

Qu'est-ce qu'une cellule à Effet Peltier ?

Une Cellule à Effet Peltier (CEP), appelée aussi module thermoélectrique, est un assemblage d'éléments semiconducteurs, entre deux semelles conductrices de la chaleur.

Si on fait passer un courant électrique continu dans un tel montage, il apparaît une «face froide» qui absorbe des calories, et une «face chaude» qui dégage des calories.

Une CEP est donc une pompe à chaleur, c'est-à-dire un dispositif capable de prendre des calories à une source froide pour les restituer à une source chaude.

Pourquoi des cellules à Effet Peltier ?

Une CEP peut être utilisée:

- soit en **refroidissement**: la source froide est alors le milieu à refroidir, la source chaude est l'air ambiant ou un autre fluide de refroidissement;
- soit en **chauffage**: la source froide est l'air ambiant, ou un autre fluide de chauffage, la source chaude est le milieu à réchauffer.

Une des propriétés remarquables des CEP est **qu'il suffit d'inverser le sens du courant d'alimentation pour passer de refroidissement en chauffage**, et inversement, ce qui permet de réaliser des applications mixtes.

Néanmoins, l'essentiel des applications des CEP se trouve dans le domaine du refroidissement.

En raison de leur **technologie compacte et entièrement statique**, les CEP peuvent trouver leur utilisation partout où l'emploi de pompes à chaleur thermodynamiques posent des problèmes:

- d'encombrement,
- de fiabilité
- de coût pour les applications de faible puissance.

En particulier les CEP représentent la seule solution, à des conditions d'encombrement et de prix raisonnables, aux problèmes de refroidissement basse puissance (jusqu'à quelques dizaines de watts, avec un écart de température limité entre sources chaude et froide - jusqu'à 50°C environ -).

Les performances théoriques d'une CEP

Dans une CEP, les éléments thermo-électriques ou «pavés» sont de deux types, N et P, montés en alternance et reliés électriquement en série.

Si on ne considère que les pavés thermo-électriques seuls, sans tenir compte des circuits d'échange thermique avec les milieux chaud et froid, on peut définir les performances théoriques d'un montage.

Ces performances dépendent de 3 caractéristiques du matériau thermo-électrique constituant les pavés:

- a pouvoir thermo-électrique,
- r résistivité électrique,
- k conductivité thermique, (pour simplifier, on considère pour a , r et k les valeurs moyennes entre le matériau P et le matériau N) et des dimensions des pavés:
- e épaisseur des pavés,
- s section des pavés.

What is a Peltier effect cell ?

A Peltier effect cell, also called thermoelectric module, is an assembly of semiconductor elements between two heatconducting plates.

When an electric direct current is passed through such a device, there appears a cold junction which absorbs heat, and a hot junction which evolves heat.

A Peltier effect cell is therefore a heat pump, i.e. a device capable of taking heat from a cold source and restoring it to a hot source.

What are the uses of Peltier effect cells ?

A Peltier effect cell can be used:

- *as **refrigerator**: the cold source is the field to be cooled and the hot source is ambient air or another cooling fluid;*
- *as **heat pump**: the cold source is ambient air or another heating fluid and the hot source is the field to be heated.*

*One of the remarkable properties of Peltier effect cells is **that is sufficient to reverse the direction of the power supply current to change from cooling to heating and vice versa**, Which allows the applications to be combined.*

However, most Peltier effect cells are used for cooling.

*As they are **compact and entirely solid state** Peltier effect cells can be used in all applications where thermodynamic heat pumps raise problems of:*

- *size*
- *reliability*
- *cost, for low power applications.*

In particular, Peltier effect cells are the only solution of reasonable cost and size to low power cooling problems (up to a few tens of watts), with a limited temperature difference between the hot source and the cold source - up to 50°C about -

The theoretical performance of a Peltier Effect Cell

In a Peltier effect cell, the thermoelectric elements or "cubes" are of two types, N and P, mounted in couples and electrically interconnected in series.

The theoretical performance of a device can be defined considering only the thermoelectric cubes alone, neglecting heat exchanges with the hot and cold fields.

This performance depends on three properties of the thermoelectric material used in the cubes:

- *a thermoelectric power,*
 - *r electrical resistivity,*
 - *k thermal conductivity, (to simplify, average values of the P material and the N material are used for a, r and k)*
- and on the cube sizes:*
- *e cube thickness,*
 - *s cube cross-sectional area.*

La résistance électrique par pavé est alors:

$$R = \rho \cdot \frac{e}{s}$$

et la conductance thermique par pavé:

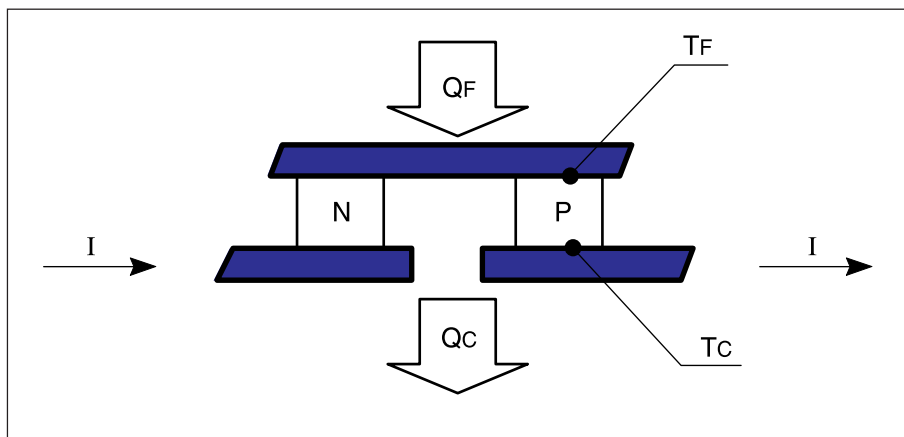
$$K = \kappa \cdot \frac{s}{e}$$

The electrical conductance per cube is then equal to:

$$R = \rho \cdot \frac{e}{s}$$

and the thermal conductance per cube is equal to:

$$K = \kappa \cdot \frac{s}{e}$$



La puissance frigorifique absorbée par la face froide d'une CEP a pour expression:

$$Q_F = n \cdot [\alpha \cdot I \cdot T_F - \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - K \cdot (T_C - T_F)]$$

où : n est le nombre de pavés de la cellule
I est le courant traversant la cellule
T_F est la température de la face froide des pavés en °K
T_C est la température de la face chaude des pavés en °K.

The cooling power absorbed by the cold junction of a Peltier effect cell is expressed as:

Where : n is the number of cubes in the cell
I is the current flowing through the cell
T_F is the temperature of cold junction °K
T_C is the temperature of hot junction of the cubes in °K.

La puissance calorifique dégagée par la face chaude est:

$$Q_C = n \cdot [\alpha \cdot I \cdot T_C + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - K \cdot (T_C - T_F)]$$

La puissance électrique fournie à la cellule est:

$$P_E = Q_C - Q_F = n \cdot [\alpha \cdot I \cdot (T_C - T_F) + R \cdot I^2]$$

et la tension aux bornes de la cellule:

$$U = n \cdot [\alpha \cdot (T_C - T_F) + R \cdot I]$$

Dans le cas le plus fréquent où une CEP est utilisée pour le refroidissement, ses performances peuvent être considérées sous trois aspects:

- Puissance frigorifique Q_F,
- Rendement énergétique, appelé "Coefficient de performance froid" COP_F = Q_F / P_E.

The heat rate evolved by the hot junction is equal to:

The electric power supplied to the cell is equal to:

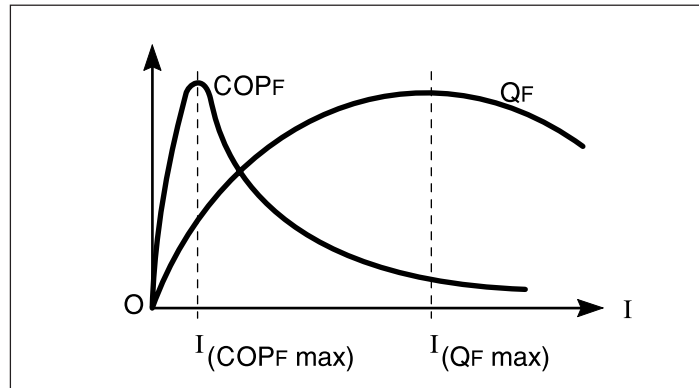
and the voltage across the cell is equal to:

In the most frequent case, using the Peltier effect cell for cooling, the performance can be considered from three aspects:

- Cooling power Q_F,
- Energy efficiency, called "Coefficient of performance for cooling" COP_F = Q_F / P_E.

Si on suppose les températures T_F et T_c égales et constantes, les courbes représentant les variations de Q_F et COP_F en fonction du courant I ont les allures suivantes:

Assuming temperatures T_F and T_C to be equal and constant, the curves representing the variations of Q_F et COP_F versus the current I have the following shapes:



On voit qu'il existe, pour des courants donnés, un optimum $Q_F \text{ max}$. et un optimum $COP_F \text{ max}$. Le point de fonctionnement choisi est généralement un point intermédiaire entre ces deux optima.

It can be seen that an optimum $Q_F \text{ max}$ and an optimum $COP_F \text{ max}$ exist at particular currents. The operating point selected is generally intermediate between these two optima.

Pour une utilisation en chauffage, les performances sont la puissance calorifique Q_c et le "coefficient de performance chaud"

For heating, the performance parameters are the heating rate Q_c and the coefficient of heating performance.

$$COP_c = Q_c / P_E = 1 + COP_F$$

En général, on s'intéresse uniquement à l'optimum économique $COP_c \text{ max}$, car la puissance Q_c croît de façon continue avec le courant.

Generally, only the economic optimum $COP_c \text{ max}$ is of interest, since the heating rate Q_c increases continuously with current.

• **Ecart maximum de température** $\Delta T_{\text{max}} = (T_c - T_F) \text{ max}$.

• **Maximum temperature difference** $\Delta T_{\text{max}} = (T_c - T_F) \text{ max}$.

Si on suppose la face froide de la cellule parfaitement isolée thermiquement, soit $Q_F = 0$, l'écart maximum est obtenu pour le courant $I = I(Q_F \text{ max})$. Il ne dépend que du matériau thermoélectrique et de la température T_F atteinte.

If it is assumed that the cold junction of the cell is perfectly thermally insulated, i.e. $Q_F = 0$, the maximum temperature difference is obtained for a current $I = I(Q_F \text{ max})$. It depends only on the thermoelectric material and the temperature T_F reached.

$$\Delta T_{\text{max}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha^2}{\rho \cdot \kappa} \cdot T_F^2$$

Le coefficient :

The coefficient :

$$Z = \frac{\alpha^2}{\rho \cdot \kappa}$$

est appelé facteur de mérite du matériau.

is called factor of merit of the material

Les performances réelles d'un montage CEP

The actual performance of a Peltier Effect Cell

Les performances théoriques $Q_F \text{ max}$, $COP_F \text{ max}$, et $\Delta T \text{ max}$ d'une CEP ne présentent pas un grand intérêt pratique pour l'utilisateur ayant à calculer et à optimiser un montage de refroidissement. On doit en effet tenir compte aussi des éléments suivants :

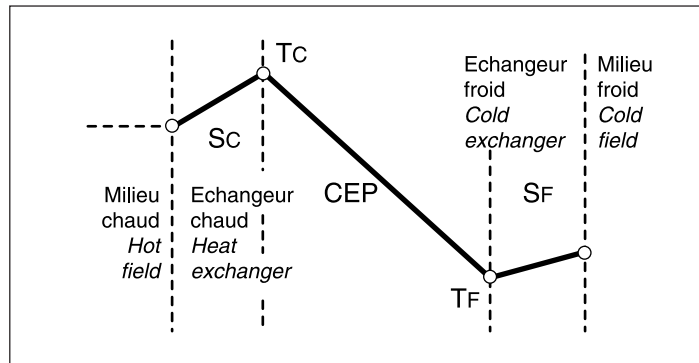
The theoretical performance parameters, $Q_F \text{ max}$, $COP_F \text{ max}$ and $\Delta T \text{ max}$ of a Peltier effect cell are not of any great practical interest for the user who has to design and optimize a refrigerating device. The following factors must also be taken into account:

• **Echangeurs**

Comme il n'existe pas de dispositifs d'échange de chaleur parfait, les échangeurs chaud et froid présentent des résistances thermiques globales S_c et S_f entre les pavés de la CEP et les milieux chaud et froid respectivement. La variation de température d'un milieu à l'autre a l'allure suivante.

• **Exchangers**

As there are no perfect heat exchange devices, the heat and cold exchangers have overall thermal resistance S_c and S_f between the cubes of the Peltier effect device and the hot and cold fields respectively. The temperature variation from one field to the other has the following appearance.



L'écart de température $\Delta T = T_c - T_f$ est toujours plus important que l'écart entre milieux $\Delta\theta = \theta_c - \theta_f$ puisque l'on a:

The temperature difference $\Delta T = T_c - T_f$ is always larger than the temperature difference between fields $\Delta\theta = \theta_c - \theta_f$ since.

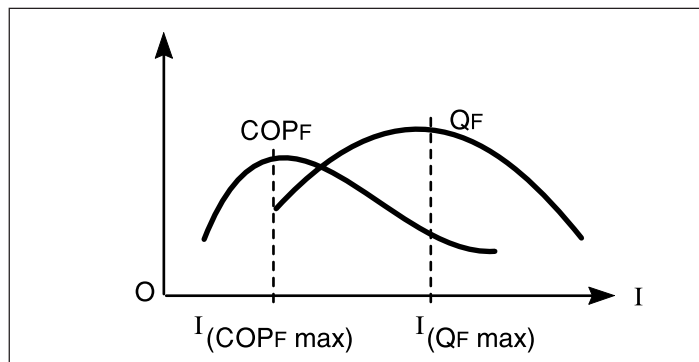
$$\begin{aligned} T_c &= \theta_c + S_c \cdot Q_c \\ T_f &= \theta_f - S_f \cdot Q_f \\ \Delta T &= \Delta\theta + S_c \cdot Q_c + S_f \cdot Q_f \end{aligned}$$

En tenant compte des échangeurs, on peut tracer les courbes de performances réelles $Q_f(I)$ et $COP_f(I)$ d'un montage pour $\theta_f, \theta_c, S_f, S_c$ fixés, qui ont l'allure générale suivante.

Based on the exchangers, the real performance curves $Q_f(I)$ and $COP_f(I)$ of a device, can be plotted for $\theta_f, \theta_c, S_f, S_c$ invariable. These curves have the following general appearance.

Par rapport aux performances théoriques, les performances sont sensiblement réduites. On rencontre fréquemment les ordres de grandeur suivants:

The actual performance is substantially reduced with respect to the theoretical performance. The following ratios are frequently encountered:



- $Q_f \text{ max}$ et $COP_f \text{ max}$ sont réduits dans un rapport de 1 à 3,
 - $I(Q_f \text{ max})$ dans un rapport de 1 à 2.
- Il est essentiel en particulier de connaître $I(Q_f \text{ max})$ qui détermine le dispositif d'alimentation électrique.

- $Q_f \text{ max}$ and $COP_f \text{ max}$ are reduced in a ratio of 1 to 3,
 - $I(Q_f \text{ max})$ is reduced in a ratio of 1 to 2.
- In particular, it is essential to know $I(Q_f \text{ max})$ which determines the power supply system.

• **Alimentation électrique**

On a vu que la puissance Q_f d'une CEP dépend du courant I qui doit être maintenu légèrement inférieur à un optimum $I(Q_f \text{ max})$. Dans la pratique, on utilise rarement une source de courant régulée, beaucoup plus souvent une source de tension constante. Il faut donc connaître la relation $Q_f(V, \theta_c, \theta_f)$, qui a une expression mathématique beaucoup plus complexe que $Q_f(I, \theta_c, \theta_f)$, pour étudier le régime transitoire de mise en température d'un montage.

• **Electric power supply**

As was seen, the cooling rate Q_f of a Peltier effect device depends on the current which must be held slightly below an optimum $I(Q_f \text{ max})$. In practice, a regulated current source is rarely used. It is much more common to use a constant voltage source. It is therefore necessary to know the relation $Q_f(V, \theta_c, \theta_f)$, whose mathematical expression is much more complicated than $Q_f(I, \theta_c, \theta_f)$, in order to analyze the transient temperature variation state of a device.

• **Cellules multi-étages**

On a vu qu'il existe une limite absolue ΔT_{max} pour l'écart de température entre faces d'une CEP. A fortiori, l'écart de température $\Delta\theta$ créé entre milieux chaud et froid reste inférieur à ΔT_{max} .

Pour traiter certaines applications où l'écart $\Delta\theta$ souhaité dépasse ΔT_{max} , il est possible d'utiliser un montage CEP comportant plusieurs étages de pavés.

On peut augmenter de cette façon sensible le $\Delta\theta$ mais les performances en puissance sont nettement réduites. Avec une cellule à deux étages, par rapport à une cellule simple étage comprenant le même nombre de pavés, les ordres de grandeur sont:

$\Delta\theta$ est multiplié par 1,5

Q_F max et COP_F max sont divisés par 10 à 50.

Le calcul et l'optimisation d'une CEP multi-étages pour une application donnée fait appel à des expressions mathématiques complexes.

Etude d'une application.

En pratique, un problème de refroidissement se pose dans la majorité des cas ainsi:

- Le milieu chaud (air ambiant en général) est à une température maximale θ_c .
- Le milieu froid doit être porté à une température θ_f .
- Aux conditions de température θ_c et θ_f , la puissance frigorifique à fournir est Q_F , somme de la dissipation interne du milieu froid et des pertes entre milieux chaud et froid.
- Éventuellement, le temps nécessaire à amener le milieu froid, présentant une chaleur spécifique C_s d'une température initiale θ_0 à la température θ_f , est imposé.

• **Multistage Cells**

As was seen, there is an absolute limit DT_{max} for the temperature difference between junctions of a Peltier effect cell. Obviously, the temperature difference Dq between the hot field and cold field remains below DT_{max} .

For certain applications requiring the difference $\Delta\theta$ to exceed ΔT_{max} , a Peltier effect device with several stages of cubes can be used.

This substantially increases $\Delta\theta$, but the performance in power is substantially lower. With a two-stage cell, the performance parameters compared with those of a single stage cell with the same number of cubes are as follows:

$\Delta\theta$ is multiplied by 1.5

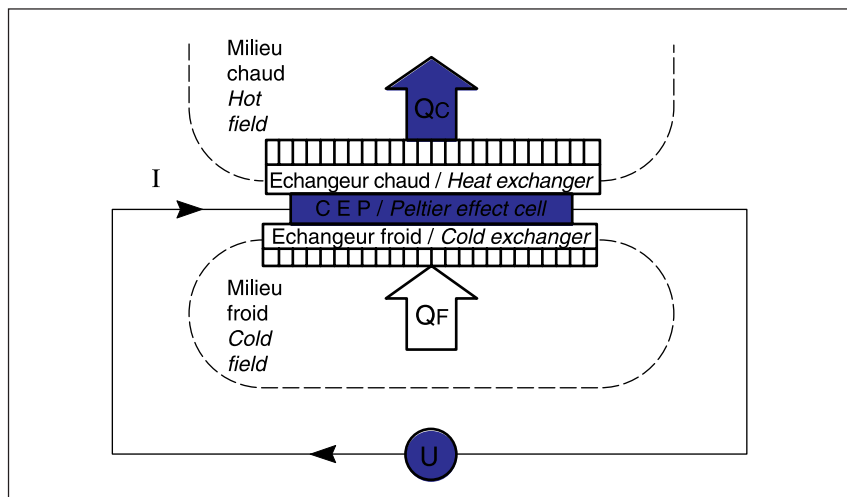
Q_F max and COP_F max are divided by 10 to 50.

Designing and optimizing a multistage Peltier effect cell for a given application involves complex mathematical computations.

Design of an application.

In practice, a cooling problem is generally defined as follows:

- The hot field (generally ambient air) is at a maximum temperature θ_c .
- The cold field must be cooled to a temperature θ_f .
- At the temperature conditions θ_c and θ_f , the cooling rate to be provided is Q_F , which is the sum of the internal dissipation of the cold field and the losses between the hot and cold fields.
- In some cases, the time necessary to cool the cold field, with a specific heat C_s from an initial temperature θ_0 to the temperature θ_f is imposed.



Dans ces conditions, quel montage choisir ?
Il faut déterminer les paramètres suivants:

- Type et nombre de CEP
- Performances des échangeurs chaud et froid.
- Courant et tension d'alimentation.
- Éventuellement, dispositif de régulation de température.

Given these conditions, what device should be chosen ?
The following parameters must be determined:

- Type and number of Peltier effect device.
- Performance of the heat and cold exchangers.
- Power supply current and voltage.
- If necessary, system of temperature regulation.

Le modèle mathématique de CEP

L'étude des performances réelles montre que le choix de montage le plus approprié à un problème de refroidissement, nécessite une optimisation des paramètres S_c , S_f , n , I , ou V .

En raison de la quantité et la complexité des calculs à réaliser, cette optimisation n'est possible en pratique qu'à l'aide de moyens automatisés.

C'est pourquoi la SEEM a développé un modèle mathématique exclusif de CEP sur ordinateur.

Après introduction des paramètres caractérisant l'application, tous les résultats concernant :

- le calcul des performances réelles tenant compte des échangeurs choisis et des pertes,
- l'étude des régimes transitoires,
- le calcul ces cellules multi-étages, sont obtenus rapidement.

De cette manière, chaque application peut-être dimensionnée de façon optimale en fonction de ses caractéristiques particulières.

Le service d'études thermiques SEEM

La SEEM met à disposition de sa clientèle un service d'études offrant deux types de prestations:

- Pour chaque problème d'application qui lui est soumis, la SEEM propose gratuitement une pré-étude succincte de faisabilité, permettant de déterminer si la solution thermoélectrique peut être retenue.

- Quand la faisabilité d'une application est démontrée une étude complète est proposée avec la fourniture du matériel le plus approprié.

En particulier le service d'études peut assurer la définition des alimentations électriques, des régulations et des sécurités.

Pour le choix des échangeurs, point essentiel dans la définition d'un montage, la SEEM utilise le savoir-faire que lui confère sa position de leader français du dissipateur thermique.

Les moyens technologiques de SEEM

De l'étude à la réalisation de série, SEEM dispose de l'ensemble de moyens nécessaires à l'industrialisation entièrement intégrée d'ensembles Peltier pour tous les cas d'application :

- bureau d'études thermiques, mécanique et électrique
- laboratoire d'essais thermiques
- atelier de mécanique disposant d'un vaste parc de machines (tronçonneuses, centres d'usinages et fraiseuses à commande numérique, presses...)
- oxydation anodique de l'aluminium
- ateliers de montage-câblage
- grâce à sa filiale SEMRAC, atelier de tôlerie pour la réalisation des équipements d'alimentation et de régulation
- atelier d'injection plastique

The mathematical model of a Peltier Effect Cell

The study of the actual performances shows that selecting the device the most suited to a cooling problem requires optimizing parameters S_c , S_f , n , I , or V .

Due to the amount and complexity of the calculations required, this optimization is possible in practice only by computerized methods.

This is why SEEM developed an exclusive mathematical Peltier effect model on a computer.

After entering the parameters characterizing the application, all the results concerning :

- *computation of the actual performance taking in account the selected exchangers and losses,*
- *analysis of the transient states,*
- *computation of multistage devices are obtained rapidly.*

In this way, the design of each application can be optimized according to its particular characters

The SEEM Thermal Design Department

The SEEM design department offers customers two types of services:

- *For each application problem submitted, SEEM proposes free of charge a short preliminary feasibility study, to determine whether the thermoelectric approach can be contemplated.*

- *When the feasibility of an application has been demonstrated a complete design is proposed with supply of the most appropriate material.*

In particular, the design department can design the electric power supplies, regulations and protective systems.

For selection of the exchangers, a crucial item in design of a device, SEEM uses the knowhow which has made it the French leader in the field of heat sinks.

SEEM technological means

From design to serial manufacture, SEEM have at their disposal all the means necessary for the entire integrated industrialisation of Peltier units for all applications:

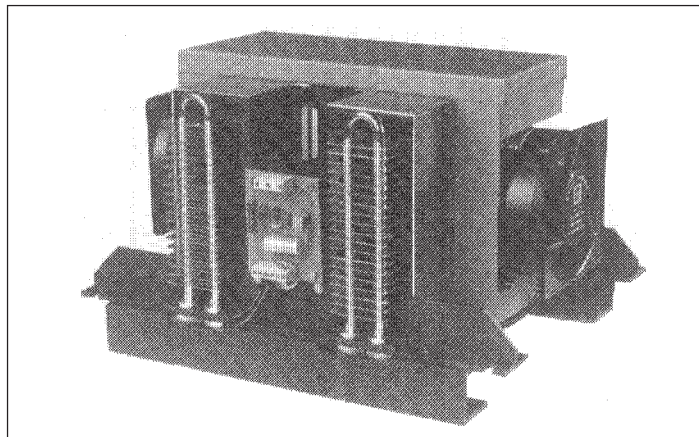
- *thermal, mechanical and electrical design office,*
- *thermal test laboratory*
- *mechanical workshop equipped with a considerable number of machines (lathes, numerical control machining centres and milling machines, presses...)*
- *anodic oxidation of aluminium*
- *wiring installation workshops*
- *thanks to their subsidiary SEMRAC, a sheet metal workshop for food and regulation equipment manufacture*
- *plastic injection workshop*

Exemples de réalisations

Electronique :

— Assécheur-réchauffeur d'air

Ce montage permet dans un équipement de mesure ultrasensible à l'humidité, la condensation sur plaque froide et l'évacuation de l'eau résiduelle.



— Assécheur pour équipement embarqué

Un appareillage radio sur bateau est mis en atmosphère sèche par un dispositif Peltier, conçu pour résister à l'environnement salin.

— Refroidissement de circuit intégré

Un montage Peltier est fixé sur le flanc d'un rack électronique qui sert d'échangeur chaud. La carte la plus proche porte le circuit intégré qui vient en contact avec la face froide maintenue < 40°C. L'extraction de cette carte reste aisée.

— Test de diodes Laser

Un montage en longueur refroidi par de l'eau à basse température, permet le cyclage en température d'un ensemble de diodes lazer, le système est piloté par ordinateur.

— Refroidissement d'un enregistreur magnétique

Le montage assure l'envoi d'un flux d'air refroidi de 12°C. Le système est embarqué sur sous-marin.

— Conditionnement d'un coffret étanche

5 modules, montés sur le flanc d'un rack équipé d'un micro-ordinateur, assurent le maintien en température de celui-ci (refroidissement ou chauffage)

— Refroidissement d'un disque dur

Monté directement sur le disque, l'ensemble Peltier fait gagner 10°C sur la plage de température en fonctionnement.

Industrie :

— Fixation de pièces par congélation

Les pièces à usiner sur machine-outil de précision sont immobilisées sur le plateau par un film de glace. La libération des pièces s'obtient par un cycle de dégel.



Examples of Products

Electronics:

— Air dryer-heater.

This device condenses residual water on a cold plate and evacuates it in a measuring instrument ultrasensitive to humidity.

— Dryer for ship equipment

A radio system on a ship is kept in a dry atmosphere by a Peltier device designed to withstand a marine atmosphere.

— Integrated circuit cooling

A Peltier unit is set on the side of an electronic rack which serves as a heat exchanger. The nearest board bears the integrated circuit which comes into contact with the cold face kept at a temperature of < 40°C. This board remains easy to pull out.

— Laser diode test

A lengthwise unit cooled with low temperature water, a computer controlled system, enables a set of laser diodes to be cycled at a set temperature.

— Magnetic recorder cooler

The unit ensures the circulation of an air flow cooled to 12°C. This system is mounted in submarines.

— Sealed box conditioning

5 modules ensure temperature stability (cooling or heating) assembled on the side of a rack equipped with a micro-computer.

— Hard disk cooling.

Mounted directly on the disk, the Peltier unit gains 10°C in operation temperature range.

Industry:

— Clamping of parts by deep freezing

Parts to be machined on precision milling machines are held onto the plate by a film of ice. The parts are released by defreezing.

— Maintenance en température de solvant

Un produit conditionné en éprouvettes est maintenu à sa température idéale d'utilisation (refroidissement et chauffage)

— Etalonnage de caméra infra-rouge

La cible optique permettant l'étalonnage subit les cycles de températures programmés.

— Etalonnage de thermostat

Un réservoir eau + glycol est maintenu à une température de consigne réglable de -5°C à +50°C

Laboratoire :

— Analyse à basse température

Le montage Peltier est à deux étages, avec échangeurs chaud et froid fluides. Un corps liquide, circulant à très faible débit, est ainsi porté à -35°C avant analyse.

— Refroidissement d'un ensemble d'éprouvettes aux fins d'analyses. Celles-ci sont maintenues dans un courant d'air à 10°C

— Analyse automatique

Le plateau porte éprouvettes de l'analyseur est maintenu à 15°C (refroidissement et chauffage).

— Keeping solvent temperature constant.

A product kept in test tubes is maintained at the ideal temperature for use (cooling and heating).

— Infra-red camera calibration

Optical calibration target undergoes programmed temperature cycles.

— Thermostat calibration

A water + glycol reservoir is maintained at an adjustable setting temperature of -5°C to +50°C.

Laboratory:

— Low temperature analysis.

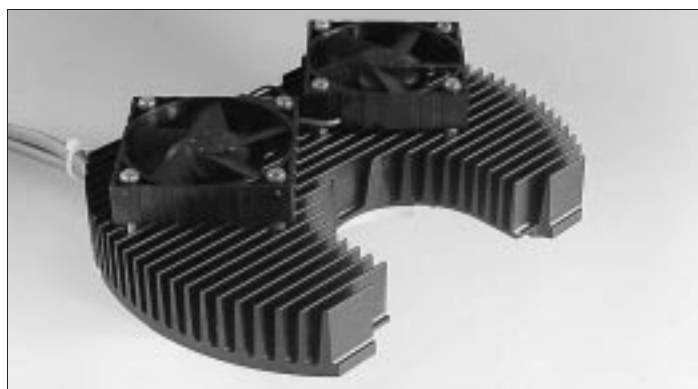
The Peltier unit has two stages, with hot and cold fluid exchangers. A very small flow of liquid is thus brought to -35°C before analysis.

— Cooling of a set of test tubes for the purpose of analysis.

These are kept at 10°C in an air draught.

— Automatic analysis

The test tube tray of the analysing unit is maintained at 15°C (cooling and heating).



— Etalonnage de chromatographe

La colonne d'analyse de l'appareil est asservie à différents cycles de température.

Médical :

— Générateur de froid ponctuel

L'appareil comporte un coffret de commande et un applicateur manuel, ce dernier présente un cône de contact de température réglable jusqu'à -15°C

— Conditionnement d'un réservoir d'eau

Intégré dans un appareil utilisé en salle d'opération, le réservoir est maintenu à une température de consigne réglable.

Agro-alimentaire :

— Présentoir mobile

les produits présentés à la vente sont maintenus entre 6°C et 12°C pour une température ambiante jusqu'à 28°C

— Plateau réfrigérant

Ce plateau dont la face supérieure est maintenue à +5°C permet la présentation de produits frais

Divers :

— Détection de point de rosée

Un miroir témoin, maintenu à 5°C en dessous de l'ambiance, permet de détecter la montée du taux d'humidité relative.

— Chromatograph calibration

The analysis column of the equipment is submitted to various temperature cycles.

Medical:

— Small area cold generation.

The equipment includes a control box and a manual applicator with an adjustable temperature contact cone to -15°C.

— Water tank conditioning

Integrated into a unit used in operating theatres, the reservoir is maintained at an adjustable set temperature

Food industry:

— Mobile sales counter

The products presented for sale are kept between 6°C and 12°C for an ambient temperature of up to 28°C

— Refrigerated tray.

The upper face of this tray is maintained at +5°C and thus fresh produce can be presented

Miscellaneous:

— Dew point detection

A reference mirror, held at 5°C below ambient temperature, enables detection of a rise in relative humidity.