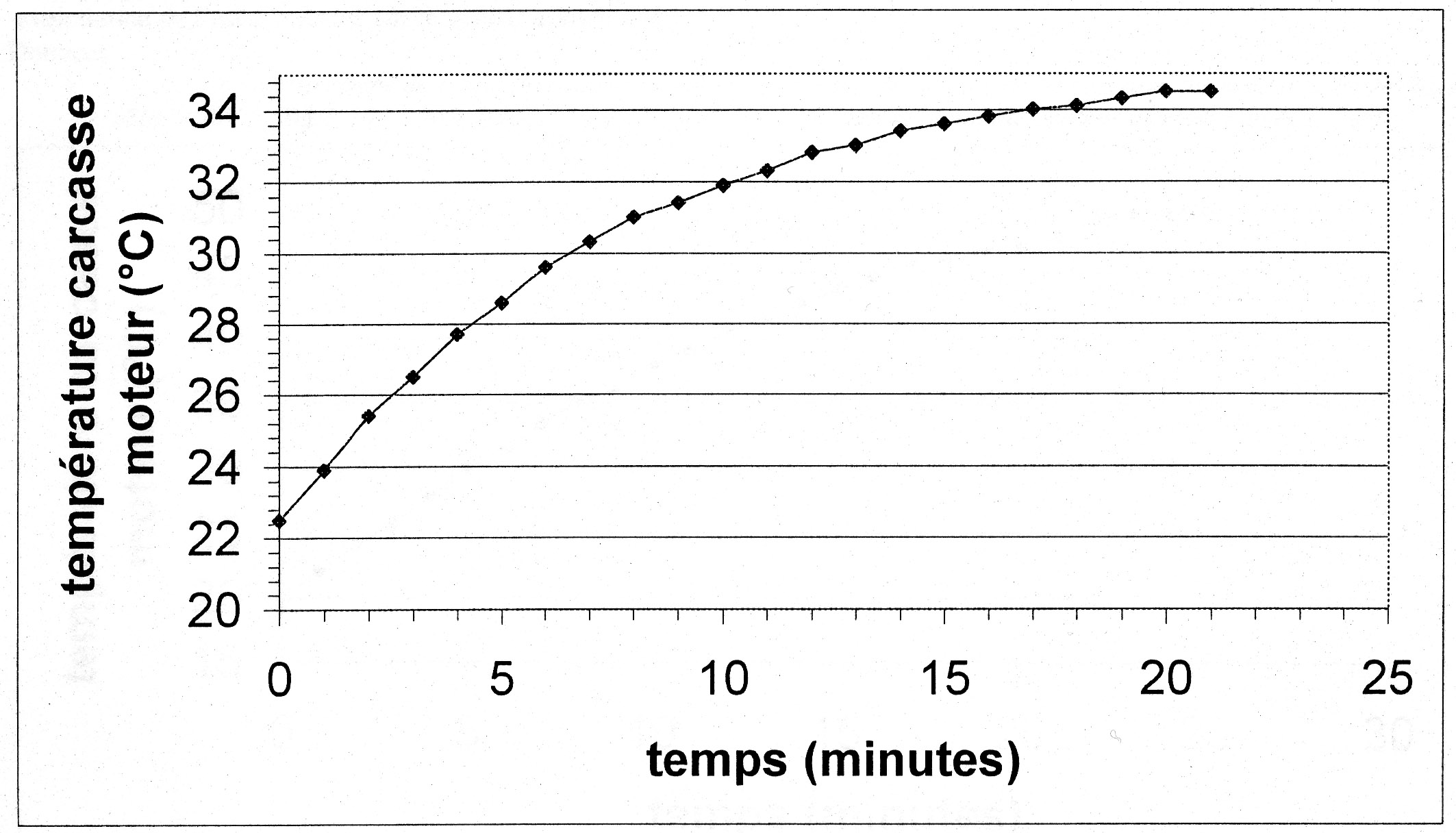
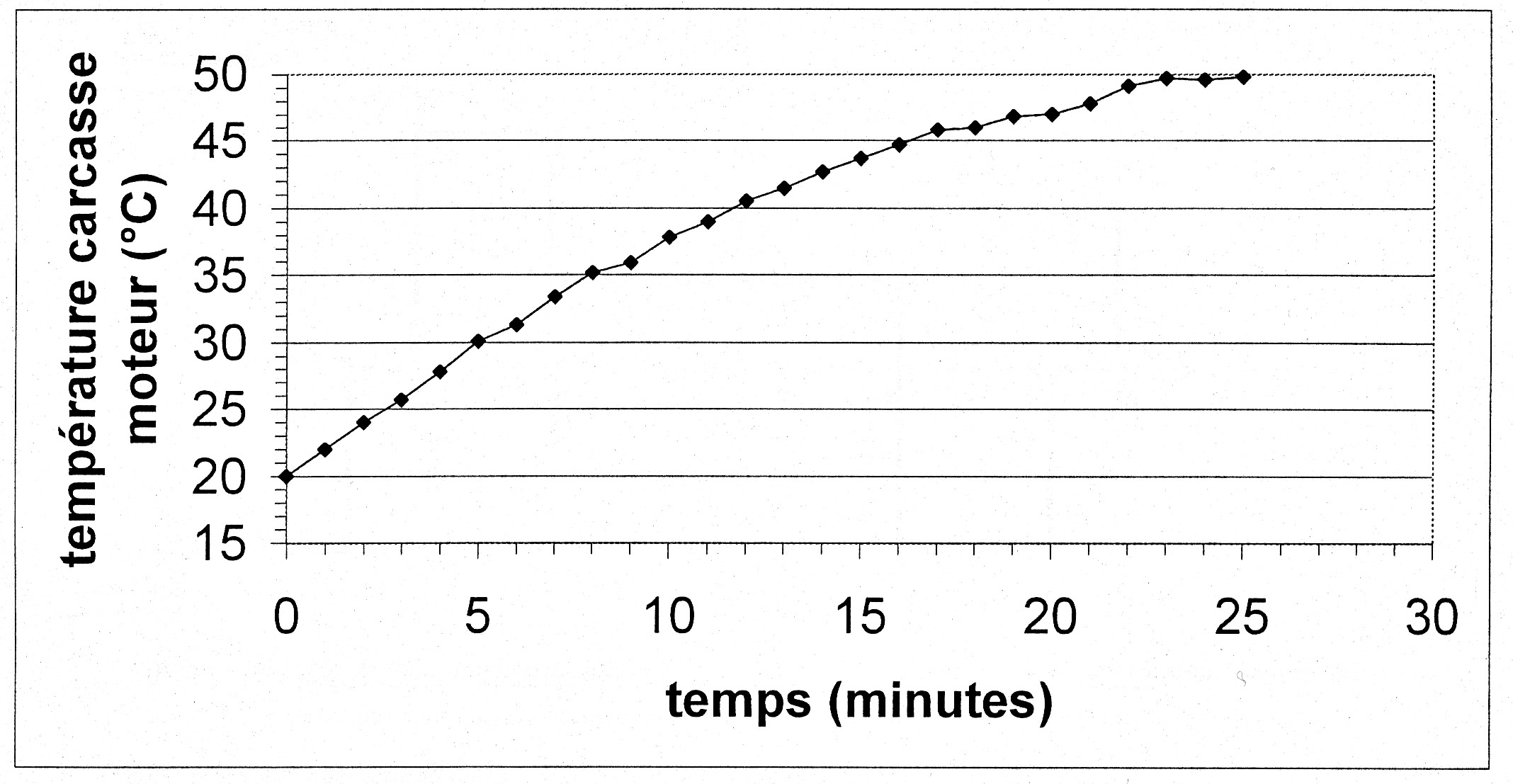
1. Déterminer la valeur de la capacité thermique de l'eau du ballon.

*Données : la capacité thermique d’un corps est le produit de sa masse par sa chaleur massique*

1. La plaque signalétique de l'élément chauffant est 230V - 1,50kW.
   1. Calculer la valeur de la résistance électrique de l'élément chauffant.
   2. Déterminez la valeur de l'équivalence de 1 kWh en Joule.
   3. Exprimer l'énergie thermique acquise par l'eau en kWh,
   4. Déterminer la durée de la chauffe de l'eau du ballon.
   5. Pour des soucis économiques de l'utilisateur, la durée de chauffe de l'eau du ballon doit être limitée à la durée des heures creuses soit 6 heures, Les caractéristiques de l'élément chauffant répondent elles au besoin ?, Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?
2. La plaque signalétique de l'élément chauffant est 230V – 3kW,
   1. Calculer la valeur de la résistance électrique de l'élément chauffant.
   2. Déterminer la durée de la chauffe de l'eau du ballon, Justifier,
   3. Pour des soucis économiques de l'utilisateur, la durée de chauffe de l'eau du ballon doit être limitée à la durée des heures creuses soit 6 heures, Les caractéristiques de l'élément chauffant répondent elles au besoin ?, Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?

**Problème n°2 :** Echauffement d’un moteur électrique

Pour un moteur asynchrone triphasé 230V/400V ; 5,5A/3,2A ; cosφ = 0,84 ; 1,5kW ; 1435tr/min en charge nominale, nous avons enregistré les variations de la température d’une des ailettes de la carcasse en fonction du temps dans deux cas de figure : sans et avec ventilation forcée. Les relevés ont donné :



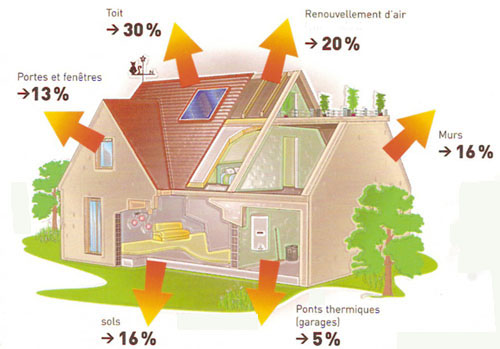
Cas 1 : sans ventilation Cas 2 : avec ventilation

1. A quel type de réponse ressemble le régime transitoire de l’évolution de la température en fonction du temps ?
2. Pour les deux cas, déterminer les températures finales et initiales et les constantes de temps thermiques. Comparer les valeurs obtenues. Que peut-on en conclure ?
3. Comment expliquez-vous que la température des ailettes de la carcasse du moteur augmente au cours du fonctionnement permanent du moteur ?
4. Pourquoi observe-t-on des ailettes sur la carcasse du moteur ? Quelle aurait été la conséquence sur la température de la carcasse du moteur à l'équilibre thermique s'il n'y avait pas d'ailettes ?
5. Pourquoi le moteur est il équipé d'un ventilateur permettant une convection forcée ? Quelle est la conséquence sur la température du rotor et du stator à l'équilibre thermique s'il n'y a pas de ventilateur ?
6. Que peut-on dire sur l’utilisation par le constructeur du refroidissement du moteur par rayonnement ?
7. Quel est le mode de transfert principal de l'énergie thermique du rotor et du stator à la carcasse ?
8. Quel est le mode de transfert principal de l'énergie thermique de la carcasse à l'air ambiant ?
9. Dans les deux cas, déterminez la valeur de la résistance thermique lors du transfert de la puissance active thermique de la carcasse à l'air ambiant à l'équilibre thermique. Comparer les résultats obtenus.
10. Identifiez les différentes stratégies mises en oeuvre pour réduire au maximum la température du rotor et du stator à l'équilibre thermique d'une machine électrique.

**Problème n°3 :** Isolation thermique

Document 1 : Déperditions thermiques dans l’habitat

Dans une maison non isolée, une grande partie de la chaleur peut s’échapper par le toit, les murs et les fenêtres. Il est donc important d’apporter une attention particulière à ces éléments de construction.



Le schéma ci-contre montre l’importance relative et la localisation des pertes de chaleur.

Document 2 : Résistance thermique et conductivité thermique (source : <http://ecocitoyens.ademe.fr/mon-habitation/renover/isolation/toit-murs-planchers> et <http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9sistance_thermique_de_conduction>)

La résistance thermique *RTh* d’un échantillon de matériau (une paroi par exemple) traduit sa capacité à empêcher le passage du froid ou de la chaleur, pour une épaisseur donnée. **Plus *RTh* est grande, plus le matériau est isolant.**

Soit *PTh* la puissance thermique (appelé aussi flux thermique) transitant à travers une paroi délimitant une zone chaude à la température *θc* d’une zone froide à la température *θf*. La résistance thermique de la paroi est définie par la relation :

*PTh =*

La résistance thermique dépend de la géométrie de l’échantillon et des propriétés thermiques du matériau choisi quantifiées par sa conductivité thermique. Si la paroi à pour épaisseur *e* et pour surface *S*, la résistance thermique *RTh* est liée à la conductivité thermique *λ* (lambda) par la relation :

*RTh =*

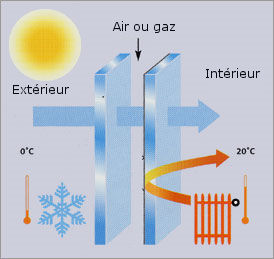
Sur un matériau certifié CE, la résistance thermique est donné par unité de surface de matériau, on parle alors de résistance thermique intrinsèque notée *RThI*. Pour bien estimer l’isolation à installer, l’isolant doit être choisi de telle sorte que la résistance thermique de **l’ensemble paroi + isolant soit au moins égale à la valeur exigée par la réglementation**:

|  |  |
| --- | --- |
| Type de paroi opaque  Altitude < 800 m | Résistance thermique intinsèque minimale  *RThI* (m².K.W-1) |
| Vitrage | 0,5 |
| Mur extérieur | 2,3 |
| Mur ou plancher donnant sur un local non chauffé | 2 |
| Comble perdue | 4,5 |

La conductivité thermique ne dépend que du matériau. Il suffit de lire la valeur dans les tables ou de faire une recherche sur Internet (par exemple : conductivité thermique de la laine de verre).

Document 3 : Double vitrage (source : <http://www.vitrerie-centre.fr/double-vitrage.html>)

Le principe consiste à enfermer une lame d’air déshydraté. Les verres sont séparés par un intercalaire en aluminium contenant des agents déshydratants. L’étanchéité périphérique est assurée par des joints organiques. Communément, on parle de double vitrage, mais en fait, les vitrages isolants et acoustiques peuvent contenir plus de deux verres.



Les réponses au questionnaire qui suit doivent être justifiées à l’aide des divers documents présentés ci-dessus. Il est possible aussi de s’aider du cours ou d’autres documents, mais il conviendra de toujours citer la source.

1. Etude préalable
2. Par une analyse dimensionnelle, montrer que l’unité de la résistance thermique est le K.W-1 ou le °C.W-1.
3. Montrer que la puissance thermique transitant à travers une paroi s’exprime en fonction de la conductivité thermique par la relation :

*PTh = λ.S*

1. Déduire, par une analyse dimensionnelle, l’unité de la conductivité thermique.
2. Que peut-on dire sur le sens du flux thermique en fonction de la différence entre la température intérieure et la température extérieure ? En déduire le signe de la puissance thermique que devra fournir un chauffage (température extérieure < température intérieure) et un climatiseur (température extérieure > température intérieure).
3. D’après le tableau du document 2, quelle est la valeur de la résistance thermique minimale exigée par la réglementation pour 1 m² de plancher bas donnant sur un local non chauffé ? Quelle est la résistance thermique minimale exigée pour la surface totale de ce plancher, *S’ = 36 m²*.
4. Quelle est la partie de la maison dont l’isolation est primordiale, en termes d’économie d’énergie ?
5. Vitrage simple

On considère une baie vitrée de surface *S = 15 m²*. Pour une vitre simple, la conductivité thermique effective résulte d’une analyse assez fine des flux thermiques dans le verre et des effets convectifs de chaque côté du verre. On prendra *λeffectif = 2,4.10-2 W.m-1.K-1.*

1. Calculer *RTh* et *PTh* pour *e = 5,0 mm*, température extérieure *Te = 5 °C*, température intérieure *Ti = 20 °C*.
2. Calculer la résistance thermique intrinsèque de la vitre. La valeur que l’on vient de trouver est-elle conforme au niveau réglementaire définit dans le document 2 ?
3. Comment pourrait-on réduire les déperditions énergétiques en gardant les mêmes conditions de températures intérieure et extérieure ?
4. Double vitrage

Entre deux vitres simples identiques (document 3), chacune de résistance thermique *Rv = 1,4.10*-*2 K.W-1*, on insère une couche d’air d’épaisseur *e = 16 mm*, norme standard actuelle. On note *λ’* la conductivité thermique de l’air.

On admet que les résistances thermiques de différentes couches s’additionnent. On prendra *S = 15 m²*.

1. Calculer *Ra* la résistance thermique de la couche d’air sachant que pour l’air *λ’ = 0,025 W.m-1.K-1*.
2. Déterminer l’expression de la résistance thermique du double vitrage *Rd* en fonction de *Rv* et *Ra*. Calculer *Rd*.
3. Calculer la résistance thermique intrinsèque du double vitrage. La valeur que l’on vient de trouver est-elle conforme au niveau réglementaire définit dans le document 2 ?
4. Déterminer les déperditions thermiques (flux thermique) à travers un double vitrage pour *Te = 5 °C* et *Ti = 20 °C*. Comparer avec les résultats du II.
5. Bilan thermique d’une pièce avec baie vitrée

On considère une pièce carrée dont la baie vitrée de surface *S = 15 m²* à pour résistance thermique *Rd = 0,071 K.W-1*. Elle sépare le milieu intérieur de température *Ti = 20 °C* du milieu extérieur de température *Te = 5 °C*. La pièce est fermée par trois murs en béton d’épaisseur *d = 10 cm* non isolés thermiquement, en contact avec des pièces à la même température *Ti = 20 °C*. Le plancher et le plafond sont constitués d’une dalle en béton d’épaisseur *d* et d’une couche d’isolant d’épaisseur *a = 2,0 cm*. Le béton a une conductivité thermique *λb = 1,5 W.m-1.K-1* et l’isolant *λi = 0,040 W.m-1.K-1*. Le sol et le plafond séparent l’intérieur du milieu extérieur. Ils ont chacun une surface *S’ = 36 m²*.

1. Pourquoi n’a-t-on pas isolé les trois murs ?
2. Déterminer le flux thermique à travers la baie vitrée.
3. Déterminer la résistance thermique de la couche de béton pour l’ensemble sol+plafond. Quelle serait le flux thermique à travers l’ensemble si on n’utilisait pas d’isolant ?
4. Déterminer la résistance thermique de la couche d’isolant pour l’ensemble sol+plafond.
5. En déduire la résistance thermique de l’ensemble sol+plafond en présence d’isolant.
6. Calculer le flux thermique à travers l’ensemble sol+plafond.
7. Combien de radiateurs de 2000 W faut-il pour chauffer une telle pièce en présence et en absence d’isolant dans les conditions de températures définies.