

Remarque :

Les moteurs électriques représentent une catégorie d'organes dont l'étude thermique est particulièrement complexe.

En effet, il y a deux sources d'échauffement distinctes, le stator et le rotor séparés par un entrefer. Leur contribution relative varie avec le régime de marche. La dissipation s'effectue surtout par balayage d'air frais en construction ouverte (IP2.), mais essentiellement par la surface extérieure de la carcasse en construction fermée (IP4.). Enfin, les constantes de temps des différents éléments peuvent être très dissemblables.

On conçoit, dans ces conditions, que les problèmes de ventilation, propre par ventilateur incorporé ou autonome par groupes moto-ventilateurs, sont d'une importance capitale pour l'exploitation satisfaisante de ces machines.

Les constructeurs doivent indiquer, pour chaque type, les caractéristiques précises d'utilisation. Eux seuls peuvent, dans les cas spéciaux, garantir la bonne adaptation de la machine au problème posé.

**9.1.5. Les équipements et la température ambiante**

**9.1.5.1. Généralités**

Dans cette étude, nous définirons la température ambiante comme étant la température du fluide (1) dans lequel l'appareil considéré (2) se trouve situé avant, pendant et après sa mise en service.

- 1) Le fluide est le plus souvent de l'air mais il peut s'agir également d'huile ou de tout autre fluide liquide ou gazeux.
- 2) Par appareil considéré, on entend par exemple :
  - Un constituant de l'équipement électrique (contacteur, variateur, etc.) par rapport à l'air qui l'environne, ce dernier pouvant être celui se trouvant à l'intérieur d'une armoire ou d'un coffret lorsque les portes sont fermées,
  - l'armoire (ou le coffret) dans laquelle se trouve l'appareillage, par rapport à l'air du local.

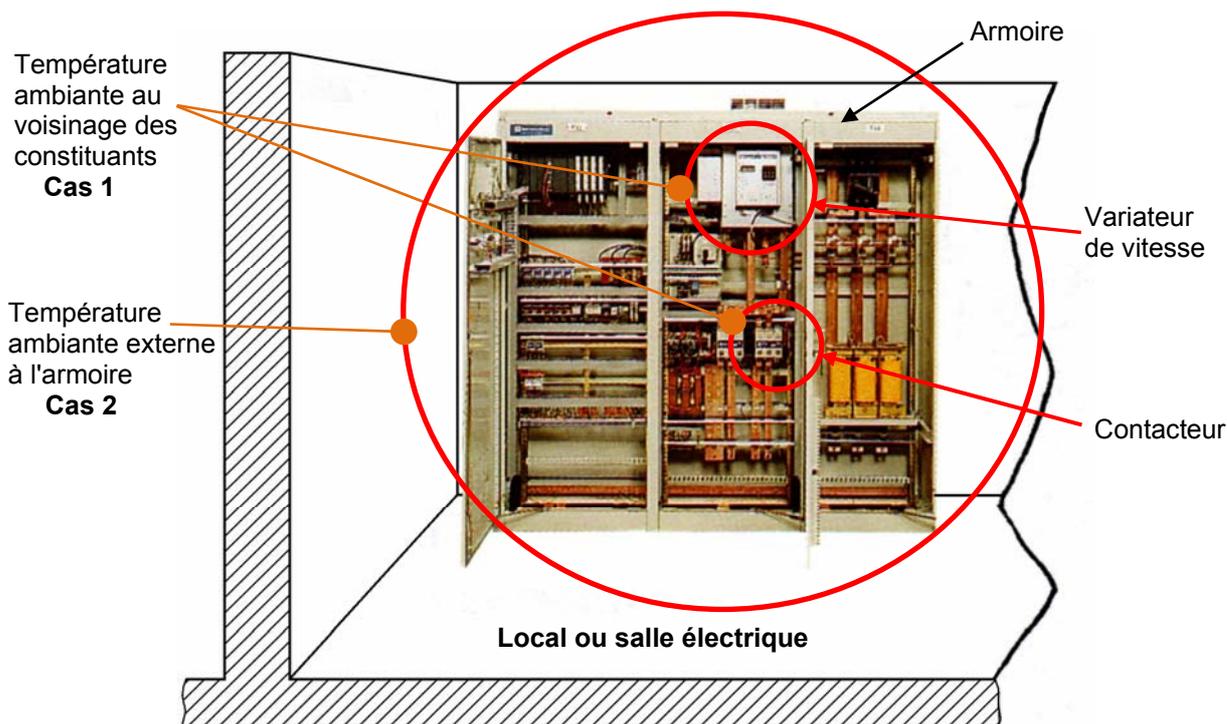


Fig. 9.1-27

Par ailleurs, nous éviterons de prendre en compte :

- le rayonnement propre de l'appareil s'il est en service
- les turbulences par convection forcée, si l'appareil est ventilé.

Pour définir la température ambiante, certains utilisateurs se placent en lieu et place de l'appareil; dans ce cas, la température est celle mesurée autour de celui-ci (**cas 1** Fig. 9.1-27); d'autres considèrent comme telle celle du local dans lequel se trouve l'utilisateur de l'appareil (**cas 2** Fig. 9.1-27).

Afin de faciliter la compréhension, nous considérerons toujours, la température du local qui peut être mesurée facilement sans erreurs notables, celle à l'intérieur d'une armoire n'étant pas identique en tous points; de plus, lorsque l'appareil est monté sur une charpente, la température ambiante est effectivement celle du local.

Comme celle-ci ne peut généralement pas être modifiée, notre propos sera de déterminer son incidence sur l'emploi des appareils, voire les mesures à prendre pour en réduire les conséquences. Cela conduira à déterminer la résistance thermique maximale des enveloppes ou barrières, à ne pas dépasser, pour que la température mesurée au voisinage de l'appareil ne soit pas supérieure à celle conseillée par le constructeur.

En effet, le concepteur qui étudie un nouvel appareil doit tenir compte de certaines contraintes thermiques :

- dans le choix des matériaux
- dans la répartition des points ou zones de chaleur, etc.

Ensuite, il indique une température maximale de fonctionnement. Pour éviter de remettre en cause la structure de l'appareil (ce qui est impossible), nous le considérerons au sein d'un volume délimité par une enveloppe imaginaire que nous appellerons « périmètre de limite thermique », à l'intérieur duquel le constructeur a défini la température maximale qu'il conseille de ne pas dépasser (Fig. 9.1-28).

Dans l'exemple de la figure ci-dessous, il s'agit de la bobine de commande du contacteur dont la température à cœur ne doit pas dépasser 130°C.

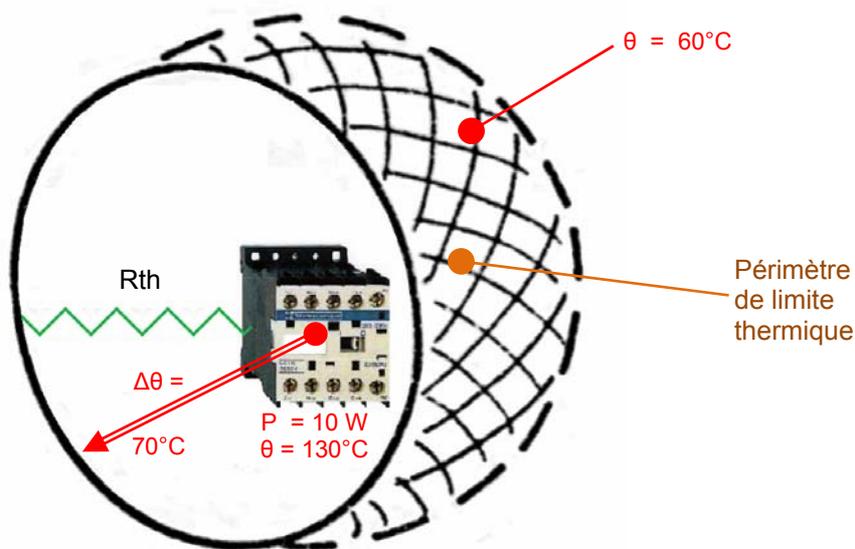


Fig. 9.1-28

Cet artifice nous permettra d'évaluer la résistance thermique de l'appareil par rapport à ce périmètre et ensuite de l'associer aux autres résistances thermiques.

Au-delà de cette température, les appareils peuvent être encore utilisés mais moyennant certaines précautions, car son augmentation au-delà des limites permises :

- entraîne une variation du seuil de la tension de fermeture et d'ouverture des contacteurs qui est fixée par des normes précises (la résistance de la bobine de l'électro-aimant augmente)
- modifie la dérive de certains appareils, notamment des contacts temporisés
- accélère le vieillissement des isolants.

La figure 9.1-29 ci-dessous illustre la durée de vie moyenne d'une bobine de contacteur en fonction de la température moyenne de fonctionnement.

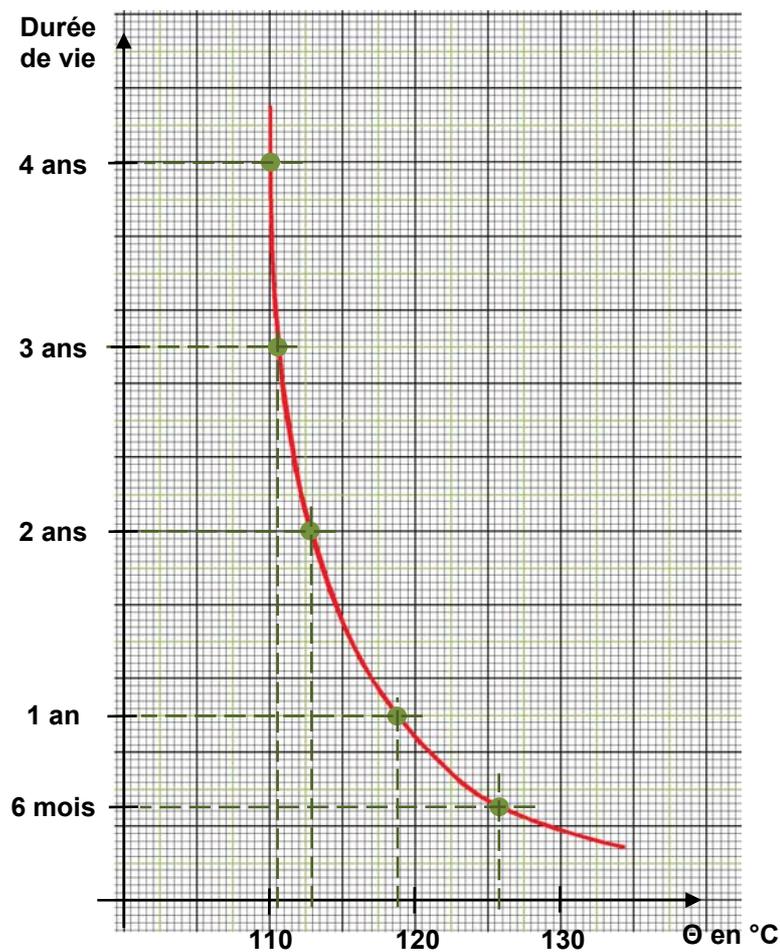


Fig. 9.1-29

- en général, diminue la fiabilité.

Dans les pages qui vont suivre, nous étudierons un certain nombre de situations et préconiserons, pour chacune d'elle, les moyens à adopter pour favoriser les échanges et éviter l'accroissement de la température des appareils au-delà des limites conseillées.

- appareil à l'air libre
- appareil dans une enveloppe (coffret ou armoire)
- association de plusieurs appareils dans une enveloppe
- équipement dans un local

### 9.1.5.2. Appareil à l'air libre

Nous utiliserons, pour les deux premiers cas suivants les données numériques déjà utilisées de l'exemple d'un contacteur :

- température maximale au cœur de la bobine : 130 °C
- puissance dissipée : 10 W
- température ambiante : 60 °C
- échauffement :  $\Delta\theta = 130 - 60 = 70^\circ\text{C}$
- résistance thermique :  $R_{th} = \frac{\Delta\theta}{P} = 7^\circ\text{C/W}$

### 9.1.5.3. Appareil en coffret

Dans ce cas on dispose le contacteur à l'intérieur d'un coffret métallique dont la résistance thermique est estimée à 2°C/W, et on suppose également que la température maximale au cœur de la bobine reste toujours égale à 130°C et la puissance dissipée à 10 W.

La figure 9.1-30 illustre cette nouvelle disposition.

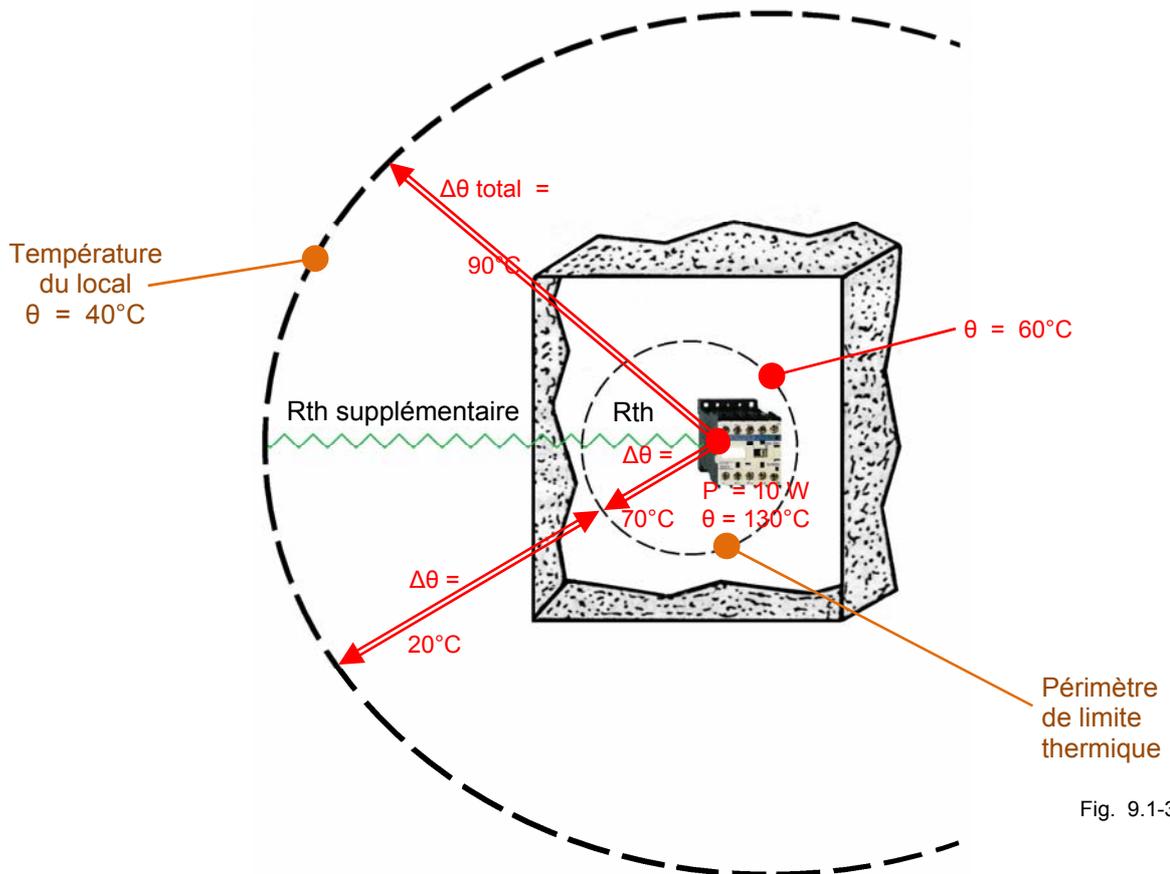


Fig. 9.1-30

La résistance thermique devient la somme de celle de l'appareil à l'air libre et de celle du coffret (2°C/W) soit dans notre exemple :

$$\Sigma R_{th} = 7 + 2 = 9^\circ\text{C/W}$$

L'écart de température devient alors :

$$\Delta\theta = \Sigma R_{th} \times P \quad \Rightarrow \quad \Delta\theta = 9 \times 10 = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Avec ces hypothèses, la limite de température ambiante à ne pas dépasser devient :

$$\theta_a = 130 - 90 = \mathbf{40^\circ\text{C}}$$

Nous voyons ainsi qu'il est possible de comparer la température du local à la température du périmètre de limite thermique de l'appareil à travers les différentes résistances thermiques. La température du périmètre de limite thermique correspond à la température ambiante maximale dans laquelle l'appareil peut être placé. C'est cette valeur de température (en général 60°C pour le matériel conventionnel et 40°C pour les variateurs de vitesse) qui est toujours indiquée dans les catalogues des constructeurs avec les caractéristiques techniques essentielles telles que :

- courant tension d'emploi.
- Courant thermique
- Etc.

Remarque :

**Cas d'un appareil en coffret installé dans un local où la température ambiante est supérieure à 40°C.**

Reprenons l'exemple précédent du contacteur devant être monté dans un coffret qui sera installé dans un local dont la température ambiante sera par exemple 45 °C.

L'échauffement  $\Delta\theta$  admissible de la bobine est réduit à :

$$\Delta\theta = 130 - 45 = \mathbf{85^\circ\text{C}}$$

et la résistance thermique  $R_{th}$  ne doit pas dépasser :

$$R_{th} = \frac{\Delta\theta}{P} = \frac{85}{10} = \mathbf{8,5^\circ\text{C/W}}$$

La résistance thermique de l'ensemble (appareil + coffret) étant de 9°C/W, nous constatons qu'elle est trop importante. La résistance thermique de l'appareil (7°C/W) ne pouvant être modifiée, il faudra agir sur celle de l'enveloppe qui devra être ramenée à :

$$R_{th} = 8,5 - 7 = \mathbf{1,5^\circ\text{C/W}}$$
 au lieu de 2°C/W comme précédemment.

Pour parvenir à cette valeur, on peut favoriser l'échange de température entre le coffret et l'ambiance dans laquelle il se trouve. Trois possibilités nous sont offertes :

- 1) Augmenter la surface d'échange en **éloignant la face arrière du coffret du plan de fixation**, si celui-ci est mauvais conducteur de la chaleur (Fig. 9.1-31 a). En effet, celle-ci n'a pas été considérée dans le calcul de base du coffret pour tenir compte de sa fixation éventuelle sur une paroi thermiquement isolante. Si nous supposons que dans un coffret, la face arrière représente environ le cinquième de la superficie totale; cette possibilité d'échange ayant été négligée, la  $R_{th}$  (2°C/W) indiquée dans l'exemple précédent a donc été calculée sur les 4/5 de la surface du coffret. Or, la résistance thermique est inversement proportionnelle à la surface d'échange (en effet, plus la surface augmente, meilleur est l'échange ce qui entraîne une diminution de la résistance thermique).

Dans l'exemple choisi, si les 4/5 de la surface du coffret présentent une résistance thermique de 2°C/W, la valeur de celle-ci devient lorsque la totalité de la surface du coffret participe à l'échange :

$$R_{th} = \frac{2}{5} \cdot 4 = \frac{8}{5} = \mathbf{1,6^\circ\text{C/W}}$$

Cette valeur est très proche de celle calculée précédemment (1,5°C/W).

- 2) Fixer intimement le coffret sur une plaque métallique (aluminium ou fer) de grande surface et de forte épaisseur susceptible de dissiper l'énergie calorifique de l'appareil (voir Fig. 9.1-31 b).

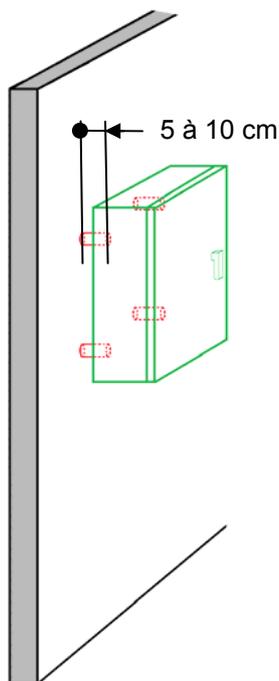


Fig. 9.1-31a

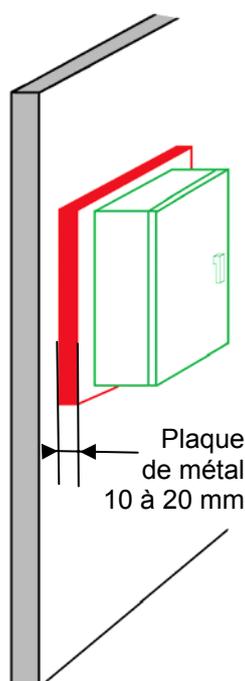


Fig. 9.1-31b

- 3) Prévoir des orifices de ventilation (ouïes d'aération) complétées éventuellement par des ventilateurs pour accélérer l'évacuation de la chaleur sans compromettre évidemment le degré de protection procuré par l'enveloppe, tel que les conditions d'exploitation l'exigent.

Ces trois artifices permettent d'améliorer l'échange sans augmenter la température limite au cœur de la bobine, fixée préalablement à 130 °C.

#### 9.1.5.4. Association de plusieurs appareils dans un coffret ou une armoire

Lorsque l'équipement comporte plusieurs sectionneurs, contacteurs et relais juxtaposés, ainsi que des transformateurs, des résistances auxquelles viennent s'ajouter les connexions passées dans des goulottes de câblage, la puissance à dissiper est plus importante et les échanges de chaleur sont plus difficiles à obtenir.

L'air, emprisonné entre les parois des appareils et dans les goulottes, circule difficilement, de plus, si les appareils sont proches les uns des autres, leurs propres surfaces d'échange sont diminuées; à la limite, seules les faces avant et arrière restent efficaces (Fig. 9.1-32 a et b).

En conséquence, pour limiter la température, il faudra favoriser les échanges de chaleur entre les appareils et l'enveloppe et améliorer la circulation de l'air :

- en évitant la concentration des sources de chaleur et la formation de poches d'air immobiles
- en favorisant la convection naturelle par l'organisation du cheminement de l'air
- en fixant les appareils sur des supports métalliques faisant office de radiateurs
- en prévoyant éventuellement une ventilation forcée (sous réserve que l'air puisse circuler)
- en répartissant dans la mesure du possible les appareils en fonction de leur sensibilité à la température.

Les figures ci-dessous illustrent la différence des circuits d'échange de température en fonction de la densité d'assemblage des constituants sur une charpente.

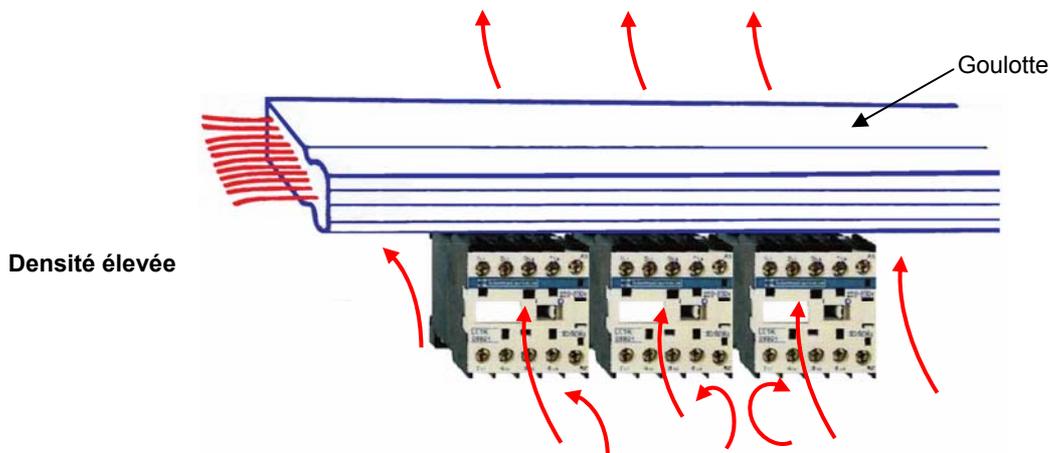


Fig. 9.1-32a

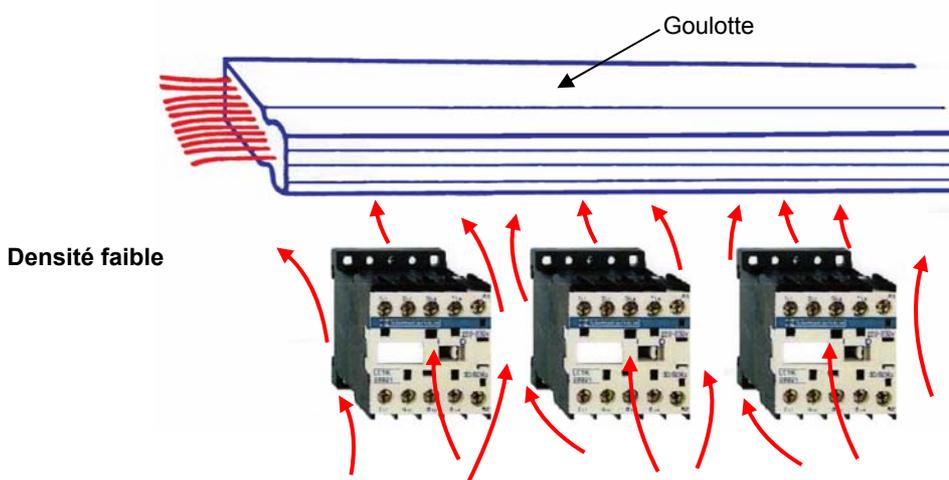


Fig. 9.1-32b

La répartition de la chaleur à l'intérieur d'un coffret ou d'une armoire n'est pas homogène et nous pouvons constater, sur la figure 9.1-33, que la température à la partie inférieure est plus faible que celle vers la partie supérieure. Il y a donc intérêt à placer en bas du coffret tous les appareils pouvant être influencés par la température (temporisateurs, appareils de mesure) et, vers le haut, tous ceux qui dissipent beaucoup de chaleur (sectionneurs, transformateurs, résistances, etc.).

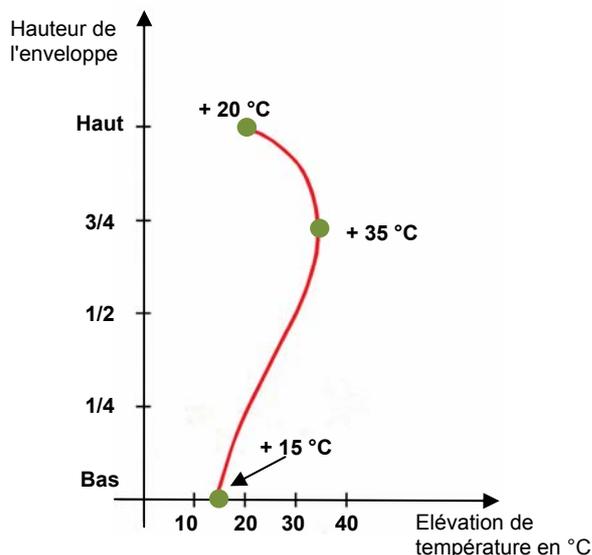


Fig. 9.1-33

Si toutes les autres contraintes de construction pouvaient être éliminées, l'équipement conventionnel idéal thermiquement se présenterait comme sur la figure ci-dessous, mais cette implantation peu réaliste implique forcément des compromis.

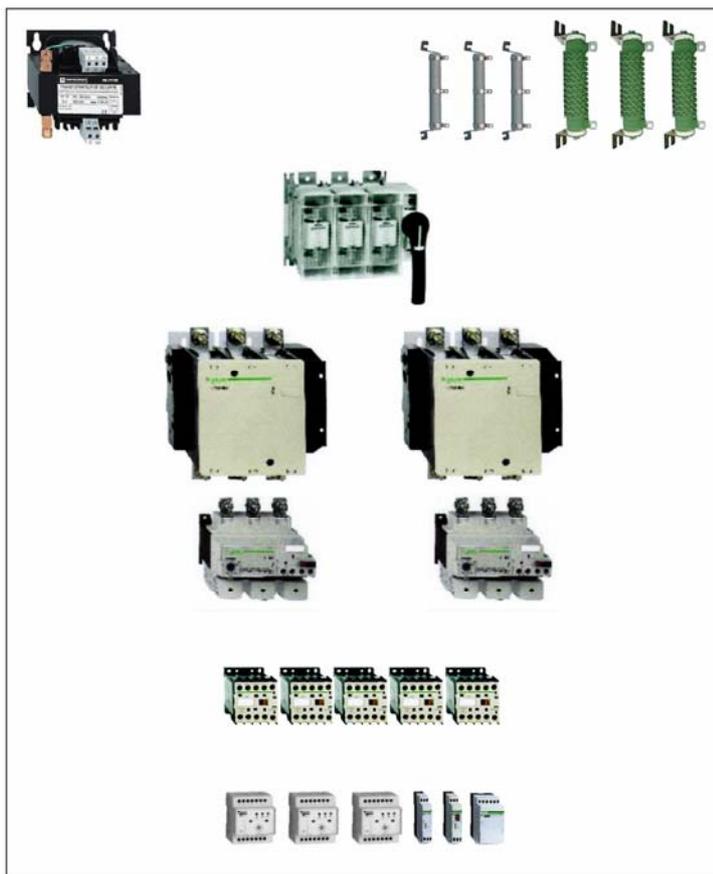


Fig. 9.1-34

Si, après avoir appliqué toutes les suggestions formulées précédemment, un doute subsiste quant à l'échauffement propre d'un appareil, on peut tenter de le déclasser en choisissant un calibre supérieur. En effet, pour une même intensité de courant, la résistance des pôles et des plages de raccordement est plus faible et les pertes par effet Joule ( $R.I^2$ ) moins élevées. Mais, en contrepartie, la puissance dissipée par la bobine de l'électro-aimant et le relais thermique de protection sera souvent plus importante.

L'amélioration apportée par cette solution est donc minime; seule, dans la majorité des cas, la puissance dissipée par les pôles diminue.

#### AUTRES POSSIBILITES :

- Augmenter la section des conducteurs ou des câbles qui peuvent être considérés dans leur zone de raccordement comme « absorbeurs d'énergie », Si par exemple, venant d'une zone plus froide et utilisés en dessous de leur intensité admissible, ils sont à une température inférieure à celle des bornes.
- Disposer les bornes de raccordement des conducteurs extérieurs en dehors des zones chaudes, par exemple à la partie inférieure ou à proximité des faces latérales (bornier vertical) suivant la classe thermique de l'isolant des câbles.
- Utiliser une enveloppe de plus grandes dimensions. Dans ce cas, la surface d'échange augmente, la densité par unité de surface d'occupation diminue et l'échange thermique est favorisé. D'une part, la surface d'échange de l'enveloppe avec l'air ambiant augmente, d'autre part la disposition plus aérée des appareils favorise les échanges thermiques.
- Disposer dans les constituants les plus sensibles à la chaleur dans des enveloppes spécifiques. Outre les avantages thermiques, cela facilite également l'éloignement des sources de perturbation électromagnétique.

### 9.1.5.5. Equipement dans un local

Lors de l'installation d'un équipement dans un local où la température ambiante est élevée, deux cas sont à considérer :

➤ Equipement sur charpente

Aucune précaution supplémentaire à envisager.

➤ Equipement en coffret ou en armoire

Il est alors recommandé :

- d'éviter de placer le coffret sur un mur isolant, en haut ou dans l'angle de la pièce. En effet, dans ce dernier cas, les possibilités d'échange de la face arrière, de la face supérieure et parfois de l'une des faces latérales sont supprimées,
- de dégager au maximum le coffret ou l'armoire,
- de fixer le coffret le plus près possible du sol, car l'air ambiant y est le plus froid,
- d'isoler l'enveloppe de l'équipement des sources possibles de rayonnement direct (four, soleil) par un écran intermédiaire qui absorbera ou réfléchira le rayonnement (solution simple et efficace en pays très ensoleillé ou près d'un four),
- dans les cas difficiles, d'envisager une ventilation forcée du local.

#### Nota

Toutes ces solutions sont applicables lorsque les appareils fonctionnent en service continu. Dans le cas contraire, il faudra estimer la puissance moyenne dissipée en fonction du service et déterminer si le cycle de fonctionnement est plus rapide que la constante de temps d'évacuation du coffret.

### 9.1.5.6. Appareil soumis à une température ambiante inférieure à 0°C

Si l'on exclue les zones de montagne, dans nos régions tempérées, on peut considérer qu'il n'y a généralement pas de problème de fonctionnement à basse température.

Par contre, lorsque les appareils doivent être utilisés dans des régions plus froides, par exemple l'URSS ou les pays Scandinaves, il y a lieu de consulter les catalogues spécialisés qui indique pour chacun d'eux les températures de stockage et de fonctionnement à respecter. Cela est très important, car au-delà des risques de dysfonctionnement possibles (destruction), les performances des matériels risquent d'être dégradées.

Il est intéressant de noter que certains constructeurs proposent des composants spécifiques en particulier pour la réalisation des automatismes électroniques.

#### Température de stockage

Pour certains produits elle peut atteindre - 40°C et même davantage. Ne pas oublier que lors d'un transport aérien, les soutes ne sont pas climatisées; cependant, dans ce cas le temps d'exposition à basse température est de courte durée.

#### Température de fonctionnement

La valeur de cette dernière est fonction de l'appareil considéré. Soumis à celle-ci, l'appareil répond au service demandé. Contrairement à l'utilisation à une température plus élevée, la situation est plus favorable, car dès la mise sous tension, l'énergie calorifique fournie par les appareils augmente progressivement la température à l'intérieur des composants puis du périmètre de limite thermique.