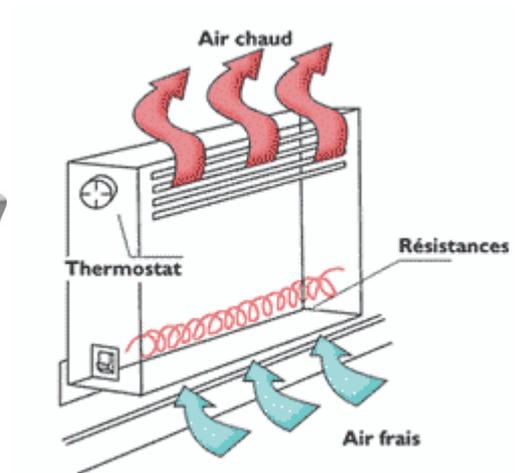


Physique appliquée

BTS 2 Electrotechnique



Electrothermie

1. Les différents modes de transmission de la chaleur	3
1.1. Notion de Température et de chaleur.....	3
1.2. Les trois modes de transmission de la chaleur.....	3
2. Transmission et stockage de l'énergie thermique	5
2.1. Notion de capacité thermique	5
2.2. Notion de résistance thermique.....	6
2.3. Etude du régime transitoire du chauffage.....	14

1. Les différents modes de transmission de la chaleur

1.1. Notion de Température et de chaleur

La température reflète l'agitation moléculaire des molécules.

La chaleur correspond aux transferts de cette agitation moléculaire.

En effet les molécules plus fortement agitées cèdent leur énergie cinétique aux molécules moins agitées ce qui correspond à un transfert d'énergie et donc de chaleur lorsqu'il s'agit de transfert thermique.

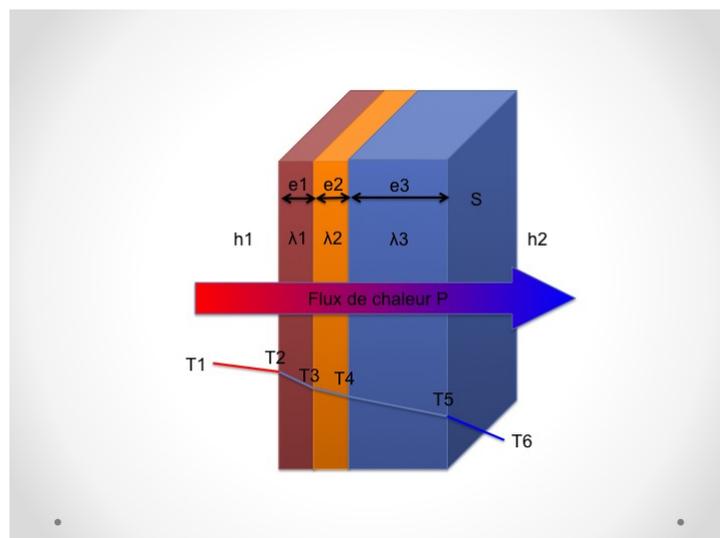
1.2. Les trois modes de transmission de la chaleur

Conduction

Le transfert thermique se fait par le milieu matériel.

De ce fait, une puissance thermique en watt va se propager des milieux chauds vers les milieux froids.

Exemple : les déperditions de chaleurs d'une maison par les murs.

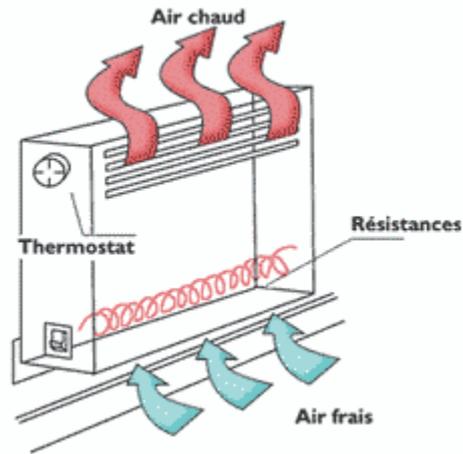


Convection

Une surface chaude va chauffer l'air en contact avec celle-ci.

L'air chaud va naturellement monter et sera remplacé par de l'air plus froid.

Un courant de convection va s'établir et de la puissance thermique va s'échanger entre la surface chaude et l'environnement.



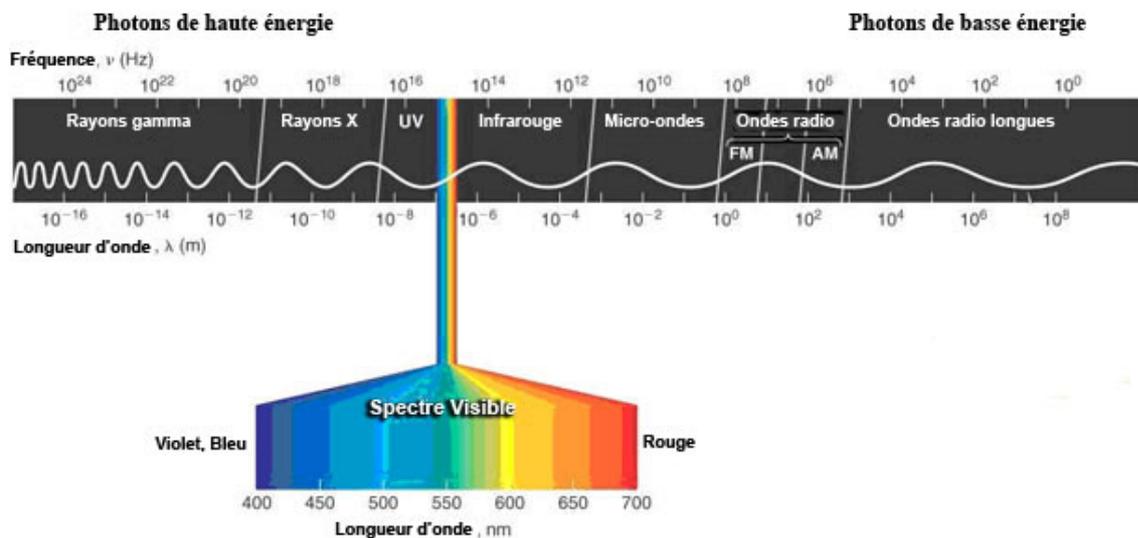
Exemple : Le chauffage d'une pièce de la maison à l'aide de convecteur

Rayonnement

L'agitation moléculaire due à l'énergie thermique engendre l'émission de photons.

La longueur d'onde des infrarouges est comprise entre le domaine visible ($\approx 0,7 \mu\text{m}$) et le domaine des micro-ondes ($\approx 1 \text{ mm}$).

L'échange d'énergie peut donc se faire dans le vide par rayonnement électromagnétique.



Exemple :

Le soleil chauffe la terre par le rayonnement électromagnétique dans le domaine des infra rouge.

Le radiateur très chaud émet beaucoup de rayonnement et chauffe les corps à distance.

Dans un four à micro ondes, ce sont des ondes électromagnétiques émises par un magnétron qui permettent le chauffage des molécules d'eau contenues dans les aliments.

<https://www.youtube.com/watch?v=a4o-MJ1X5aw>

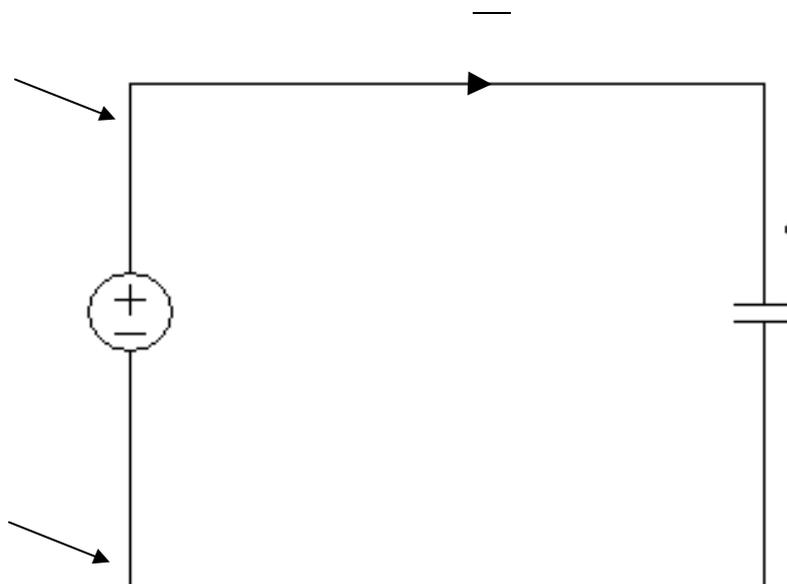
2. Transmission et stockage de l'énergie thermique

2.1. Notion de capacité thermique

La **capacité thermique massique** (symbole c ou s), anciennement appelée **chaleur massique** ou **chaleur spécifique**, est déterminée par la quantité d'énergie à apporter par échange thermique pour élever d'un kelvin la température de l'unité de masse d'une substance.

L'unité du système international est alors le joule par kilogramme-kelvin ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$).

On peut représenter la capacité thermique $C_{th} = m \cdot C$ à l'aide d'un schéma électrique équivalent :



Relation :

On donne la chaleur massique de l'eau : $C = 4185 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{°K}^{-1}$

Exercice 1 :

On alimente un thermoplongeur de puissance 3Kw pour chauffer 300 Litres d'eau.

- a) Calculer le temps nécessaire au chauffage des 300L pour amener l'eau de 10°C à 70°C.

Exercice 2 :

Quelle sera la puissance nécessaire à placer dans un réservoir de manière à chauffer 1000L d'eau en 4h pour passer de 10°C à 65°C.

Exercice 3 :

Une bouilloire électrique est munie d'un thermoplongeur de puissance 2000W.

On peut chauffer 3 litres d'eau à partir de 20°C.

- a) Calculer le temps nécessaire à la bouilloire pour faire amener l'eau à ébullition.

2.2. Notion de résistance thermique

Lorsque des échanges thermiques ont lieu, On nomme « Résistance thermique » le rapport entre la différence de température entre les deux milieux d'échange et la puissance échangée.

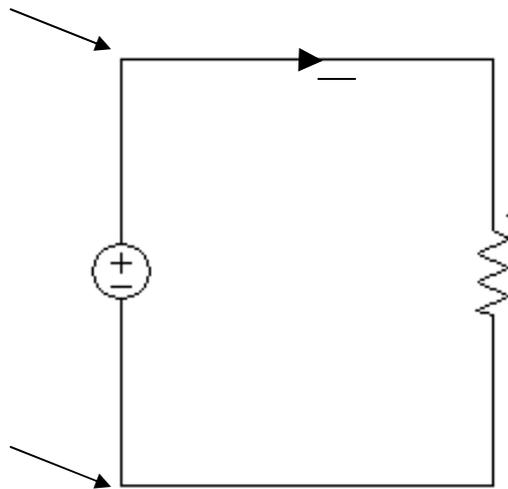
$$R_{th} = \frac{\Delta\theta}{P}$$

$\Delta\theta$: Différence de température entre l'intérieur et l'extérieur en degré kelvin (°K)

P : Puissance transmise en Watt (W)

R_{th} : Résistance thermique en degré par Watt (°K.W⁻¹)

L'analogie avec les circuits électriques permet de représenter l'échange thermique par le circuit suivant:



Expressions des résistances thermiques associées aux trois processus de transfert thermique :

e : épaisseur du matériau traversé par la puissance thermique (m)

λ : Coefficient de conductivité thermique en $W.m^{-1}.^{\circ}K^{-1}$

S : Surface du matériau d'échange thermique en m^2 .

h : Coefficient de convection en $W. ^{\circ}K^{-1} .m^{-2}$

ε : Emissivité du matériau (nombre sans unité)

σ : Constante de Stephan ($5,67.10^{-8} \text{ }^{\circ}W.m^{-2}.K^{-1}$)

Processus	Résistance thermique
Conduction	—
Convection	—
Rayonnement	—

Exercice 4 :

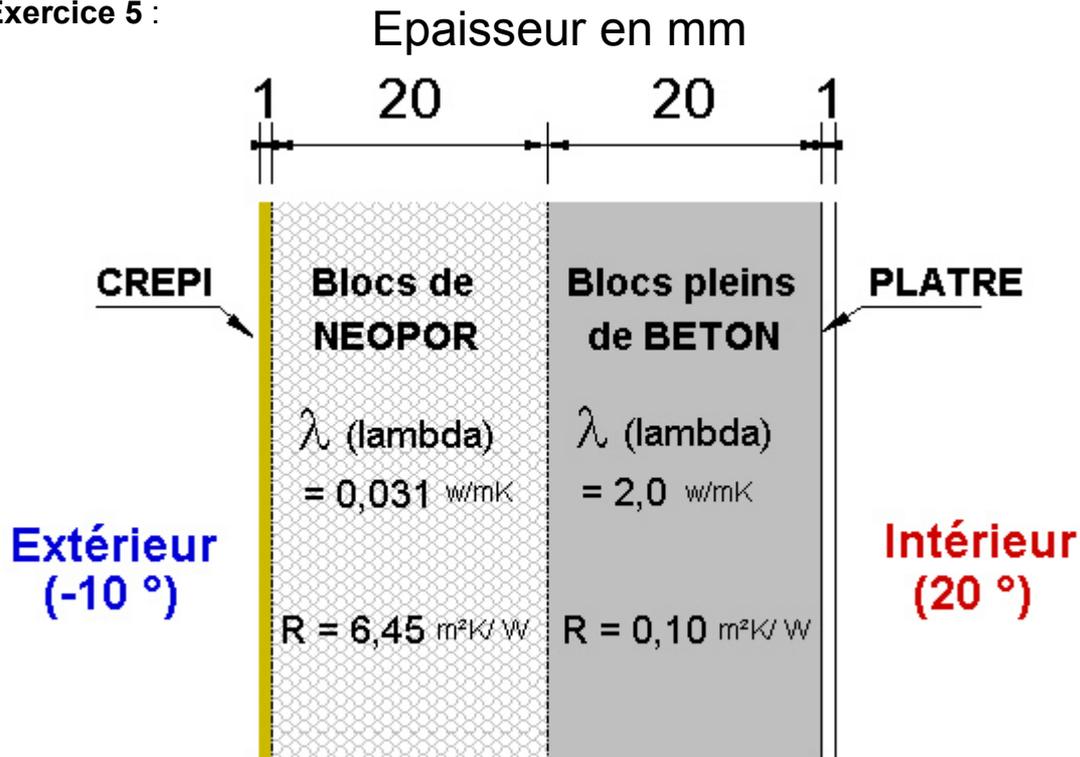
On donne :

Conductivité thermique du béton : $\lambda = 1,75 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Conductivité thermique de la brique : $\lambda = 0,56 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Un mur de briques de 10 cm d'épaisseur équivaut à quelle épaisseur de parpaing pour que l'isolation soit identique ?

Exercice 5 :



La surface du mur est de $S = 30 \text{ m}^2$.

$\lambda_{\text{crépi}} : 1,15$

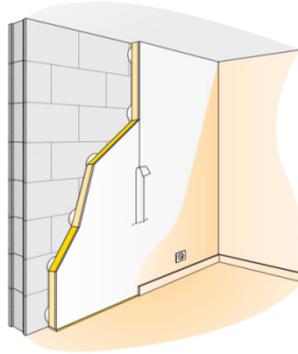
$\lambda_{\text{plâtre}} : 0,7$

A l'extérieur, il y a une convection ou le coefficient est de $h = 5,71 \text{ W.}^\circ\text{K}^{-1}.\text{m}^{-2}$

- Faire un schéma qui tient compte des résistances thermiques par conduction.
- Calculer la valeur des résistances thermiques du plâtre, béton, neopor et enduit.
- Calculer les températures intermédiaires et tracer le graphe de $T^\circ\text{C} = f(x)$
- Calculer la valeur des déperditions de ce mur.

Exercice 6 :

Pour améliorer l'isolation thermique d'un mur de façade constitué d'une maçonnerie de parpaing de 20 cm d'épaisseur recouverte d'un enduit de mortier hydraulique de 2 cm d'épaisseur, on utilise le complexe isolant Calibel SPV 13 de conductivité thermique $\lambda_c = 0,034 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Ce produit est constitué d'une plaque de plâtre d'épaisseur 10 mm et d'une épaisseur de laine de verre de forte densité d'épaisseur 30 mm.



- a) La conductivité de la laine de verre en rouleau est $0,04 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Quelle épaisseur de laine de verre permettrait d'obtenir une résistance thermique équivalente à celle des panneaux Calibel de 30 + 10 mm ?

On définit le coefficient d'échange surfacique par :

$$K = \frac{\lambda}{e}$$

- b) Le maître d'œuvre n'exige que le coefficient de transmission surfacique K soit inférieur ou égal à $0,37 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Déterminer l'épaisseur d'isolant Calibel qu'il faut choisir pour atteindre cette exigence.

RÉFÉRENCES ET CONDITIONNEMENT

Calibel sans pare-vapeur SPV 10



Réf.	RD	Ép.	Long.	Larg.	Conditionnement		
					pnx/pal	m ² /pnx	m ² /pal.
Isover	m ² .K/W	mm	m	m	pnx/pal	m ² /pnx	m ² /pal.
10752	2,95	10 + 100	2,50	1,20	10	3,00	30,00
10753	2,95	10 + 100	2,60	1,20	10	3,12	31,20
10754	2,95	10 + 100	2,80	1,20	10	3,36	33,60
10755	2,95	10 + 100	3,00	1,20	10	3,60	36,00
11652	2,40	10 + 80	2,50	1,20	13	3,00	39,00
11653	2,40	10 + 80	2,60	1,20	13	3,12	40,56
11654	2,40	10 + 80	2,80	1,20	13	3,36	43,68
11655	2,40	10 + 80	3,00	1,20	13	3,60	46,80
11552	1,80	10 + 60	2,50	1,20	16	3,00	48,00
11553	1,80	10 + 60	2,60	1,20	16	3,12	49,92
11554	1,80	10 + 60	2,80	1,20	16	3,36	53,76
11555	1,80	10 + 60	3,00	1,20	16	3,60	57,60
11502	1,50	10 + 50	2,50	1,20	19	3,00	57,00
11503	1,50	10 + 50	2,60	1,20	19	3,12	59,28
11505	1,50	10 + 50	3,00	1,20	19	3,60	68,40
11152	1,20	10 + 40	2,50	1,20	23	3,00	69,00
11453	1,20	10 + 40	2,60	1,20	23	3,12	71,76
11454	1,20	10 + 40	2,80	1,20	23	3,36	77,28
11456	1,20	10 + 40	3,00	1,20	23	3,60	82,80
11402	0,90	10 + 30	2,50	1,20	29	3,00	87,00
11403	0,90	10 + 30	2,60	1,20	29	3,12	90,48

- c) Calculer, alors la puissance nommée flux thermique, traversant ce mur pour 1m^2 avec une différence de température de $\Delta\theta = 15^\circ\text{K}$. (On obtiendra alors le flux thermique surfacique)

Exercice 7 :

Radiateur pour transistor de puissance

On prévoit de faire fonctionner à une température ambiante T_a de 40°C , un transistor de puissance de type BDY12 qui dissipe une puissance P de 8 W .

- 1) Analyser les caractéristiques du transistor BDY12 données en annexes et en particulier ses caractéristiques thermiques.
- 2) Dessiner le schéma thermique du transistor utilisé seul et montrer que l'installation du transistor sur un refroidisseur est indispensable.
- 3) Le boîtier du transistor est maintenant fixé sur un radiateur (refroidisseur) de résistance thermique $R_{th(r)}$ avec une rondelle de mica $R_{th(m)}$ pour isoler électriquement le collecteur (réuni au boîtier) de la masse (qui correspond au radiateur). Dessiner le schéma thermique du montage.
- 4) Calculer la valeur maximale que doit avoir la résistance thermique $R_{th\text{ max}(r)}$ du radiateur pour qu'à la puissance prévue, la température de jonction ne dépasse pas $T_{j(max)}$
- 5) Quelles seraient dans ces conditions limites la température du boîtier et celle du radiateur ?
- 6) On désire limiter T_j à 150°C . A l'aide de la documentation annexe, choisir un dissipateur.

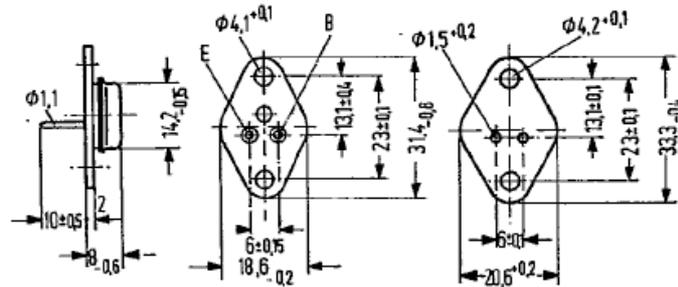
NPN Silicon Planar Transistors

BDW 25
BDY 12
BDY 13

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT 433 D

BDW 25, BDY 12, and BDY 13 are epitaxial NPN silicon planar power transistors in SOT 9 case (9 A 2 DIN 41875). The collector is electrically connected to the case. In order to ensure insulated fixing of the transistors on the chassis, a mica washer, each, and two insulating nipples are provided for. These have to be ordered separately. The transistors are particularly suitable for use in high Q AF output stages and as switches.

Type	Ordering code
BDW 25	Q62702-D378
BDW 25-4	Q62702-D378-V4
BDW 25-6	Q62702-D378-V2
BDW 25-10	Q62702-D378-V1
BDY 12	Q60204-Y12
BDY 12-6	Q60204-Y12-B
BDY 12-10	Q60204-Y12-C
BDY 12-16	Q60204-Y12-D
BDY 13	Q60204-Y13
BDY 13-6	Q60204-Y13-B
BDY 13-10	Q60204-Y13-C
BDY 13-16	Q60204-Y13-D
Mica washer	Q62901-B16-A
Insulating nipple	Q62901-B13-C



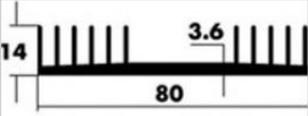
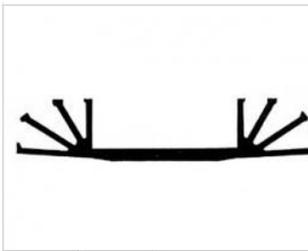
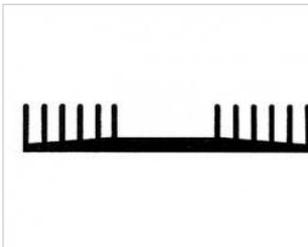
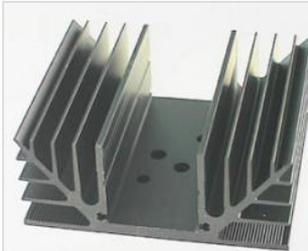
Approx. weight 8.3 g Dimensions in mm Mica washer
 dry: $R_{th} = 2.5 \text{ K/W}$
 greased: $R_{th} = 1 \text{ K/W}$

Maximum ratings

Collector emitter voltage
 Collector-base voltage
 Emitter-base voltage
 Collector current
 Emitter current
 Emitter peak current¹⁾
 Base current
 Base peak current¹⁾
 Junction temperature
 Storage temperature range
 Total power dissipation
 ($T_{case} = 45 \text{ °C}; V_{CE} < 13 \text{ V}$)

	BDW 25	BDY 12	BDY 13	
V_{CEO}	125	40	60	V
V_{CBO}	130	60	80	V
V_{EBO}	5	5	5	V
I_C	5	5	5	A
I_E	3.5	—	—	A
I_{EM}	6	—	—	A
I_B	0.5	0.3	0.3	A
I_{BM}	1	—	—	A
T_j	175	175	175	°C
T_{stg}	-65 to +125			°C
P_{tot}	26	26	26	W
R_{thJA}	≤85	≤85	≤85	K/W
R_{thJC}	≤5	≤5	≤5	K/W

1) $v \geq 10 \text{ tp}; t_p \leq 10 \text{ ns}$

 <p>À voir aussi :</p> <ul style="list-style-type: none"> Produits similaires (20) 	<h3>Dissipateur pour TO3 - ML25</h3> <p>Caractéristiques :</p> <p>Perçage : TO3</p> <p>Rth : 2,4 °C / W pour 100mm</p> <p>Dimensions : 80x12.5x75mm</p> <p>Modèle : ML25</p>	<p>3,70 €</p> <p>1 <input type="button" value="+"/> <input type="button" value="-"/> <input type="button" value="Ajouter"/></p> <p>Réf. HD34-013</p>
 <p>À voir aussi :</p>	<h3>Dissipateur pour TO3</h3> <p>Caractéristiques :</p> <p>Perçage : TO3</p> <p>Rth : 9,5 °C / W</p> <p>Dimensions : 40x70x15mm</p> <p>Modèle : n.c.</p>	<p>5,30 €</p> <p>1 <input type="button" value="+"/> <input type="button" value="-"/> <input type="button" value="Ajouter"/></p> <p>Réf. VN12-803</p> <p>Disponibilité Quantité en stock : 66 Expédition : le 27/11/2014</p>
 <p>À voir aussi :</p>	<h3>Dissipateur pour TO3</h3> <p>Caractéristiques :</p> <p>Perçage : TO3</p> <p>Rth : 7.5°C/W</p> <p>Dimensions : 40x80x14mm</p> <p>Modèle : n.c.</p>	<p>4,50 €</p> <p>1 <input type="button" value="+"/> <input type="button" value="-"/> <input type="button" value="Ajouter"/></p> <p>Réf. VN12-805</p> <p>Disponibilité Quantité en stock : 165 Expédition : le 27/11/2014</p>
	<h3>Dissipateur pour TO3 - ML41</h3> <p>Caractéristiques :</p> <p>Perçage : TO3</p> <p>Rth : 1,2 °C / W pour 100mm</p> <p>Dimensions : 88x34x75mm</p> <p>Modèle : ML41</p>	<p>9,95 €</p> <p>1 <input type="button" value="+"/> <input type="button" value="-"/> <input type="button" value="Ajouter"/></p> <p>Réf. 6477</p>

Exercice 7 :

Limitation de la valeur efficace de l'intensité du courant parcourant un câble électrique :

En fonction de la nature du câble électrique et de la nature de l'énergie électrique transportée, une intensité maximale admissible pour chaque câble est déterminée pour une température d'air ambiant de 30°C afin que la valeur de la température des brins métalliques ne dépassent pas la température maximale de :

- 70°C pour un câble basse tension multibrins en cuivre isolant PolyChlorure de Vinyle (PVC) ;
- 90°C pour un câble basse tension multibrins isolant Polyéthylène Réticulé (PR).

On donne :

- Conductivité thermique du PVC : $\lambda_{PVC} = 0,18 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Conductivité thermique du PR : $\lambda_{PR} = 0,4 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Pour un câble multibrins en cuivre, le courant maximum admissible est donné dans le tableau suivant :

Isolant PVC	Section 1,5 mm ²	Section 2,5 mm ²	Section 4,0 mm ²
Alimentation triphasée	18,5 A	25 A	34 A
Alimentation monophasés ou continue	22 A	30 A	40 A
Isolant PR	Section 1,5 mm ²	Section 2,5 mm ²	Section 4,0 mm ²
Alimentation triphasée	23 A	31 A	42 A
Alimentation monophasés ou continue	26 A	36 A	49 A

1. Pour un câble de section 2,5 mm² et en supposant que l'épaisseur d'isolant est égale au diamètre du câble, calculer, pour les deux types d'isolants considérés, la résistance thermique pour 1 m de câble.

2. En déduire, pour les deux cas, la puissance thermique maximale que peut évacuer un mètre de câble.
3. Calculer la résistance électrique linéique d'un mètre de câble à 20°C, puis à la température maximale.

Données : résistivité du cuivre à 0°C :

$$\rho_{Cu0^{\circ}C} = 15,88.10^{-9} \Omega.m ;$$

$$\text{résistivité du cuivre à } T^{\circ}C : \rho_{CuT^{\circ}C} = \rho_{Cu0^{\circ}C}(1+4,27.10^{-3}.\Delta T);$$

4. En déduire les valeurs des courants maximum admissibles. Comparer avec les valeurs du tableau. Discuter.
5. Que se passe-t-il si la température ambiante passe à 50°C ? Refaire les calculs. Conclure.

2.3. Etude du régime transitoire du chauffage.

Etude du régime transitoire à partir d'une étude de cas :



Le four est constitué de briques réfractaires qui ont une épaisseur de 64 mm.

La surface moyenne de la brique est de 4m².

La masse volumique de la brique est de $\rho_{brique}=480 \text{ Kg.m}^{-3}$.

La capacité massique thermique d'une brique réfractaire est 1050 J.Kg⁻¹.°K⁻¹

La conductivité thermique de la brique est de $\lambda = 0.12 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

On néglige la capacité thermique de l'air.

Les briques réfractaires sont recouvertes d'une épaisseur de laine de roche haute température d'une épaisseur de 10 cm dont la conductivité thermique est de $\lambda = 0,025 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

- a) Représenter le schéma thermique par analogie avec les schémas électriques.
- b) Exprimer les puissances transmises dans les dipôles capacitifs et résistifs.
- c) Par la loi des nœuds, établir l'équation différentielle.

On note que la solution générale de l'équation différentielle de type $y' + ay = 0$ est $y = K \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ avec $a = \frac{1}{\tau}$

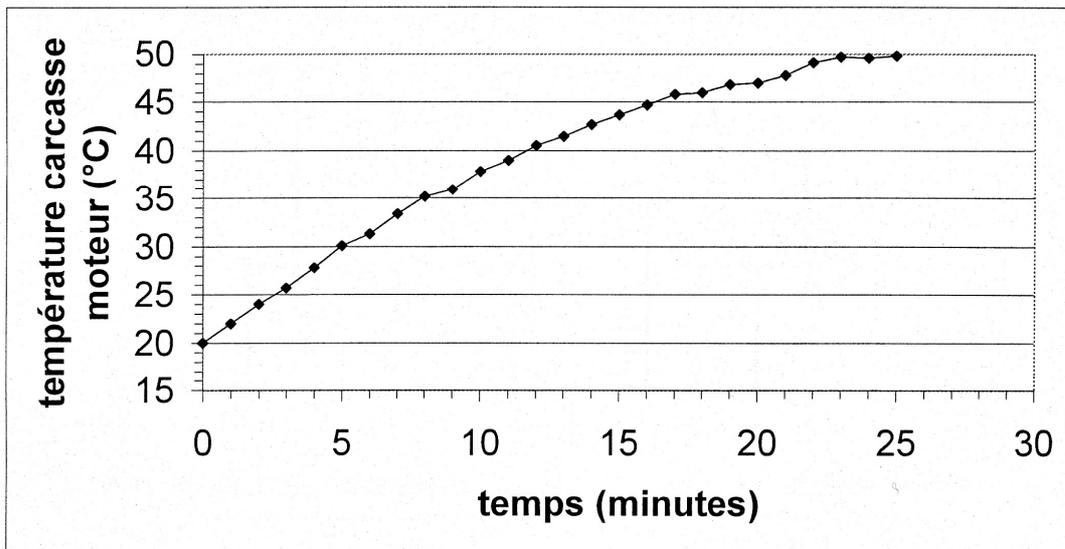
- d) Identifier la valeur de la constante de temps
- e) Déterminer la solution particulière sachant que la température se stabilise à une valeur constante quand t tend vers l'infini.
- f) Établir la solution complète de :
$$\Delta\theta_{\text{intérieure}}(t) = \Delta\theta_{\text{transitoire}}(t) + \Delta\theta_{\text{particulière}}(t)$$
- g) Déterminer l'expression de K si à $t=0^\circ\text{C}$, la valeur initiale de la température du four est égale à la température ambiante.
- h) Calculer R_{th} et C_{th} .
- i) Calculer la valeur de la constante de temps τ
- j) Tracer la courbe $\theta_{\text{intérieure}} = f(t)$ si on place une résistance électrique qui permet de dissiper 3000W et que la température ambiante est de 20°C .
- k) Calculer la valeur de la température du four lorsque le temps vaut la valeur de τ . Trouver le pourcentage de la variation de température pour cette valeur particulière du temps.
- l) Tracer la tangente à la courbe en $t=0$ et calculer sa pente.
- m) Que peut-on constater ?
- n) Comment interpréter ce résultat
- o) Déterminer la valeur de la puissance à placer si on veut que le four atteigne la température de 500°C en 2H.

Exercice 8 :

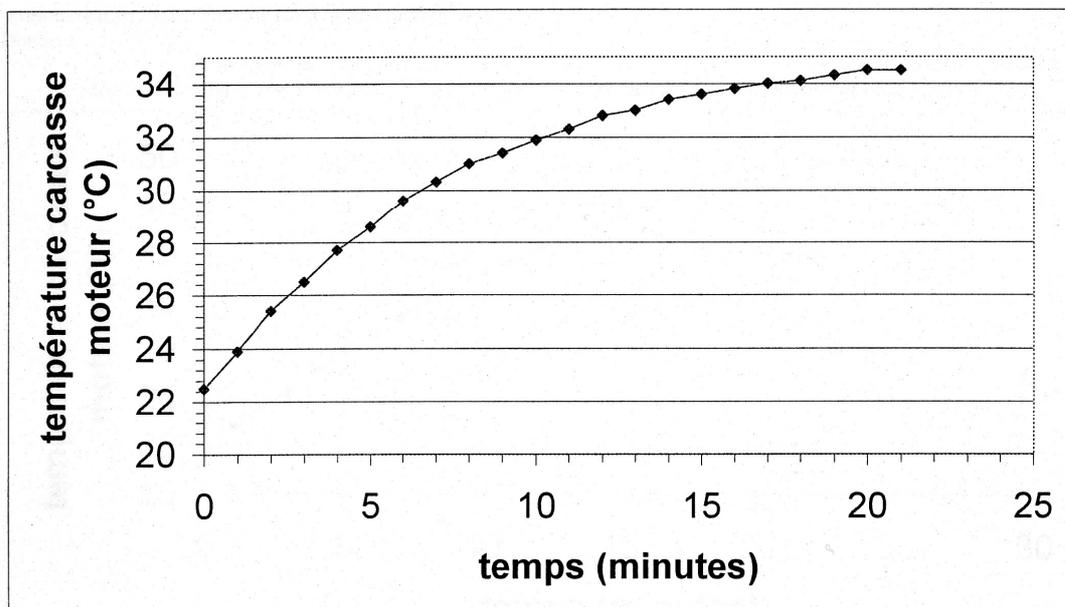
Echauffement d'un moteur électrique :

Pour un moteur asynchrone triphasé 230V/400V, 5,5A/3,2A, $\cos \varphi = 0,84$, 1,5kW, 1435 tr.min⁻¹ 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. Calculez la valeur de la puissance active électrique nominale consommée par le moteur alimenté par un réseau triphasé 400V 50Hz.
4. Déterminez la valeur de la puissance active mécanique nominale fournie par le moteur.
5. Déterminez la valeur nominale des pertes du moteur.
6. Identifiez les origines physiques des différentes pertes du moteur asynchrone.
7. Quelle est la conséquence de l'existence des pertes du moteur ?
8. Comment expliquez-vous que la température des ailettes de la carcasse du moteur augmente au cours du fonctionnement permanent du moteur ?
9. 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 ?
10. 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 ?
11. Que peut-on dire sur l'utilisation par le constructeur du refroidissement du moteur par rayonnement ?
12. Quel est le mode de transfert principal de l'énergie thermique du rotor et du stator à la carcasse ?
13. Quel est le mode de transfert principal de l'énergie thermique de la carcasse à l'air ambiant ?
14. 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.
15. Identifiez les différentes stratégies mises en oeuvre pour réduire au maximum les pertes d'une machine électrique.
16. 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.